

**უასილ (დათო) რსნილაქა
ღივლო (გიული) ოზიაშვილი-რსნილაქა[†]**

ფერადი მეტაღურგია

თბილისი-2006

ეს გამოცემა პირველი ქართული წიგნია ფერად მეტალურგიაზე. მასში განხილულია ფერადი ლითონების წიაღისეული ნედლეულის მომზადება მეტალურგიული გადაამუშავების-თვის, ნედლეულიდან ლითონების ამოღებისა და მათი რაფინირების მეტალურგიული პროცესები, ცალკეული ლითონების მიღების საწარმოო პრაქტიკა და გარემოს დაცვის პრობლემები ფერად მეტალურგიაში.

წიგნი განკუთვნილია ფერადი მეტალურგიის საწარმოების ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალისა და კვლევითი ინსტიტუტების მუშაკებისთვის. ეს გამოცემა აგრეთვე დაეხმარება სპეციალური და უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებს ფერადი მეტალურგიის დარგის უკეთ შესწავლაში.

რედაქტორი	გიორგი ჩოჩიაშვილი
მხატვარი	გიორგი რცხილაძე
კორექტორები	ზეინაბ გეგეშაძე თინა ნიკოლაიშვილი
კომპიუტერული უნარუნველყოფა	ბაატა ქორქია

„მისი ფეხები, როგორც მოკლევარე სპილენძი, როგორც ქურაში გაქარვარებულნი.
მისი ნმა, როგორც ბეჭი წყლის ნმაური“.

„თიანთიანს ეკლესიის ანგლოზს მისწერე: ასე ამბობს ძე ლეთისა, რომლის
თვლები სსსნლის აღს წააგავს და ფეხები მისი ელევარე სპილენძივითა“ .

„ჩემთან მოლაპარაკეს საზომად ოქროს ღერწამი პქონდა ქლავის, მისი კარბჭეჭისა
და მისი გლაფნის გადასაზომად“ .

(„ახალი აღთქმა“ — იოანე მოციქულის გამოცხადება)

წინასიტყვაობა

ფერადი მეტალურგია ფერადი ლითონების, ანუ რკინის, ქრომის, მანგანუმისა და ვანადიუმის გარდა ვველა დანარჩენი ლითონის (სპილენძი, ნიკელი, ტყვია, თუთია, ოქრო, ვერცხლი და ა. შ.) წარმოებას გულისხმობს. ეს, ისევე როგორც ლინის წარმოება, ქართველების უძველესი პროფესიაა. საქართველოს ტერიტორიაზე მცხოვრები ადამიანი ძველთაგანვე იყენებდა ღებრთის ნაბოძებს სიმდიდრეს, რომელიც ფერადი ლითონების მრავალფეროვანი ნედლეულის სახით მოიპოვებოდა საქართველოში.

სამწუხაროდ, ბოლო საუკუნეების დამორგუნებამ სინამდვილემ ქართველ კაცს გამოაცალა ეს უძველესი და დღესაც მნიშვნელოვანი პროფესია. საბჭოთა წყობის დამკვიდრების პერიოდში საქართველოს ფერადი მეტალურგია სხვა ყოფილი საბჭოთა რესპუბლიკების მეტალურგიასთან შედარებით გაცილებით უფრო მაღალ დონეზე იდგა თვით რუსეთის ჩათვლით.

იმ დროისთვის ჩვენს ქვეყანაში ორი საკმაოდ დიდი სპილენძის ქარხანა მუშაობდა ადგილობრივ ნედლეულზე; ერთი აღმოსავლეთში – ჯერ კიდევ მეფე ერეკლესდროინდელი ალავერდის სპილენძის ქარხანა, მეორე – ბათუმიდან 40 კმ-ის დაშორებით, ქვარცხანის სპილენძის ქარხანა.

ავად ცნობილმა ქართველმა ბოლშევიკ-კომუნისტებმა ქართველ ხალხს ჩამოაჭრეს მიწა, რომელზეც ეს ქარხნები და მათი სანედლეულო ბაზები (საბადოები) მდებარეობდა და სხვა ქვეყნებს გადასცეს. ასე ჩაკედა და დაიწყებას მიეცა ეს მეტად მნიშვნელოვანი პროფესია საქართველოში.

სამაგიეროდ, მეოცე საუკუნის 30-იან წლებში სუანეთსა და რაჭაში ახალადმოჩენილი დარიშხანის საბადოების ბაზაზე აშენდა საკავშირო დაქვემდებარების ქარხნები, რომლებიც საბჭოთა კავშირის არსებობის ბოლომდე პრიმიტიული და საშიში მომწამლავი ტექნოლოგიით აწარმოებდნენ ძლიერ ტოქსიკურ ქიმიურ ნაერთს – დარიშხანის ოქსიდს ანუ თეთრ დარიშხანს. ეს ნაერთი შხამიანი ქიმიკატების წარმოებასა და სამხედრო საქმეში გამოიყენებოდა. ამ საწარმოებმა უდიდესი ზიანი მიაყენეს საქართველოს ამ უმშენიერეს კუთხეებს – იწამლებოდა გარემო, წყალი, იღუპებოდა ფრინველი, ცხოველი, ავადებოდა მომსახურე პერსონალი და იქაური მცხოვრებნი, ნადგურდებოდა ათასობით კუბური მეტრი ზე-ტყე, რომელიც სათბობად გამოიყენებოდა ღუმელებში.

1940-ანი წლების ბოლოს რუსეთში აშენდა შავი მეტალურგიის დიდი ქარხანა იმის მოუხედავად, რომ რესპუბლიკას ადგილობრივი ნედლეული არ გააჩნდა. საქართველოში დაიწყო შავი მეტალურგიის (თუჯი და ფოლადი) განვითარება: უმაღლეს სასწავლებელში გაიხსნა შავი მეტალურგიის ფაკულტეტი, შეიქმნა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტი, გამოიცა სახელმძღვანელოები და სხვა სპეციალური წიგნები ქართულ ენაზე. ამასობაში კი ფერადი მეტალურგია კიდევ უფრო მეტად დაიარღლია.

მხოლოდ 1960-იან წლებში მეტალურგიის ინსტიტუტში გაიხსნა ფერადი ლითონების ლაბორატორია, სადაც მე და ჩემი მეუღლე ემუშაობდით, მე ლაბორატორიის ხელმძღვანელად, ხოლო ჩემი მეუღლე უფროს მეცნიერ თანამშრომლად. ლაბორატორიის მცირერიცხოვანი პერსონალი თავგამოდებით იბრძოდა ფერადი მეტალურგიის განვითარებისათვის საქართველოში. ფუნდამენტური კვლევების საფუძველზე შეუმუშავდა სუანეთისა და რაჭის დარიშხანის მადნებიდან ლითონური დარიშხანის მიღების უსაფრთხო და ეკოლოგიურად სუფთა ტექნოლოგიები. სუანეთში (ცანაში) შეწყდა მომწამლავი მეთოდების გამოყენება და ჩვენს მიერ დამუშავებული ტექნოლოგია დაინერგა. ასევე, დამუშავდა მადნეულის (კახეთის) სპილენძის მადნების მეტალურგიული გადამუშავების შედეგად (იმ დროისათვის, მადნეულის სპილენძის მადნების გადაამუშავება სომხეთში, ალავერდის კომბინატში ხდებოდა) მიღებული ნახევრად პროდუქტებიდან დარიშხანის გამოდგენისა და მერაფასი ლითონების მიღების ტექნოლოგია. ლაბორატორია განუწყვეტლივ სთავაზობდა საქართველოს მთავრობას წინადადებებს მადნეულის სპილენძისა და კვასის ტყვია-თუთიის საბადოების ბაზაზე თანამედროვე ქარხნის აშენებასა და საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის შავი მეტალურგიის ფაკულტეტზე ფერადი მეტალურგიის ჯგუფის გახსნის შესახებ (ქარხნის ტექნოლოგია შეირჩა ლაბორატორიაში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე).

ფერადი მეტალურგიის ჯგუფი 1990-იან წლების დასაწყისში, როგორც იქნა შეიქმნა პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში. რაც შეეხება ქარხნის მშენებლობას, ამ იდეას დიდი წინააღმდეგობა შეხვდა; საქმეში ჩაერივნენ შავი მეტალურგიის საეციალისტები, ქიმიკოსები, გეოლოგები, სამიო საქმის საეციალისტები. ყველა ღარვის წარმომადგენელი თავის წინადადებას იცაუდა. ფერადი მეტალურგიის საეციალისტების არყოფნის გამო (დისკუსიებში მხოლოდ მე ეილებდი მონაწილეობას) საქმის ობიექტურად გადაწყვეტა გართულდა (სხვა ქვეყნებიდან ფერადი მეტალურგიის საეციალისტები არ მოიწვიეს) და მსჯელობა ამ უმნიშვნელოვანეს საკითხზე, ბუნებრივია, შეწყდა.

ზუსტად ამ დროს მე და ჩემს მუდღეს სსსრავიდან მოვიხიზნე გამგზავრება ამერიკის შვერტულ შტატებში. ჩვენს ვაჟიშვილს მძიმე ავადმყოფობა შეეყარა და ჩვენი იქ ყოფნა აუცილებელი იყო. ხანგრძლივი მკურნალობის შემდეგ ჩვენი შვილი გამოჯანმრთელდა, თუმცა, რამდენიმე თვეში იგი ავტოავარიანო მოხვდა და კიდევ ექვსი თვე ლოგინში გაატარა. ჩემმა მუდღემ ვეღარ გაუძლო აძენ ვაი-ვაგლასს და განუკურნებელი სენით დაავადდა. ხუთი წელი მკურნალობდა, მე მუდამ მის გვერდით ვიყავი. საქართველოში ვეღარ დაებრუნდით.

ამასობაში, ფერადი ლითონების ლაბორატორია მეტალურგიის ინსტიტუტში დაიხურა (ვერ მიიხსნა „საეციალისტი“, რომელიც ლაბორატორიას გაუძღვებოდა). ავადმყოფობის პერიოდში ჩემმა მუდღემ, გიულამ მითხრა: „როგორ შეუწყვთო ხელი ფერადი მეტალურგიის განვითარებას საქართველოში აქედან, ამერიკიდან? მოდი, დაწეროთ წიგნი ქართულ ენაზე – „ფერადი მეტალურგია“. სამწუხაროდ, ასეთი წიგნი მართლაც არ არსებობდა. მიუხედავად დიდი ვაჭირებისა, ჩვენ მაინც არ შეგვიწყვეტა ფიქრი საქართველოში ფერადი მეტალურგიის განვითარებაზე და დაიწყო წიგნის წერა. გიული იმეგს თავისი ხელით წერდა. საქმე დასასრულს უახლოვდებოდა, როცა გიულის გაურთულდა ავადმყოფობა და იგი მალე გარდაიცვალა. ამ საშინელმა ამბავმა დიდი თავზარი დაგვცა მე და ჩემს შვილებს. გიული ჩამოვასვენეთ თბილისში და საბურთალოს პანთეონში დავეკრძალეთ. მოსაგონრად მინდა მოვიყვანო ნაწევები მისი ხელნაწერი წიგნიდან:

„საქართველოში მოძიებნი
ეს ქართული წიგნი საბჭოთა დამლაშობა ქ
არა გააშთობა შტატები და საქართველო
ში მოსაშობა გაგონა ქართული საქართველო
ში არა არსებობდა შეუძლებელი არა
არა არა არა არა არა არა არა
არა არა არა არა არა არა არა
არა არა არა არა არა არა არა
არა არა არა არა არა არა არა
არა არა არა არა არა არა არა“

მჯერა, რომ ფერადი მეტალურგია ისევ აღორძინდება და ეს პირველი ქართული წიგნი ხელს შეუწყობს ადგილობრივი წიაღისეული ნედლეულის ბაზაზე ფერადი ლითონების წარმოების აღდგენას და განვითარებას საქართველოში.

უცხო ენებზე საქმე რაოდენობის სასწავლო და სხვა სახის ლიტერატურაა გამოცემული ფერადი მეტალურგიის დარგში. ლიტერატურა უმთავრესად ცალკეული ლითონების მეტალურგიის ეხება და მასში, ძირითადად, მაღალტექნოლოგიური მეტალურგიული პროცესებია განხილული.

ჩვენი აზრით, რუსულ სახელმძღვანელოებში ამა თუ იმ ფერადი ლითონის წარმოების მეტალურგიული პროცესები ზომიერად გადაჯერებულია ზედმეტად თეორიული დებულებებით, რაც ართულებს მეტალურგიული პროცესის არსის ბოლომდე გაგებას.

ინგლისური წიგნებში კი ძირითადი ყურადღება გადატანილია საწარმოო პრაქტიკაზე და მეტალურგიული პროცესების საფუძვლები არასაკმარისადაა წარმოდგენილი.

ჩვენ შევეცადეთ, რომ პირველი ქართული წიგნი – „ფერადი მეტალურგია“ გამოჩინული ყოფილიყო თანამედროვე წარმოებაში გამოყენებული ტრადიციული და შედარებით ახალი პროცესების

მაქსიმალური სისრულითა და მათი განმარტების იოლი ფორმით. ამავე დროს გადაეწყვიტეთ სხვა ფერადი ლითონების წარმოებასთან ერთად, წიგნში წარმოგვედგინა მეტალურგია ყველა იმ ძირითადი ფერადი ლითონისა, რომლის ნედლეული მოიპოვება საქართველოს მიწის წიაღში.

წიგნი შედგება შესავლისა და ოთხი ნაწილისგან.

შესავალში მოკლედ წარმოდგენილია ზოგადი ცნებები მეტალურგიისა და ლითონების შესახებ. მოყვანილია ლითონების სამრეწველო კლასიფიკაცია; მოცემულია ზოგადი განმარტებები ლითონმშენებელ წიაღისეულ ნედლეულზე – მადანზე; აღნიშნულია მისი გადაამუშავების ხერხები და ლითონის მიღების პროცესების უტახობრივი განხორციელების გზები.

პირველ ნაწილში მოკლედ განხილულია უმთავრესი დამხმარე მეტალურგიული პროცესები, რომლებიც ძირითადი მეტალურგიული გადაამუშავების წინ მდნის წინასწარ მომზადებას ითვალისწინებს.

მეორე ნაწილში განხილულია და განმარტებულია არსი თითქმის ყველა პროცესისა, რომელიც საწარმოო პრაქტიკაში გამოიყენება ფერადი ლითონების ნედლეულის გადაამუშავებასა და ლითონის რაფინირებაში (გასუფთავებაში). განხილვის დასაწყისში ნაჩვენებია პროცესების ზოგადი დანიშნულება, შემდეგ კი განმარტებულია ერთ კატეგორიაში შემავალი სხვადასხვა პროცესი, ასევე წარმოდგენილია და აღწერილია პროცესების ჩასატარებელი სხვადასხვა ტიპის აპარატები ამა თუ იმ ლითონის ნედლეულის გადაამუშავების მაგალითზე.

წიგნის მეორე ნაწილი ოთხი თავისგან შედგება. პირველ თავში განხილულია ნედლეულიდან ლითონის ამოღების მაღალტემპერატურული მეტალურგიული პროცესები, ხოლო მეორე თავში წარმოდგენილია წყალხსნარებში მიმდინარე მეტალურგიული პროცესები. მესამე თავი ეძღვნება ნედლეულიდან ლითონის ამოღების ელექტროლიტურ პროცესებს. მეოთხე თავში განხილულია დაუსალასებელი ლითონის რაფინირების პროცესები, რომლებიც კომერციული დანიშნულების ლითონური პროდუქტების მიღებას უზრუნველყოფს.

მესამე ნაწილი ეძღვნება ფერადი ლითონების წარმოებას. აქ კონკრეტულადაა განხილული ფერადი ლითონების მეტალურგია, ცალკეული ლითონის მაგალითზე ნაჩვენები და აღწერილია საწარმოო პრაქტიკაში ნედლეულიდან მისი გამოყოფისა და რაფინირების ტექნოლოგიები, რომლებშიც გამოიყენება II ნაწილში უკვე განხილული ესა თუ ის პროცესი. სულ შერჩეულია 21 ფერადი ლითონი. აქედან 14-ს (სპილენძი, ნიკელი, ტყვია, თუთია, დარიშხანი, ანთიმონი, ვერცხლისწყალი, ოქრო, ვერცხლი, ალუმინი, მაგნიუმი, ვოლფრამი, ტიტანი და ურანი) საკუთარი მდენებიდან აწარმოებენ და მათი მეტალურგია შედარებით უფრო დეტალურად და სრულადაა წარმოდგენილი. რაც შეეხება დანარჩენ 7 ლითონს (კადმიუმი, სელენი, ტელური, ინდიუმი, თალიუმი, გალიუმი და რენიუმი), მათ საკუთარი მდენები არ გააჩნიათ და მათი მიღების წყაროს წარმოადგენს სხვა ლითონების მდენები, რომლებშიც ისინი თანმდევი ელემენტების სახით შედიან. ამ ლითონების ამოღება თანაურად ხდება ძირითადი ლითონების ნედლეულიდან, მეტალურგიული გადაამუშავების დროს. მდენებიდან ლითონის თანაური ამოღების პროცესები მოკლედაა განხილული. ნაჩვენებია ფერადი ლითონების გამოყენების სფეროები. განხილულია და შედარებულია ლითონური ნედლეულის მეტალურგიული გადაამუშავების გზები და მოცემულია რეკომენდაციები. შერჩეული ლითონების გადაამუშავების ტექნოლოგიები, რომლებიც წიგნშია წარმოდგენილი, ფერადი მეტალურგიის დარგში გამოყენებულ თითქმის ყველა მეტალურგიულ პროცესს მოიცავს, რაც საშუალებას მისცემს მკითხველს, უფრო ფართოდ გაეცნოს ფერადი მეტალურგიის მრავალფეროვან დარგს.

წიგნში შეტანილი ლითონების ქიმიური თვისებების დეტალური განხილვა უზომოდ გაზრდიდა წიგნის საერთო მოცულობას. ამიტომ წიგნში მოყვანილია სამრეწველო მნიშვნელობის მთავარი ლითონური მინერალები და განხილულია ლითონების ის ძირითადი ქიმიური ნაერთები, რომლებიც მეტალურგიულ გარდაქმნაში „მონაწილეობენ“.

წიგნის ბოლო, IV ნაწილში განხილულია გარემოს დაცვის პრობლემები ფერად მეტალურგიაში. მოყვანილია და აღწერილია მეტალურგიულ პროცესებში გამოყენებული წარმოების ნარჩენების შეკრების, განცალკევებისა და გაუვნებლების მეთოდები და სათანადო დანადგარ-მოწყობილობები; ცალკეული ლითონების მეტალურგიული გადაამუშავების მაგალითზე ნაჩვენებია წარმოების ნარჩენებით გარემოს

დაბინძურების თავიდან აცილებისა და მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოების დაცვის ღონისძიებები; განხილულია სხვადასხვა სახის ნარჩენების გადამუშავების ორგანიზაციული და ეფექტური მეთოდი.

წიგნის ბოლოს წარმოდგენილია დამატება, რომელშიც შეკრებილია ელემენტების თვისებები და მოყვანილია ზოგიერთი ლითონის ხარისხობრივი სტანდარტი (ყოფილი საბჭოთა კავშირის სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით); ფერადი ლითონების მეტალურგიის უფრო ღრმად შესწავლის მიზნით მოცემულია რეკომენდებული ლიტერატურის საკმაოდ ვრცელი სია.

წიგნში შეტანილი ფერადი ლითონები შემდეგი ნიშან-თვისებებითაა შერჩეული:

- საქართველოში ფერადი ლითონების მრავალგვარი მთამადნეულის არსებობით;
- ლითონის გამოყენების მასშტაბებით;
- ლითონები, რომელთა ნედლეული მეტალურგიულ გადამუშავებას ექვემდებარება მსგავსი ხერხებით;
- ლითონები, რომელთა ნედლეული მეტალურგიულ გადამუშავებას ექვემდებარება განსხვავებული ხერხებით.

წიგნში მოყვანილი და განხილული მეტალურგიული გადამუშავების ტექნოლოგიური მახასიათებლების მონაცემები სარგებ დახმარებას გაკვიწვეს საქართველოს მიწის წიაღში არსებული მრავალი ფერადი ლითონის ნედლეულის გადამუშავების ხერხისა და ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევაში.

ფერადი მეტალურგიის შესახებ წიგნის გამოცემა ქართულ ენაზე პირველი ცდაა და იგი ნაკლოვანებებისგან არ იქნება დაზღვეული. ამიტომ ყოველი რჩევა და სურვილი წიგნის თაობაზე დიდი კმაყოფილებითა და მადლობით იქნება მიღებული. თუმცა მჯერა, რომ წიგნში წარმოდგენილი ფერადი ლითონების გადამუშავების ტექნოლოგიების სისრულე და სიმარტივე ამ სფეროში ცოდნის შექმნასა და გაღრმავებაში დიდად დაეხმარება ქართველ ინჟინრებს, მეცნიერ-თანამშრომლებს, წარმოების მომსახურე პერსონალს, სტუდენტებს.

ვასილ რცხილაკა

*ტორინგტონი, კონექტიკუტი
აშშ, ივნისი, 2003 წ.*

სარჩევი

შესავალი	7
ნაწილი I. დამატარი მენტალური პროცესები	12
თავი 1. კაზმის მოზადება	12
თავი 2. მადნის გამდიდრება	14
2.1. ფლოტაციური გამდიდრება	15
2.2. გრავიტაციული გამდიდრება	17
2.3. მაგნიტური გამდიდრება	19
თავი 3. პულმის დაყოფა მყარ და თხევად ნაწილებად	20
3.1. შესქელება	21
3.2. გაფილტვრა	22
3.3. შრობა და დატენიანება	23
თავი 4. დაქუცმაცებული შახალის დანაქროვნება	24
ნაწილი II. ნედლეულიდან ფერადი ლითონების ამოღებისა და მათი რაფინირების მენტალური პროცესები	27
თავი 1. ნედლეულიდან ფერადი ლითონების ამოღების პირობულურგული პროცესები	28
1.1. გამოწევა	29
1.1.1. განვითარებული გამოწევა	29
1.1.2. მადისციორებული გამოწევა	30
1.1.3. მქლორავი გამოწევა	31
1.1.4. გამოსაწევი ლუბლები	31
1.2. დნობა	38
1.2.1. ნედლეულის სადნობი ლუბლები	44
1.3. კონვერტირება	49
1.3.1. შტონის გადასამუშეველი კონვერტერები	51
1.3.2. დნობა-კონვერტირების პროცესი	53
თავი 2. ნედლეულიდან ფერადი ლითონების ამოღების პირობულურგული პროცესები	55
2.1. გამოტუტვა	55
2.1.1. აფილზე გამოტუტვა	58
2.1.2. გრავის გამოტუტვა	59
2.1.3. კოლუმში გამოტუტვა	60
2.1.4. წვეთის ქვეშ გამოტუტვა	63
2.1.5. ბაქტერიული გამოტუტვა	64
2.2. დაღვება	65
თავი 3. ნედლეულიდან ფერადი ლითონების ამოღების ელექტროლიტური პროცესები	70
თავი 4. ფერადი ლითონების რაფინირების პროცესები	75
4.1. ცესლოვანი რაფინირება	76
4.1.1. რაფინირება სელექტიური თანვით	76
4.1.2. რაფინირება დროსიებით	77
4.1.3. რაფინირება დისტილაციით	77
4.1.4. რაფინირება სუბლიმაციით	78
4.1.5. რაფინირება ლიცაციით	78
4.2. ელექტროლიტური რაფინირება	79
4.2.1. ელექტროლიტური რაფინირება წყალხსნარებში	79
4.2.2. ელექტროლიტური რაფინირება მაღალ ტემპურატურაზე	82
4.3. ქიმიური რაფინირება	82
ნაწილი III. ფერადი ლითონების წარმოება	84
თავი 1. სპილენძის მენტალურგა	84
1.1. სპილენძის ნედლეულის გადაამუშევა პირობულურგული სერხით	87
1.1.1. სპილენძის სულფიდური კონცენტრატების გამოწევა	87
1.1.2. სპილენძის გამოწევა სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტონზე	90
1.1.3. სპილენძის ნელი (გამოუმწეარი) სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტონზე	97
1.1.4. სპილენძის ნელი სულფიდური კონცენტრატების ავტოგენური დნობის პროცესები	100

1.1.5.	სალოენძის შტეინის კონკრეტირება	111
1.1.6.	კონკრეტირებისა და სალოენძის სულფიდური კონცენტრატის დნობის შუთავსება კოი აბრატში	114
1.1.7.	სალოენძის სულფიდური კონცენტრატების დნობა – კონკრეტირების შუთავსებული უნაწეტი ავტოგენური პროცესი	115
1.1.8.	სალოენძის გამოდნობა ნარჩენებთან	120
1.1.9.	სალოენძის რაფინირება	120
1.2.	სალოენძის ნელაულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული სერხით	126
1.2.1.	სალოენძის ნელაულის გამოტუტვა	127
1.2.2.	სალოენძის დაღეჭვა ხსნარებთან	133
1.2.3.	სალოენძის რაფინირება	139
მა30	2. ნიკელის მეტალურგია	140
2.1.	ნიკელის ნელაულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული სერხით	142
2.1.1.	ნიკელის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვა	142
2.1.2.	ნიკელის გამოწვეარი სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტეინზე	142
2.1.3.	ნიკელის ნელი სულფიდური კონცენტრატის დნობა შტეინზე	145
2.1.4.	ნიკელის ოქსიდური მდნობის დნობა შტეინზე	147
2.1.5.	ნიკელის შტეინის კონკრეტირება	149
2.1.6.	ნიკელის კონკრეტირის შტეინის გადამუშავება	150
2.1.7.	ნიკელის რაფინირება	154
2.2.	ნიკელის ნელაულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული სერხით	160
2.2.1.	ნიკელის ნელაულის გამოტუტვა	160
2.2.2.	ნიკელის დაღეჭვა ხსნარებთან	163
2.2.3.	ხვადასხვა ხსნარების დანალექებთან ნიკელის საბოლოო პროდუქტების მიღება	167
მა30	3. ტყვიის ჰიდრომეტალურგია	168
3.1.	ტყვიის სულფიდური კონცენტრატების ავლომერაციული გამოწვა	169
3.2.	ტყვიის გამოწვეარი და განაჭრეწებული კონცენტრატის დნობა	170
3.3.	ტყვიის ნელი სულფიდური კონცენტრატების დნობა	174
3.4.	ტყვიის რაფინირება	176
3.4.1.	ტყვიის რაფინირების ჰიდრომეტალურგიული სერხით	176
3.4.2.	კოილშიბილი ლითონების ამოღება ტყვიის რაფინირების შუალედური პროდუქტებთან	184
3.4.3.	ტყვიის ელექტროლიტური რაფინირება	185
მა30	4. თუთიის მეტალურგია	186
4.1.	თუთიის ნელაულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული სერხით	188
4.1.1.	თუთიის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვა	188
4.1.2.	თუთიის აღდგენისა და დისტილაციის პროცესი	192
4.2.	თუთიის ნელაულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული სერხით	198
4.2.1.	თუთიის ნელაულის გამოტუტვა	198
4.2.2.	თუთიის დაღეჭვა ხსნარებთან	203
4.3.	თუთიის რაფინირება	204
4.3.1.	თუთიის ცეკხლოვანი რაფინირება და კადმუმის თანური ამოღება	205
მა30	5. დარიშხანის ჰიდრომეტალურგია	208
5.1.	დარიშხანის მდნობთან ლითონური დარიშხანის მიღება ენგვა-აღდგენის სერხით	213
5.2.	არსებობიტიული მდნობა ლითონური დარიშხანის ჰიდრაბირი მიღება მდნის მალისციორებელი გამოწვეთ	217
5.3.	დარიშხანის სულფიდური მდნობა ლითონური დარიშხანის ჰიდრაბირი მიღების ახალი სერხით	223
5.3.1.	დარიშხანის სულფიდური მდნობა სუფთა დარიშხანის სულფიდის მიღება თერმული აქროლის გზით	224
5.3.2.	დარიშხანის სულფიდთან ლითონური დარიშხანის ჰიდრაბირი მიღების ლითონურბული სერხით	225
5.4.	ლითონური დარიშხანის რაფინირება	227
5.4.1.	ლითონური დარიშხანის ეკუუმიბერბული სუბლიმაცია	228
5.4.2.	ლითონური დარიშხანის სუბლიმაცია წყალბადის ნაკადში	229
5.4.3.	ლითონური დარიშხანის გასუფთავება ორთქლზონური მეთოდით	229
5.4.4.	დარიშხანის გასუფთავება მისი ნაჭრების მეშვეობით	229

	5.4.5. დარიშხანის გასუფთავება ელექტროგამოლეკების მეთოდით	230
	5.4.6. ლითონური დარიშხანის გასუფთავება კრისტალიზაციის მეთოდით	231
	5.4.7. ლითონური დარიშხანის გასუფთავება დისტილაციის მეთოდით	232
თხაშო 6.	ანთიმონის შეტალურება	241
	6.1. ანთიმონის ნედლეულის გადამუშავება პირობეტალურგიული ხერხით	243
	6.1.1. დისტილაციური გამოწვა	243
	6.1.2. ცამკვითი გამოწვა	244
	6.1.3. დალეკვითი დნობა	244
	6.1.4. აღდგენითი დნობა	246
	6.1.5. სხვა სახის დნობები	247
	6.2. ანთიმონის ნედლეულის გადამუშავება პიდრობეტალურგიული ხერხით	248
	6.3. ანთიმონის რაფინირება	249
	6.4. ანთიმონის ნაერთების მიღება	249
თხაშო 7.	ვერცხლისწყლის შეტალურება	251
	7.1. ვერცხლისწყლის ნედლეულის გადამუშავება პირობეტალურგიული ხერხით	251
	7.1.1. ვერცხლისწყლის მადნების გამოწვა	251
	7.1.2. ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსაცია	252
	7.1.3. ვერცხლისწყლის გამოყოფა სტუპად	253
	7.2. ანთიმონ-ვერცხლისწყლის ნედლეულის გადამუშავება	253
	7.3. ვერცხლისწყლის რაფინირება	254
თხაშო 8.	ოქროსა და ვერცხლის შეტალურება	255
	8.1. ოქროს ამოღება ოქროს მადნების დაცანებით	266
	8.1.1. დაცანების პროცესი	266
	8.1.2. ოქროს გამოლეკვა ციანური ხსნარებიდან	273
	8.2. ოქროს, ვერცხლის, სელენისა და ტელურის ამოღება სპილენძის ელექტროლიტური რაფინირების ანოდური შლამებიდან	279
	8.2.1. შლამებიდან სელენისა და ტელურის ამოღება	280
	8.2.2. დნობა ოქროსა და ვერცხლის შენადნობზე	283
	8.3. ოქროსა და ვერცხლის აფინაჟი	285
	8.3.1. აფინაჟი დაქლორებით	286
	8.3.2. ვერცხლის აფინაჟი ელექტროლიზით	287
	8.3.3. ოქროს აფინაჟი ელექტროლიზით	289
თხაშო 9.	ალუმინის შეტალურება	293
	9.1. თიხამიწის მიღების ხერხები	295
	9.1.1. თიხამიწის მიღება მარცხის ხერხით	296
	9.2. ალუმინის მიღება ელექტროლიზით	299
	9.3. ალუმინის ელექტროლიტური რაფინირება	304
თხაშო 10.	მაგნიუმის შეტალურება	307
	10.1. მაგნიუმის უწყლო ქლორიდების მიღება	308
	10.2. მაგნიუმის მიღება ელექტროლიზით	310
	10.3. მაგნიუმის მიღება სოლიკოთერმული მეთოდით	311
თხაშო 11.	ვოლფრამის შეტალურება	312
	11.1. ვოლფრამის კონცენტრატების გადამუშავება	313
	11.2. ლითონური ვოლფრამის მიღება	316
თხაშო 12.	ტიტანის შეტალურება	318
	12.1. ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიღება	320
	12.2. ტიტანის ტეტრაქლორიდის გასუფთავება	325
	12.3. ლითონური ტიტანის მიღება	327
	12.4. კომპაქტური ლითონური ტიტანის მიღება	336
თხაშო 13.	ურანის შეტალურება	337
	13.1. მადნის ნედლეულიდან ურანის ქიმიური ნაერთების მიღება	343
	13.1.1. ურანის ქიმიური ნაერთების მიღება მადნის ნედლეულის შეყვანილ გამოტუტვით	344
	13.1.2. ურანის ქიმიური ნაერთების მიღება მადნის ნედლეულის სოლის ხსნარში გამოტუტვით	354
	13.2. ურანის ქიმიური ნაერთების გასუფთავება (რაფინირება)	358
	13.2.1. რაფინირება ევსტრაქციით	360

13.2.2.	კანონდირექტების ხსნარებთან ურანის გამოყოფა და ურანის სამყარვის მოღვაწეობა	361
13.2.3.	ოთხეთორიანი ურანის მოღვაწეობა	363
13.3.	ლითონური ურანის მოღვაწეობა	365
13.3.1.	ურანის ფთორიდის ადგილზე მცენიუმით და ლითონური ურანის მოღვაწეობა	366
13.3.2.	ლითონური ურანის დნობა	367
01330	14. ცნებები ამ ზოგიერთი ლითონის თანაური ამოღების შესახებ, რომლებსაც ხაკუთარი შადნები არ გააჩნია	368
	14.1. ინდიუმი	368
	14.2. თალიუმი	368
	14.3. ვალუმი	369
	14.4. რენიუმი	370
ნაწილი IV.	პარაჰელს ლაცონის პრობლემატიკაში უმრავლეს შემთხვევაში	371
01330	1. მტერისა და წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების აირისგან განცალკევება	372
	1.1. სწრაფი კაბრა	373
	1.2. ციკლონი	374
	1.3. მულტიციკლონი	375
	1.4. ტომარა ფილტრი	375
	1.5. სამხეფე კომპი	376
	1.6. სარეცხლა (სკრუბერი) საქმინებიანი საცმით	377
	1.7. სარეცხლა წყლის აბაზანით	377
	1.8. ელექტროსტატიკური საღებო	377
01330	2. აირების გასუფთავება ქიმიური ნაერთებისგან	379
	2.1. გოგირდის დიოქსიდი	379
	2.1.1. გოგირდმყვან მოღვაწეობა	380
	2.1.2. ელექტრული გოგირდის მოღვაწეობა	382
	2.1.3. კალციუმის სულფიდისა და სულფატის მოღვაწეობა	383
	2.2. ფორიდები და ქლორიდები	383
01330	3. აირის გაფრთხილება შადნო ხაკუთარ მულტით	383
01330	4. ხაზობის უტოლბადაც (ვაშოყენება)	384
01330	5. შეტალურგოვანი წარმოებაში გამოყენებული წყლის გასუფთავება	385
	5.1. წყლის გასუფთავება მტერის ნაწილაკებისგან	385
	5.2. წყლის გასუფთავება მძიმე ლითონების ნაერთებისგან	385
	5.3. მდარობში წარმოქმნილი ხსნარების გაუფრთხილება	386
01330	6. ზოგიერთი ფერადი ლითონის წარმოების უსაფრთხოების ტექნიკა და შეტალურგოვანი ნარჩენებისგან გარეშობის დაცვა	387
	6.1. სისილიტი	387
	6.2. ნიკელი	391
	6.3. ტყუთი	391
	6.4. თუთია	392
	6.5. დარიშხანი	393
	6.6. ოქრო	394
	6.6.1. ოქროს წარმოების სამონადირე წყლების გასუფთავება	394
	6.6.2. ტანობისგან მუშაობის უსაფრთხოების ტექნიკა	397
	6.7. ალუმინი	399
	6.8. ურანი	400
	6.9. ურცხლისწყალი	403
01330	7. შეტალურგოვანი და ქიმიური წარმოების ნარჩენების რენტგენული გადამუშავება	403
	7.1. კატალიზური ამოღების ტექნოლოგიის საფუძვლები	404
	7.2. ლითონური გამსხვავების შერჩევის კრიტერიუმები	407
	7.2.1. ლითონის შერჩევა დაქლონითი ნახშირწყალბადიანი ნარჩენების გადამამუშავებლად	409
დამატება		415
რეკომენდებული ლიტერატურის სია		420

შესავალი

მეტალურგია (ლათინურად – Metallurgia – მალაროში მუშაობა; ბერძნულად – Metallon – მალარო+მუშაობა) ლითონების მიღებას ითვალისწინებს. იგი ერთ-ერთი უძველესი პროფესიაა, რომელიც კაცობრიობამ ვერ კიდევ 6000 წლის წინათ ათვისა ახლანდელი ჩინეთისა და ინდოეთის ტერიტორიაზე. ევროპაში ლითონების გამოყენება ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 3000 წლის წინათ დაიწყო. ადამიანმა, საოჯახო მოხმარების ნივთების დასამზადებლად, ლითონებიდან პირველად საძლები, ოქრო, ვერცხლი, ტყეა, კალა და მეტეორიტის რკინა გამოიყენა. საძლებისგან დამზადებული ყველაზე ადრინდელი (ძვ. წ. 8000) ნაკეთობანი (ძივების ასხმულა, ქინძისთავები, სადვისები) თურქეთისა და ირანის ტერიტორიებზეა აღმოჩენილი.

არქეოლოგიური გამოკვლევებით დადასტურდა, რომ მეტალურგიული წარმოების ერთ-ერთ უძველეს რაიონს განეკუთვნება საქართველო – პირდაპირი გამგრძელებელი იმ მაღალი მატერიალური კულტურისა, რომელიც მახლობელ რეგიონებში შეიქმნა. ოქროს, ვერცხლის, საძლებისა და ბრინჯაოს წარმოების მაღალი განვითარებით განსაკუთრებით გამოირჩეოდა წალკის რაიონი.

უდავოა, რომ იმ დროში ადამიანი დედამიწის წიაღში წარმოქმნილ თვითნაბად ლითონებს იყენებდა. დროთა განმავლობაში სწავლულებმა გამოიგონეს ხერხი, რომელიც ლითონის შემცველი ნედლეულიდან ლითონის ამოღების საშუალებას იძლეოდა. ამ ხერხის გამოგონება კაცობრიობის ისტორიაში ცეცხლის წარმოქმნის გამოგონების ტოლფასად შეიძლება ჩაითვალოს.

დღეს ლითონები და მათი შენადნობები მეცნიერებისა და ტექნიკის თითქმის ყველა დარგში გამოიყენება. ლითონების გარეშე წარმოადგენულია ენერჯეტიკის, თვითმფრინავშენებლობის, სამშენებლო, მანქანათმშენებლობისა და სახალხო მეურნეობის სხვა დარგების განვითარება. ტექნიკის ახალი დარგების – რადიოელექტროტექნიკის, ელექტრონიკის, გამოთვლითი ტექნიკისა და ლაზერული ტექნიკის წარმატებები მთლიანად დამოკიდებულია განსაკუთრებული და მაღალი სისუფთავის ლითონებისა და მათი ნაერთების წარმოების სრულყოფაზე.

ტექნიკის განვითარებასთან ერთად გამოყენებული ლითონების ნომენკლატურა და რაოდენობა გაიზარდა. თუ მე-18 საუკუნემდე კაცობრიობისთვის ცნობილი იყო მხოლოდ 10 ლითონი (ოქრო, ვერცხლი, საძლები, ვერცხლისწყალი, რკინა, ტყეა, კალა, ანთიმონი, თუთია, ბისმუტი), ამჟამად პერიოდული სისტემის ქიმიური ელემენტებიდან 80-ზე მეტი ლითონებს განეკუთვნება.

ლითონის დამახასიათებელი თვისებები – ლითონური ბზინვარება, მაღალი ელექტროგამტარობა (ელექტრონების ადვილად გადაადგილების შესაძლებლობა) და თბოგამტარობა საკმარისი არ არის ლითონებისა და მეტალოიდების მკვეთრი გამოიჯენისათვის. ქიმიური ბუნების მიხედვით ლითონს განეკუთვნება ის ელემენტი, რომელიც ტუტე ხასიათის ოქსიდს წარმოქმნის. რიგი ლითონები და მათ შორის ალუმინი, ტყეა და კალა კი ამფოტერული ხასიათის ოქსიდებს წარმოქმნის, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ქიმიური თვისებების მიხედვითაც შეუძლებელი ხდება ელემენტების ლითონებად და მეტალოიდებად გამოიჯენა. ასეთი შეუსაბამოა განპირობებულია ქიმიური ელემენტების წინააღმდეგობრივი ბუნებით.

გერმანიუმი და დარიშხანი უფრო მეტალოიდების მსგავსია, მაგრამ გამოყენების და წარმოების ხასიათიდან გამომდინარე, მეტალურგიაში მათ ლითონებს მიაკუთვნებენ.

არსებობს ისეთი ანომალიური შემთხვევაც, როცა ნივთიერებების მოცულობა დნობის დროს მცირდება (ანუ დნობის დროს ნივთიერება იკუმშება). ასეთი ანომალიით გამოირჩევა ბისმუტი და წყალი.

ელემენტების პერიოდულ სისტემაში ყველა ლითონი მისი ქიმიური თვისებების მიხედვითაა კლასიფიცირებული. ეს ცხრილი ცალკეული ლითონის გამოყენებისა და სახალხო მეურნეობაში მისი მნიშვნელობის შესახებ არავითარ წარმოდგენას არ გვიქმნის. ამიტომ დროთა განმავლობაში ჩამოყალიბდა ლითონების სამრეწველო კლასიფიკაცია.

სამრეწველო კლასიფიკაციას მტკიცე მეცნიერული საფუძვლები არ გააჩნია. მასში ლითონების ჯგუფებად დაყოფა უმთავრესად ტრადიციული და პირობითია. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, სამრეწველო კლასიფიკაცია მტკიცედ დაინერგა მეტალურგიულ პრაქტიკაში და დამკვიდრდა ამჟამად ფართოდ გავრცელებული სპეციფიკური ტერმინოლოგია.

რკინას და მის შენადნობებს ღიდი ხანია წამყვანი ადგილი უკავია წარმოებასა და ტექნიკაში; რკინა უფრო ღიდი რაოდენობით იწარმოება და გამოიყენება, ვიდრე ნებისმიერი სხვა ლითონი. რკინის მეტალურგიასთან ერთად ვითარდებოდა ქრომის, მანგანუმისა და ვანადიუმის მეტალურგიაც. ეს ლითონები ძირითადად რკინასთან შენადნობების სახით გამოიყენება. ყოფილ საბჭოთა კავშირში დამკვედრებული სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით, ყველა ლითონი, შავ და ფერად ლითონებადაა დაყოფილი. რკინა, მანგანუმი, ქრომი და ვანადიუმი შავ ლითონებს განეკუთვნება, ხოლო ყველა დანარჩენი ლითონი ფერად ლითონებშია გაერთიანებული. ეს სახელწოდებები გაგებული უნდა იქნეს, როგორც სიმბოლოები, ვინაიდან სინამდვილეში ცნობილია მხოლოდ ორი ფერადი ლითონი – ვარდისფერი სპილენძი და ყვითელი ოქრო. ყველა დანარჩენი ლითონი მოვერცხლისფერო-შირუხო ან მოწითალო ელფერით განსხვავდება ერთმანეთისგან.

სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით გამოყოფილია ფერადი ლითონების შემდეგი ჯგუფები: მძიმე ლითონები: სპილენძი, ნიკელი, ტყვია, თუთია და კალა. ამავე ჯგუფში შედის აგრეთვე ეწ. „უმკროს“ მძიმე ლითონები: ბისმუტი, ანთიმონი, დარიშხანი, კობალტი და ვერცხლისწყალი, რომელთა მოპოვება და წარმოება გაცილებით მცირეა, ვიდრე ძირითადი მძიმე ფერადი ლითონებისა. მძიმე ფერადი ლითონების ნედლეულში (მადნებში), გარდა ძირითადი ლითონებისა, თანმდევი ელემენტების სახით ხშირად თავმოყრილია კეთილშობილი ლითონები: ოქრო, ვერცხლი, პლატინა, აგრეთვე სელენი, ტელური, თალომი, ინდოუმი, გერმანიუმი, რენიუმი, მოლიბდენი, ურანი (ეს ლითონები იშვიათი ფერადი ლითონების ჯგუფს განეკუთვნება).

შუბუტუქ ფერადი ლითონების ჯგუფში შედის ალუმინი, მანგიუმი, ტუტე და ტუტემიწა ლითონები და სილიციუმი.

კეთილშობილ ფერად ლითონებს განეკუთვნება ოქრო, ვერცხლი, პლატინა და პლატინოიდები (ოსმიუმი, რიდიუმი, როდიუმი, რუთენიუმი, პალადიუმი).

სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით დანარჩენი ფერადი ლითონები (დაახლოებით 44) გაერთიანებულია იშვიათი ფერადი ლითონების ჯგუფში. ამ ჯგუფში ლითონების თავმოყრა ელემენტების ისეთ ნიშან-თვისებებს ეყრდნობა, როგორიცაა: ბუნებაში ნაკლებად გავრცელება, გაბნეულობა, მიღების სიმძლედე და თვისებების არასაკმარისი შესწავლა. თუმცა, მეცნიერების წარმატებებისა და ტექნიკის განვითარების შედეგად ბევრი იშვიათი ლითონი არამარტო ხელმისაწვდომი გახდა, არამედ ისეთ აუცილებელ მასალად გადაიქცა, რომლის გამოყენებამ მეცნიერებისა და წარმოების ახალ მიწევებს შეუწყო ხელი.

იშვიათი ლითონების გამოყენებამ გზა გაუხსნა ატომური დაშლის უდიდეს ენერგეტიკულ რესურსებს, შიდა ატომური ენერჯის გამოყენებისა და ელემენტების ხელყოვნად მიღების (იმ ელემენტებისა, რომლებიც მიწის წიაღში არ მოიპოვება) შესაძლებლობებს. იშვიათი ლითონების გამოყენებამ უზრუნველყო ტექნიკის ახალი დარგების შექმნა. ახალი დარგების შექმნით განვითარდა რეაქტორული მრავების, სტრატოსფერული თვითმფრინავების, რადიოლოკატორების, ფოტოელექტრონული და ნახევრად გამტარი ხელსაწყოების, თვალისათვის უხილავი სინათლის სხივების დამჭერებისა და სხვა წარმოებები.

ფოლადზე და ფერადი ლითონების შენადნობებზე იშვიათი ლითონების დამატებით შეიქმნა ისეთი მასალები, რომლებიც განსაკუთრებული კოროზიული მდგრადობით გამოირჩევა და სიმტკიცეს ინარჩუნებს -50°C დან + 900°C-ის ტემპერატურების ინტერვალში, მასალები, რომლებიც მაღალი პლასტიკურობით, სისალითა და სხვა მაღალი მექანიკური თვისებებით ხასიათდება.

იშვიათი ლითონების ჯგუფში ზოგიერთი ელემენტის თავმოყრა არ არის დაკავშირებული მიწის წიაღში მის მკირე შემცველობასა და გაბნეულობასთან. იშვიათი ლითონების ჯგუფს განეკუთვნება ის ელემენტებიც, რომელთა მიღება ელემენტური სახით გაძნელებულია და გართულებულია აგრეთვე მათი გასუფთავება. ასე, მაგალითად, ტიტანი და ცირკონიუმი მიწის წიაღში უფრო მაღალი კონცენტრაციითაა წარმოდგენილი, ვიდრე სპილენძი, ტყვია და თუთია, თუმცა, მათი მიღება სუფთა სახით დიდხვედრად გართულებულია და არ არის დახვეწილი.

ლანთანის, ცეროუმისა და იშვიათმიწა ელემენტების მარავი საკმარ რაოდენობითაა დედამიწის წიაღში, მაგრამ მათი ამოღება და, განსაკუთრებით, ერთმანეთისგან განცალკევება ჯერ კიდევ საკმარ ღიდი სირთულეებით გამოირჩევა. საგულისხმოა, რომ თორიუმი, ცეროუმი, ნეოდიუმი და პორონიუმი

უფრო მეტი რაოდენობითაა წარმოდგენილი მიწის წიაღში, ვიდრე ვერცხლისწყალი, კალა და კადმიუმი.

ისტორიულად განვითარებული სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით იშვიათი ლითონების ჯგუფი შედგება ქვეჯგუფებად იყოფა:

ძნელნობადი – ვოლფრამი, მოლიბდენი, ტიტანი, ტანტალი, ნიობიუმი და ცირკონიუმი.

მსუბუქი იშვიათი ლითონების ქვეჯგუფი – სტრონციუმი, სკანდიუმი, ლითიუმი, ბერილიუმი, რუბიდიუმი და ცეზიუმი;

რადიოაქტიური ლითონების ქვეჯგუფი – ურანი, რადიუმი, თორიუმი, აქტინიუმი და პროტაქტინიუმი;

გაბნეული იშვიათი ლითონების ქვეჯგუფი – ინდიუმი, გალიუმი, თალიუმი, გერმანიუმი და რენიუმი;

იშვიათმიწა ლითონების ქვეჯგუფში, გარდა იშვიათმიწა ლითონებისა [ლანთანოიდები – ცერიუმიდან (58) ლუტეციუმის (71) ჩათვლით], წარმოდგენილია ლანთანი, იტრიუმი და ჰაფნიუმი.

სამრეწველო კლასიფიკაციით ლითონების ამაჯგუარი დაყოფა, ძირითადად, ერთის მხრივ, ელემენტების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ერთობლიობას, ხოლო მეორეს მხრივ, ბუნებაში გავრცელებისა და ისტორიულად ჩამოყალიბებული წარმოების მეთოდების მსგავსებას ეყრდნობა.

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით დაყოფილი ელემენტები პერიოდულ სისტემაში კომპაქტურადაა განლაგებული.

დასავლეთ ევროპაში, აზერბაიჯანში, აფრიკაში, ავსტრალიასა და სხვა ზოგიერთ ქვეყანაში, სამრეწველო კლასიფიკაციის მიხედვით შავი ლითონები რჩება ლითონების (ferrous metals), ხოლო უფრო ადრე ლითონები არაკონა ლითონების (Non-ferrous metals), სახელწოდებითაა ცნობილი. არაკონა ლითონები კი ორ ჯგუფადაა დაყოფილი: არააქტიური – სპილენძი, ნიკელი, ტყვია კობალტი, აგრეთვე ოქრო და ვერცხლი (ამ ლითონების საერთო სახელწოდება – კეთილშობილი, მიღებულია დასავლეთის ქვეყნებში) და ა.შ. და აქტიური – ალუმინი, მაგნიუმი, თუთია, ურანი და ა.შ. არაკონა ლითონების ამაჯგუარი დაყოფა ძირითადად ლითონების ურთიერთქმედების უნართან არის დაკავშირებული.

ამ წიგნის სათაური ჩვენთან დამკვიდრებული ლითონების კლასიფიკაციის მიხედვით იქნა შერჩეული.

თანამედროვე მეტალურგია ლითონების, მათი შენადნობებისა და შენაერთების მწარმოებელი მრეწველობის დარგია. იგი არის შექნიერება, რომელიც წიაღისეული ნედლეულიდან, ანუ მადნიდან (აგრეთვე სხვა სახის ნედლეულიდან) ლითონის ამოღებისა და მისი გასუფთავების პროცესებს შეისწავლის.

ჩვეულებრივი მთის ქანისგან განსხვავებით, მადანში ლითონი იმ რაოდენობითაა კონცენტრირებული, რომ მეტალურგიული განვითარების თანამედროვე ტექნიკის პირობებში მისი მადნიდან ამოღება ეკონომიკურად სარგებლიანია. ამდენად, მადნის ცნებაში გეოლოგიური, ტექნიკური და ეკონომიკური აზრი იგულისხმება.

მიწის წიაღის განსაზღვრულ ნაწილში თავმოყრილი მადანი ამა თუ იმ ლითონის საბადოს წარმოქმნის.

როგორც წესი, მადნიდან ამოსაღები ლითონი მადანში თავისუფალი სახით არ არის კონცენტრირებული, იგი ბუნებრივ ქიმიურ ნაერთში, ანუ მინერალშია „შეკრული“. ამოსაღები ლითონის მინერალის კრისტალები კი მადნის ძირითადი ნაწილის, ანუ ფუჭი ქანის მინერალების რთულ ნარევეშია გაბნეული და მასთან ასოცირებული.

უფრო ადრე ლითონების მაღალი ხარისხის მადნების (თეთნაბადი ლითონებისა და ლითონით მდიდარი მადნები) მარაგი დროთა განმავლობაში გამოიღია და დღეს თეთნაბადი ლითონის ან ლითონშემცველი მინერალით მდიდარი მადანი ნაკლებად მიიპოვება ლეადმიწის წიაღში. ამიტომ, ძირითადი მეტალურგიული გადამუშავების წინ აუცილებელი ხდება ლარბი მადნების წინასწარი მომზადება ანუ მათი გამდიდრება ლითონშემცველი მინერალით. მადნის გამდიდრება დამზარებ მეტალურგიული პროცესებით ხორციელდება. მომზადების (გამდიდრების) პირველ ეტაპზე მადანი იმსხვრევა და ქუცმაცდება. დაქუცმაცების პროცესში მადნის მარცვლების ზომები იმდენად მცირდება,

რომ ლითონმშენებელი მინერალის ფუჭი ქანთან მექანიკური კავშირი ირღვევა (ლითონის მინერალის კრისტალები ფუჭი ქანის მატრიციდან თავისუფლდება).

ძირადგების მეორე ეტაპზე დაქუცმაცებული მადანი გამდიდრებას განიცდის და ფუჭი ქანის განსაზღვრული ნაწილისგან თავისუფლდება. განცალკევებული ფუჭი ქანი გადაიკრება, ხოლო ლითონის მინერალებით გამდიდრებული მადნის ნაწილი ანუ კონცენტრატი მაღალ ტემპერატურაზე ან წყალხსნარებში მეტალურგიულ გადამუშავებას ექვემდებარება.

ფერადი ლითონების მინერალები ძირითადად მარტივი ან რთული (კომპლექსური) ოქსიდური ან სულფიდური ნერთების სახით არის წარმოდგენილი მადანში, ხოლო ის მინერალები, რომელთა შემადგენლობაში ამოსალები ლითონი არ შედის (მათ შორის ფუჭი ქანიც), მადანში სულფიდური, ოქსიდური, კარბონატული, სილიკატური და ალუმოსილიკატური ნერთების სახითაა წარმოდგენილი. საგულისხმოა, რომ ფერადი ლითონების მადანში შემაჯალი რკინის მინერალები ფუჭი ქანს განეკუთვნება.

მადნის შემადგენლობაში შემაჯალი მინერალები სხვადასხვა ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით განირჩევა, ამიტომ მათი „ქცევა“ მეტალურგიულ პროცესებში განსხვავებულია. აქედან გამომდინარე, მადნების შეფასების დროს მინერალოგიური შემადგენლობის გათვალისწინებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

ზმარად ლითონმშენებელი მინერალის ქიმიური ფორმა მარტივი ხერხით ნედლეულიდან ლითონის ადვილად და ეკონომიურად ამოღების საშუალებას არ იძლევა. ამიტომ ნედლეულის (მადანი, კონცენტრატი) გადამუშავების გასაადვილებლად მადნის წინასწარი დამუშავებით მინერალის ქიმიური ფორმა იცვლება – სულფიდები ოქსიდურ, სულფატურ ან ქლორიდულ ნერთებში გადადის, ოქსიდები კი – სულფატის, ხოლო კარბონატები – ოქსიდის ნერთის ფორმას იღებს.

ნედლეულიდან სუფთა ლითონის მისაღებად ერთი მეტალურგიული პროცესის ან ერთი აგრეგატის გამოყენება, როგორც წესი, არ არის საკმარისი. წარმოებაში თანამიმდევრულ ეტაპებზე სხვადასხვა მეტალურგიული პროცესები და აგრეგატები გამოიყენება, რაც გადასამუშავებელი ნედლეულის კომპონენტების თანდათანობით დაყოფას უზრუნველყოფს.

მეტალურგიული გადამუშავების პირველი ციკლის ეტაპობრივი პროცესები ერთმანეთს ისეთი თანმიმდევრობით უკავშირდება, რომ პირველი პროცესიდან მიღებული პროდუქტი მეორე პროცესის საწყის ნედლეულს წარმოადგენს, მეორე პროცესიდან მიღებული პროდუქტი მესამე პროცესის საწყის ნედლეულს და ასე შემდეგ, საბოლოო პროდუქტის (სუფთა ლითონის) მიღებამდე.

ლითონური ნედლეულის მეტალურგიული გადამუშავების ხერხი შეიძლება შეირჩეს მადნის ლითონური მინერალის ფორმის მიხედვით. მაგალითად, სულფიდურ ნერთებთან შედარებით ოქსიდები და სულფატები უფრო სწრაფად იხსნება წყალხსნარებში, ამიტომ მათი გადამუშავება ამ ხერხით უფრო მიზანშეწონილია.

ზოგჯერ ნედლეულის გადამუშავების ხერხის შერჩევა მისაღები ლითონის სისუფთავის ხარისხიდან გამომდინარეობს. მაგალითად, თუთიის წარმოებაში ერთი და იგივე ხარისხის ნედლეულიდან სხვადასხვა ხარისხის ლითონის მიღება შეიძლება – მაღალტემპერატურული ხერხით მიღებული, ნაკლებად სუფთა თუთია ვალენაჩაიციაში და თითბერის შენადნობის მისაღებად იხმარება, ხოლო ნედლეულის წყალხსნარებში გადამუშავებით წარმოებული თუთია უფრო მაღალი სისუფთავისაა და იგი სპეციალური შენადნობების დასამზადებლად გამოიყენება.

ზოგიერთი ფერადი ლითონის მადანი თავისი შემადგენლობით კომპლექსურია, ანუ გარდა ძირითადი ლითონისა, 10–20 თანმდევ სასარგებლო ელემენტს (ლითონს) შეიცავს. ზოგიერთ თანმდევ ელემენტს თავისი ბუნებრივი საბადო არ გააჩნია და მისი მიღების წყაროს მხოლოდ სხვა ლითონის მადანი წარმოადგენს. მაგალითად, სელენის, ტელურის, ინდიუმის მიღების წყაროს სპილენძის მადნები წარმოადგენს; კადმიუმს ზმარად თან სდევს თუთიის მადნებს, გალიუმში ალუმინის ნედლეულის გადამუშავების პროცესში კონცენტრირდება ნახევარპროდუქტებში; წარმოებული ვერცხლის 80% სპილენძისა და ტყვიის მადნებიდან თანაურად ამოიღება. ოქროს მნიშვნელოვანი ნაწილი სპილენძისა და დარიშხანის მადნებშია გაფანტული. ყოველივე ამის გამო მადნის მეტალურგიული გადამუშავების ხერხისა და ტექნოლოგიური სქემის შერჩევისას მადნიდან ძირითადი ლითონის მაქსიმალურ ამოღებასთან ერთად სასარგებლო თანმდევი ელემენტების თანაური ამოღების შესაძლებლობაც უნდა იყოს გათვალისწინებული. თანმდევი ელემენტების თანაური ამოღება აადვილებს ნედლეულის

კომპლექსურ გადამუშავებას, ზრდის ტექნოლოგიის ეფექტიანობას და უნარჩენო ტექნოლოგიის შექმნის კარგ საშუალებას იძლევა.

ფერად მეტალურგიაში გამოყენებული ტექნოლოგიისა და მიღებული ლითონების გასუფთავების ხარისხიდან გამომდინარე, გამოირჩევა დაუნახლასებელი (რომელიც მინარევებისგან შემდგომ გასუფთავებას საჭიროებს) და რაფინირებული (გასუფთავებული) ლითონი. რაფინირებული ლითონი სასაქონლო პროდუქციის სახით პირდაპირ მომხმარებელს მიეწოდება, დაუნახლასებელი ლითონი კი მინარევებით არის გაჭუჭყიანებული და რაფინირებას საჭიროებს. მინარევების ერთი ნაწილი, მაგენ მინარევები, უარყოფითად მოქმედებს ლითონის თვისებებზე (ელექტროგამტარობა, პლასტიკურობა, კოროზიული მდგრადობა და სხვა), ამიტომ მათი განდევნა აუცილებელია. მინარევების მეორე ნაწილი კი ხშირად კეთილშობილი (ოქრო, ვერცხლი) და სხვა ძვირფასი (სელენი, ტელური და სხვა) ლითონების სახითაა წარმოდგენილი. აქედან გამომდინარე, რაფინირების ეტაპზე მაგენ მინარევების მოცილებასთან ერთად ძვირფასი ლითონების ამოღების შესაძლებლობაც უნდა იყოს გათვალისწინებული.

მაგალითად, სპილენძის ნედლეულის მაღალტემპერატურული გადამუშავების დროს თანმდევი ოქროსა და ვერცხლის თითქმის მთლიანი რაოდენობა, ხოლო სელენისა და ტელურის 80% დაუნახლასებელ სპილენძში გროვდება. ამ ძვირფასი ლითონების თანაური ამოღება დაუნახლასებელი სპილენძიდან რაფინირების პირველ ეტაპზე (ცეცხლოვანი რაფინირება) არ ხერხდება. მათი თანაური ამოღება სპილენძის რაფინირების საბოლოო ეტაპზე, ელექტროლიზის პროცესში ხორციელდება. ამიტომ ტექნოლოგიურ სქემაში ძვირადღირებული ელექტროლიტური რაფინირების ეტაპის ჩართვა მომგებიანი ხდება იმ შემთხვევაში, თუ დაუნახლასებელი სპილენძი საკმაო რაოდენობით შეიცავს ძვირფას ლითონებს. წინააღმდეგ შემთხვევაში სპილენძის გასუფთავების მიზნით მხოლოდ ცეცხლოვანი რაფინირება გამოიყენება.

დახმარე მეტალურგიული პროცესები

საწყისი ნედლეულის ხარისხიანად მომზადება გადამწყვეტ გავლენას ახდენს მეტალურგიულ წარმოების საბოლოო ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

მეტალურგიულ წარმოებაში გადასამუშავებელი მასალა სხვადასხვა ხარისხის მადნების, ფლუსის (მდნობი - დახმარე მასალა, რომელიც მაღალტემპერატურულ პროცესებში გამოიყენება) და საბურთის (წარმოების ზოგიერთი ნარჩენი) ნარევისგან, ანუ კაზმისგან (კაზმში სათბობი არ შედის), შედგება.

მეტალურგიული კაზმის ხარისხი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს: ქიმიური შედგენილობის მუდმივობა; ქიმიური, მინერალოგიური და გრანულომეტრული შედგენილობის ერთგვაროვნება; კაზმის კომპონენტების ოპტიმალური სისხო; ოპტიმალური ტენიანობა.

პირველი ორი მოთხოვნა არ საჭიროებს განმარტებას, რადგან მეტალურგიული აგრეგატების მყარ რეჟიმში მუშაობას, მხოლოდ კაზმის შედგენილობის მუდმივობა და ერთგვაროვნება უზრუნველყოფს. მეტალურგიული წარმოების პირობებში დღე-ღამეში ასი თუ ათასი ტონა საწყისი მასალის გადამუშავება შეუძლებელია სანედლეულო მასალების თანაბარი მიწოდებისა და კაზმის კომპონენტების ერთმანეთთან კარგად შერევის გარეშე.

გადასამუშავებელი კაზმის ოპტიმალური სისხო დამოკიდებულია მეტალურგიული პროცესის სახეობაზე. ერთ შემთხვევაში დნობის დროს გამოიყენება ნაჭროვანი და გამძლე კაზმი (30-100 მმ სისხოთი), ხოლო სხვა შემთხვევაში სადნობი კაზმის მარცვლების სისხო არ უნდა აღემატებოდეს 2-5 მმ-ს. წყალხსნარებში გადამუშავება და ავტოგენური პროცესი (პროცესი, სადაც სათბობად თვით ნედლეულში არსებული სითბოს წყარო გამოიყენება), რომელიც კაზმის გაფრქვევას ეყვარება, ძალზე წერილად დაქუცმაცებულ (100-200 მკ) მასალას საჭიროებს.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე გადასამუშავებელი კაზმის ტენიანობას. წყალხსნარებში გადამუშავების დროს საწყისი მასალების ტენიანობა პრაქტიკულად არ არის შეზღუდული. ზოგიერთ ღუმელში დნობისას კი გამოიყენება მხოლოდ 5-8% ტენიანობის მქონე კაზმი. ელექტრო-ღუმელებში დნობის დროს კაზმის ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 3%, ხოლო მასალის განსაკუთრებულ (შეტვიტვიტულ) მდგომარეობაში დნობა საჭიროებს 0,1-0,3%-მდე ტენიანობის შემცირებას.

ნედლეულის წინასწარი მომზადება მექანიკური და ქიმიური ოპერაციების საშუალებით ტარდება. მექანიკური ოპერაციები საწყისი მასალების (მადანი, ფლუსი, ნაჭროვანი ნაბრუნი) დამსხვრევასა და დაქუცმაცებას, სისხოს მიხედვით მასალების დახარისხებას (ცხავეში გატარება), მადნების გამდიდრებას, საკაზმე მასალების საწყობებში მოთავსებასა და შენახვას, კაზმის მომზადებას, კაზმის გაუწყლოებას ან დატენიანებასა და დაქუცმაცებული საკაზმე მასალების გამსხვილებას ითვალისწინებს.

მექანიკური ოპერაციების პროცესში ნედლეული მასალების ელემენტური და მინერალოგიური შემადგენლობა უცვლელი რჩება. ამ ოპერაციების დროს იცვლება მხოლოდ სასარგებლო ელემენტებსა და ფუჭ ქანს შორის ფარდობა, საკაზმე მასალების სისხო და მათი ტენიანობა.

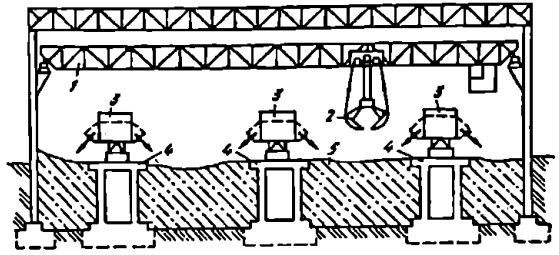
ნედლეულის ქიმიური მომზადების ოპერაციების ჩატარების შედეგად ნედლეულის ქიმიური და ფაზური შემადგენლობა იცვლება. როგორც წესი, ეს ოპერაციები მაღალტემპერატურული პროცესებით ხორციელდება და ამიტომ ნედლეულის ქიმიური მომზადება ამ პროცესებთან ერთად განიხილება.

თავი 1. კაზმის მომზადება

თანამედროვე მეტალურგიულ წარმოებაში ძალზე დიდი რაოდენობის (მოცულობის) ნედლეული მუშავდება, ამიტომ ქარსანაში შემოსული ნედლეულისა და მასალების განთავსება, საკაზმე მასალებიდან სინჯის აღება და თვით კაზმის მომზადება კარგ ორგანიზაციას საჭიროებს.

მოსამზადებელი საშუალების ჩატარების დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ნედლეულისა და სხვა მასალების მარაგის უზრუნველყოფას ენიჭება. იგი უნდა ითვალისწინებდეს, როგორც

საკაზმე კომპონენტებისა და სათბობის დროულ და საკმარისი რაოდენობით, ტრანსპორტით მიწოდებას, აგრეთვე სხვადასხვა მასალებიდან სინჯების აღებისა და სინჯებზე ქიმიური ანალიზების ჩატარების შესაძლებლობას. მასალებით უზრუნველყოფისას აუცილებელია ოპტიმალური მარაგის შექმნა. მარაგის შემცირება უარყოფით ზეგავლენას ახდენს საწარმოს მუშაობაზე, ხოლო ჭარბი მარაგის გამო სათანადოდ ვერ გამოიყენება მათი მატერიალური ღირებულება, რაც დაუზღვევია თანამედროვე ეკონომიკური პოლიტიკის პირობებში.



სურ. I.1. საგრეიფერო საწყობის ქრილი.

1. ხიდური ამწე; 2. გრეიფერი; 3. თვითანტვირთვადი ვაგონები; 4. ესტაკადა; 5. ნედლეული მასალები.

ნედლეული რესურსების ოპტიმალური მარაგის სიდიდე დამოკიდებულია კაზმის მომზადების ხერხზე. როგორც წესი, ფერადი მეტალურგიის საწარმოში მასალების მარაგი ძირითადი მეტალურგიული აგრეგატების უწყვეტ მუშაობას 10-30 დღით უზრუნველყოფს.

როგორც წესი, საწარმოებში ნედლეული მასალების მიწოდება ნახევრად ღია თვითსაცვლელი რკინიგზის ვაგონების საშუალებით ხორციელდება, ხოლო მცირე მოცულობის მასალის მიწოდების დროს რკინიგზის კონსტრუქციები ან თვითმცვლელი სატვირთო მანქანები გამოიყენება.

მომზადების პირველადი ოპერაციები ნედლეული მასალების საწყობებში განთავსებას, მათ დახარისხებასა და შემადგენლობის გასაშუალებას (კარგად შერევას), ცხავში გატარებას და მსხვილი მასალის დამსხვრევას ითვალისწინებს.

საწარმოში შესული ნედლეული გრეიფერის ამწეთი აღჭურვილ ღია სამადნო ეზოებში ან ესტაკადის ტიპის საწყობებში ჩამოიტვირთება. დახურული ტიპის გრეიფერით აღჭურვილი საწყობის სქემა ნაჩვენებია I.1. სურათზე.

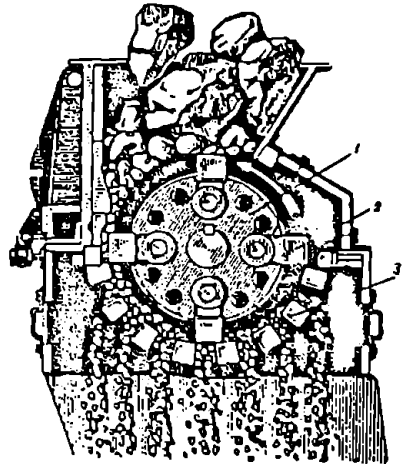
საკაზმე მასალის დასამსხვრევად ყბებიანი, კონუსური, ლილეიანი და ჩაქურებიანი სამსხვრეველები გამოიყენება.

ჩაქურებიანი სამსხვრეველა (სურ. I.2.) დაბალი სიმტკიცისა და მაღალი პლასტიკურობის მქონე მასალების (მაგალითად ნიკელის ოქსიდური მადანი) დასამსხვრევად გამოიყენება. ჩაქურებიან სამსხვრეველაში მადანი გარდნის დროს იმსხვრევა ჩაქურებით, რომლებიც მბრუნავ ლილეზე სახსრულად არის დამაგრებული.

დამსხვრეული მასალის დაქუცმაცების მიზნით, როგორც წესი, ბურთულებიანი წისქვილი (სურ. I.3.) გამოიყენება.

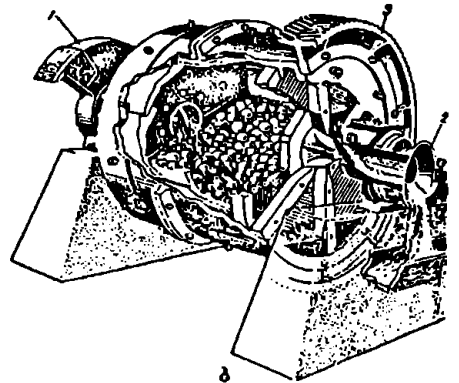
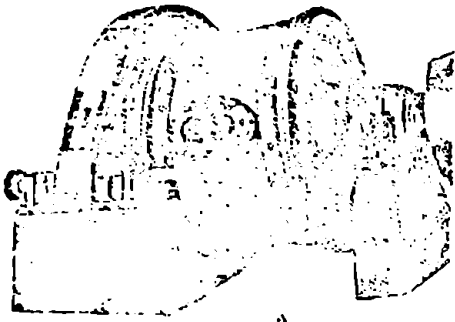
მეტალურგიულ საწარმოში კაზმის მომზადების, შენახვის და მიწოდების ერთ-ერთ საუკეთესო ორგანიზაციულ სისტემად მექანიზირებულ საკაზმებში ფენებად დამტავლება ითვლება. მექანიზირებული საკაზმე მასალების მიწოდებისა და მზა კაზმის გადმოსატვირთი სატრანსპორტო საშუალებებით აღჭურვილ დახურული ტიპის საწყობს წარმოადგენს.

საწყობის საკაზმე ნაკეთობებში (სექციებში) საწყისი მასალები ტრანსპორტიორების მეშვეობით შედის. ტრანსპორტიორიდან მასალის ვადმოტვირთვა ვადმომგლები ურიკის საშუალებით ხდება. ნაკეთობის მთელ სიგრძეზე წინ და უკან ავტომატურად მოძრაობს ურიკა



სურ. I.2. ჩაქურის სამსხვრეველა.

1. როტორი; 2. ფილადის ჩაქურები; 3. ცხარია.



სურ. 1.1. ბურთაულქიანი წისქვილი ა. საერთო ხედავ ბ. ქროლი
 1 სკემატიკა; 2. დრუმიტიკა; 3. კბილანა ფერისა.

კაზმის კომპონენტებს თხელ პორიზონტალურ ფენებზე ყრის მოედანზე. ყოველ ნაკვეთურში 60-70 მ სიგრძის, 16 მ სიგანის და 5-6 მ სიმაღლის კაზმის შტაბელი ფორმირდება. შტაბელი დაახლოებით 8000 ტ კაზმს შეიცავს.

შტაბელის განტირთვა კაზმის გადასატვირთი მანქანის საშუალებით ხორციელდება. მომზადებული კაზმი ავტომატურ სასწორზე აწონვის შემდეგ მეტალურგიული გადამამუშავებისთვის იგზავნება.

ერთ ნაკვეთურში შტაბელის განტირთვის დამთავრების შემდეგ გადასატვირთი მანქანა შემდეგ ნაკვეთურში გადადის სამუშაოდ. მექანიზირებული საკაზმის სამუშაო რეჟიმი ისეა ორგანიზებული, რომ როცა სამი შტაბელიდან ერთზე დაგება მიმდინარეობს, მეორეზე მოსინჯვის, ხოლო მესამეზე განტირთვის სამუშაოები ტარდება. მექანიზირებულ საკაზმში კაზმის მომზადება საკაზმე მასალების საუკეთესო არევის უზრუნველყოფს. ყოველი შტაბელი დიდი რაოდენობის სხვადასხვა მასალის პორიზონტალური ფენებისგან შედგება. შტაბელის განივი კვეთიდან სასურველი ფენის შერჩევა, თხელი გადანაწილების სახით, განტირთვის მანქანის საშუალებით ხორციელდება.

სხვა, საკმაოდ გავრცელებულ მეთოდში კაზმის მომზადება ბუნკერების გამოყენებით ხორციელდება. ამ მეთოდში საკაზმე მასალები ცალკეულ ბუნკერებში ინახება. ბუნკერებიდან მასალა განსაზღვრული რაოდენობით ფენებზე დოზირდება ტრანსპორტიორის ლენტზე. მასალის არევა ტრანსპორტიორის მოძრაობის დროს ხდება (განსაკუთრებით მაშინ, როცა მასალა ტრანსპორტიორიდან ტრანსპორტიორზე გადადის). შემკრებ ტრანსპორტიორზე კაზმის დოზირება ლენტისებრი, ფირისებრი ან თეთვისებრი მკვებავების საშუალებით ხორციელდება.

ბუნკერებში კაზმის შენახვის ძირითად ნაკლს მარაგის მცირე რაოდენობა წარმოადგენს (მარაგი საჭიროისა მხოლოდ ერთი სამუშაო ცვლისთვის). მარაგის გადიდება ბუნკერების ზომების გადიდებას საჭიროებს, რაც დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

ზოგჯერ საკაზმე მასალების არევა მამდიდრებელი ფაბრიკის სასქელებელ კოდში (კაზმის მომზადება სველი მეთოდით) ტარდება.

თავი 2. მადნის გაამდიდრება

მადნის გაამდიდრების პროცესში მინერალების ქიმიური შემადგენლობა და მათი აგრეგატული მდგომარეობა არ იცვლება. მადნისა და გაამდიდრების შედეგად მიღებული კონცენტრატის შემადგენლობებს შორის განსხვავება მხოლოდ რაოდენობრივია და არა თვისებრივი. ამიტომ მადნისა და კონცენტრატის მეტალურგიული გადამამუშავება ერთი და იგივე ფიზიკურ-ქიმიურ საფუძვლებს ეყარება.

გამდიდრების შედეგად ფუჭი ქანი ნაწილობრივ განიდენება მადნიდან. მადნის დარჩენილ ნაწილში, ანუ კონცენტრატში ამოსაღები ლითონების პროცენტული შემცველობა იზრდება. მადანს ჩამოცილებული ფუჭი ქანი, თუ იგი რაიმე სასარგებლო ელემენტებს არ შეიცავს, ნარჩენი კულების სახით გადაიყრება.

ზოგჯერ გამდიდრების მეთოდები პოლილითონური მადნიდან (მადანი, რომელიც დაახლოებით ტოლი რაოდენობის რამდენიმე ლითონს შეიცავს) სხვადასხვა კონცენტრატის მიღების საშუალებას იძლევა. ყოველი ასეთი კონცენტრატი გამდიდრებულა რომელიმე ერთი ლითონით. ამგვარი სახის გამდიდრება სელექტიური გამდიდრების სახელით არის ცნობილი.

ვინაიდან გამდიდრების შედეგად მინერალების შემადგენლობა და აგრეგატული მდგომარეობა არ იცვლება, გამდიდრების პროცესი სიმატრითა და სიიჟით გამოიჩინება. გამდიდრების გამოყენებით მადნიდან ლითონის წარმოების ეკონომიური ხარჯები მცირდება.

გამდიდრება გამოიყენება არა მარტო მადნებისთვის, არამედ სხვა მყარი ნივთიერებების ნარევისთვისაც (მეტალურგიული გადამამუშავების სხვადასხვა ნარჩენებისა და ნახევარპროდუქტებისთვის).

მინერალების თვისებებიდან გამომდინარე, მადნების გასამდიდრებლად სხვადასხვა გამდიდრების ხერხი გამოიყენება. ფერად მეტალურგიაში ფართოდ გამოიყენება ფლოტაციური, გრავიტაციული და მაგნიტური გამდიდრების ხერხები. მადნების გამდიდრება ზორცილებელ მამდიდრებელ ფაბრიკაში, რომელიც, როგორც წესი, საბადოსთან ახლოსაა განლაგებული. თუ მამდიდრებელი ფაბრიკა და მეტალურგიული ქარხანა ერთად არის განლაგებული, მაშინ ასეთი კომპლექსი სამთო-მეტალურგიული კომბინატის სახელს ატარებს.

2.1. ფლოტაციური გამდიდრება

ფლოტაციის არის შემდეგი მდგომარეობა: წმინდად დაქუცმაცებული მადნის ლამისებრ მასაში, ანუ ე.წ. პულპაში (წყლის ან ხსნარისა და მყარი ნაწილაკების ნარევი), რომელსაც შესაბამისი ფლოტაციური რეაგენტები ემატება, ჰაერის გაქრევა ხდება; წარმოქმნილი ჰაერის ბუშტები პულპის მიერ მოცულობაში ნაწილდება; ჰაერის ბუშტებს მინერალების ის მარცვლები ეწყება, რომლებიც რეაგენტების ზემოქმედებით წყალში დასველების უნარს კარგავს. პულპის ზედაპირზე ამოტივტივებულ ჰაერის ბუშტებს წყლიდან თან ამოაქვს მათზე მიწებებული (დამაგრებული) მინერალების ნაწილაკები. პროცესის სახელწოდება წარმოიშვა ინგლისური სიტყვიდან flotation, რაც ცურვას, ტივტივადობას ნიშნავს.

ფლოტაციური რეაგენტები, რომლებიც ზოგიერთი მინერალების მარცვლების ზედაპირზე წარმოქმნის ისეთი სახის აფსკს, რომელიც ძელად სველდება წყლით, შემკრების სახელწოდებითაა ცნობილი. ასეთი რეაგენტები მაღალმოლეკულურ ორგანულ ნაერთებს წარმოადგენს, მაგალითად: ქსანთოგენური მჟაეების მარილები – ქსანთოგენატები, კარბონული მჟაეები და მათი მარილები და სხვა ორგანული ნივთიერებები. შემკრების ზემოქმედება ერცელებდა მხოლოდ განსაზღვრული ქიმიური შემადგენლობისა და კრისტალური სტრუქტურის მქონე ზოგიერთ მინერალზე. მინერალები, რომლებიც არ ექვემდებარება შემკრების ზემოქმედებას, ვერ მაგრდება ჰაერის ბუშტებზე, რის გამოც ამოტივტივებას ვეღარ ახერხებს და რჩება პულპაში.

ფლოტაციის დროს გამოიყენება აგრეთვე ქაფის წარმომქმნელი რეაგენტები, მათი მეშვეობით პულპის ზედაპირზე წარმოიქმნება მდგრადი ქაფი, რომელსაც ძალუძს შეაკავოს პულპიდან ამოსული მინერალების ნაწილაკები. ქაფის წარმომქმნელის ზემოქმედებით მცირდება წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა. ქაფის წარმომქმნელის სახით გამოიყენება სხვადასხვა სახის ორგანული ნივთიერებები.

ფლოტაციური რეაგენტის (შემკრების და ქაფის წარმომქმნელი რეაგენტების) ხარჯი საკმაოდ დაბალია და იგი არ აღემატება 50–300 გრამს 1 ტონა მადანზე. ეს იმით აიხსნება, რომ შემკრები და ქაფის წარმომქმნელი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებია. ეს რეაგენტები გროვდება მინერალებისა და ჰაერის ბუშტების წყალთან გაყოფის საზღვარზე, რის გამოც, მიუხედავად პულპაში მათი მცირე კონცენტრაციისა, რეაგენტების კონცენტრაცია ფაზების გაყოფის საზღვარზე საკმაოდ იზრდება.

ქიმიური შემადგენლობით ახლო მდგომ მინერალებს, მაგალითად, სპილენძის, ტყვიის და რკინის სულფიდებს, შემკრებთან ურთიერთქმედების თითქმის ერთნაირი უნარი გააჩნიათ. ამიტომ ფლოტაციის დროს მადანში შემავალ რამდენიმე სულფიდურ მინერალს ერთდროულად შეუძლია ქაფში გადასვლა.

ერთ-ერთი მინერალის ფლოტირების უნარის დათრგუნვის მიზნით გამოიყენება რეაგენტი – დამორგუნველი, რომელიც ორგანულ ნივთიერებას წარმოადგენს.

მინერალების ნაწილაკების ზედაპირზე დამორგუნველი წარმოქმნის აფსეს, რომელიც ხელს უშლის ამ მინერალსა და შემკრების ურთიერთქმედებას. ასეთი აფსესები წარმოიქმნება დამორგუნველის მინერალების ნაწილაკების ზედა ფენების ურთიერთქმედების (ქიმიური რეაქციის) შედეგად. დამორგუნველის ზემოქმედებით ერთ-ერთი მინერალი ფლოტირების უნარს კარგავს, ხოლო დამორგუნველთან ნათესაურ კავშირში მყოფი სხვა მინერალი არ ურთიერთქმედებს დამორგუნველთან და გადადის ქაფში.

ნათესაურ კავშირში მყოფი ერთ-ერთი მინერალის ქაფში გადასვლის შედეგად შესაძლებელია ადრე დათრგუნული თანმდევი მინერალის ფლოტირებაც. ამისათვის პულაში შესაყვანად გამოიყენება სხვა ფლოტაციური რეაგენტი – აქტივატორი, რომელიც წყალში ხსნად არაორგანულ ნივთიერებას წარმოადგენს. აქტივატორის ზემოქმედების შედეგად ადრე დათრგუნულ მინერალს ზეღმთორედ უპრუნდება ფლოტირების უნარი. აქტივატორი არღვევს ზედაპირულ აფსესს ან ცვლის ამ აფსესის შემადგენლობას ისე, რომ აფსესი იწყებს შემკრებთან შეთვისებას.

სულექტორი ფლოტაციის მაგალითს ტყვია-თუთიის მადნის გამდიდრება წარმოადგენს. ეს მადანი შეიცავს ტყვიასა და თუთიის სულფიდურ მინერალებს (PbS და ZnS) და ფუჭ ქანს, რომელიც პირიტის (FeS₂), კვარცისა (SiO₂) და სხვა მინერალებისაგან შედგება. დაქუცმაცებული მადნის პულაში თუთიის სულფიდური მინერალის დამორგუნველი – ნატრიუმის ციანიდი და თუთიის აუჯასი შეაქეთ. თუთიის სულფიდის მარცვლების ზედაპირზე თუთიის ციანიდის აფსესი წარმოიქმნება. ამასთან ტყვიის სულფიდის მარცვლების ზედაპირი ცვილილებას არ განიცდის. ამის შემდეგ პულას ემატება შემკრები, ქაფის წარმოქმნელი და ფლოტაცია ტარდება. ფლოტაციის პროცესში ტყვიის სულფიდური მინერალი ქაფში გადადის, ხოლო თუთიის სულფიდი პულაში რჩება. ტყვიის კონცენტრატის ქაფის გადმოღების შემდეგ თუთიის სულფიდი აქტივაციას ექვემდებარება. აქტივაციის მიზნით თუთიის სულფიდიან პულას მცირე რაოდენობით გოგირდმჟავა-საილენში ემატება. აქტივაციის შედეგად თუთიის სულფიდის მარცვლების ზედაპირი იფარება გოგირდოვანი საილენბის აფსესით, რომელიც შემკრების მოქმედების ათვისების კარგი უნარით ხასიათდება. განმეორებითი ფლოტაციის ჩატარების დროს ქაფში გადადის თუთიის სულფიდი და პულას ზედაპირიდან ამჯერად თუთიის კონცენტრატის ქაფი გადმოიღება. განმეორებითი ფლოტაციის შემდეგ პულაში რჩება ფუჭი ქანის მინერალები ანუ კულები, რომელიც ფასეულობას არ წარმოადგენს და ამიტომ მათი გადაყრა ხდება.

ზოგჯერ პირველი ფლოტაციის დროს დამორგუნველი არ გამოიყენება და ფუჭი ქანისგან განცალკევებულ ტყვიის მინერალთან ერთად, ქაფში თუთიის სულფიდური მინერალიც გადადის და ტყვია-თუთიის კოლექტორი კონცენტრატი მიიღება. პულას ზედაპირიდან გადმოღებულ კოლექტორ კონცენტრატზე წყლის დამატების შედეგად კონცენტრატიდან განასლებული პულა წარმოიქმნება.

პულას განმეორებითი ფლოტაციის დროს დამორგუნველის დამატებით მხოლოდ ტყვიის სულფიდური მინერალის ფლოტირება ხდება – ქაფში ტყვიის კონცენტრატი გადადის, ხოლო პულაში თუთიის კონცენტრატი რჩება.

გამდიდრების ფლოტაციური სერია ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სახის მადნების გამდიდრებისთვის, მათ შორის ფერადი ლითონების მრავალი მადნისთვის. ფლოტაცია ტარდება მგევა ან ტუტე არეში. უკანასკნელი, როგორც წესი, კირქვის დამატებით იქმნება.

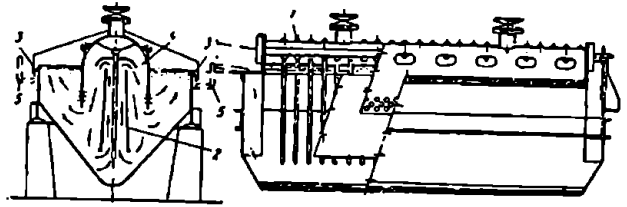
საწარმოო პრაქტიკაში ფლოტაციის ჩასატარებლად გამოიყენება უწყვეტ რეჟიმში მოპოვებულ ფლოტაციური მანქანა, რომელსაც მუდმივად მიეწოდება მადნიანი პულა და რომლიდანაც უწყვეტად გადმოდის პროდუქტის სახით კონცენტრატის ქაფი და ფუჭი ქანის შემცველი პულა.

პულასი ჰაერთან შერევის მიხედვით მამდიდრებელ ფაბრიკებში ორი სახის ფლოტაციური მანქანა გამოიყენება – პნევმატიკური და მექანიკური. პნევმატიკური ფლოტაციური მანქანის მოწყობილობის სქემა ნაჩვენებია 1.4. სურათზე.

მანქანის აბაზანა, როგორც წესი, ხის მასალისაგან მზადდება. გასამდიდრებელი მადნის პულა აბაზანის ერთ-ერთი ტორსული კედლის ფანჯრიდან შედის და სხვა ტორსული კედლის ზღურბლიდან გამოდის. პულაში ჰაერის შეხერვა, მანქანის მთელ სიგრძეზე ჩაყენებული ფოლადის მილებიდან (1)

(მოლის დამატრი 25 მმ ტოლია) ხორციელდება.

გრძელ ტიხრებს (2) შორის განლაგებული მილები 100 მილიმეტრითაა დაშორებული ერთმანეთისგან. ტიხარი შემრევე ზონასა და ქაფის მშვიდი დალექვის სივრცეს ყოფს ერთმანეთისგან.

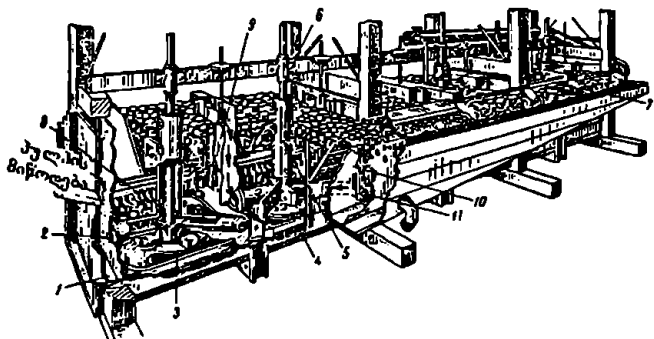


1.4. პნევმატიკური ფლოტაციური მანქანა.

პულპისა და ჰაერის ბუშტების ნარევი დაბალი კუთრი წონით გამოირჩევა და ამიტომ იგი ტიხრის (2) კიდედან მშვიდი დალექვის სივრცეში გაედინება. წარმოქმნილი ქაფი კი საწიხით (4) აირეკლება და დაქანებული სიბრტყეების (3) მეშვეობით ღარებში (5) ჩაედინება. ამ ტიპის მანქანების (ახაზანის 16,2 მ² მოცულობით) მწარმოებლობა დღე-ღამეში 1800 ტ მადანია.

ფლოტაციის მექანიკურ მანქანას (სურ. 1.5.) გააჩნია სწორკუთხა ახაზანა, რომელიც ტიხრების მეშვეობით რიგ კამერებდა (კამერების რიცხვი 16-მდე აღწევს) არის დაყოფილი.

პულპა ერთიდან (1) მოლის (2) საშუალებით გადაღის მანქანის პირველ კამერაში, საიდანაც სწრაფად მძრუნავ შემრევეზე (3) ხედება. შემრევი ზეიდან დახურულია ღისკით (4). სალი ფოლადისგან დამზადებული შემრევი ნიჰებიდან ბორბალს წარმოადგენს. შემრევის ბრუნვის სიჩქარე 280-600 ბრ/წთ-ს შეადგენს. შემრევი ბრუნვისას იწოვს ჰაერს მოლიდან (5), რომელიც ხერხელის (6) მეშვეობით ატმოსფეროს უკავშირდება.



1.5. მექანიკური ფლოტაციური მანქანა.

წერილად დანაწილებული ჰაერის ბუშტებთან შერეული პულპა ხედება (ადის) მშვიდი დაწდომის ზონაში, რომელიც ცხაურის (8) ზემოთ იმყოფება. პულპის ზედაპირზე ამოტივტივებული ქაფი ქაფ-გადამდენი (7) ნიჰებებით გადმოიღვრება.

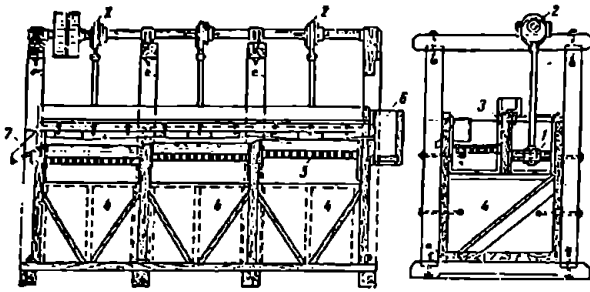
განმეორებითი ფლოტაციის შემთხვევაში ქაფი აირიდება ღარში (10), საიდანაც მილების (11) მეშვეობით ისევ ფლოტაციას უბრუნდება.

2.2. გრავიტაციული გამშადრება

გრავიტაციული გამშადრების ერთ-ერთი ხერხი - დალექვა - ევრდნობა წყლის ან ჰაერის ვერტიკალურ ნაკადში მინერალების ვარდნის სიჩქარეთა სხვაობას.

ბლანტ არეში მყარდნ ნაწილაკზე ორი ძალა მოქმედებს - წონის ძალა და არეს წინალობის ძალა. ვარდნის დასაწყისში ნაწილაკი აჩქარებით მოძრაობს, თუმცა, სიჩქარის გაზრდასთან ერთად იზრდება აგრეთვე არეს წინალობა, რის გამოც გარკვეული დროის შემდეგ ნაწილაკი იძენს მუდმივ სიჩქარეს, რომელიც კრიტიკული სიჩქარის სახელწოდებით არის ცნობილი.

დალექვა, ანუ პულპიდან გამოდევნილი რამდენიმე მინერალის ნაწილაკების ჭურჭლის ფსკერზე ფენებად განლაგება ამ მინერალების კუთრი წონების შესაბამისად ხორციელდება. ფენების ყველაზე უფრო მკაფიო განლაგება მაშინ ხდება, როდესაც პულპის ყველა ნაწილაკს თანაბარი ზომები გააჩნია, რაც ნაწილაკის სისხოს მიხედვით მასალის წინასწარი დახარისხებით შეიძლება განხორციელდეს.



სურ. 1.6. დეგუმირი სალეკი მანქანა.

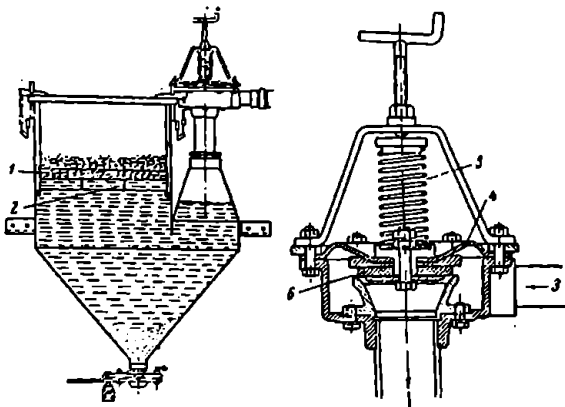
1. დეგუმი 2. ექსცენტრიკი 3. ტიხარა 4. კამერა 5. ცხავი
6. კოლოფი 7. დარი

შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიც, როდესაც ნაწილაკები საგრძობლად განსხვავდება ერთმანეთისგან ზომებით. მათი ვარდნის სიმაღლის შეზღუდვისა და ერთი ნაწილაკით მეორე ნაწილაკის წატაცების მოქმედების აღმოსაფხვრელად დალექვის პროცესი ზორციელდება სითხის პულსირებულ ნაკადში. რომელსაც უნდა გააჩნდეს ცვლადი მიმართულება — ზევითკენ და ქვევითკენ, ან მუდმივი მიმართულება მხოლოდ ზევითკენ.

სალეკი მანქანა წარმოადგენს ჭურჭელს, რომელშიც სითხე მოთავსებული. სითხის სარკის (ზედაპირის) ქვევით ჩამგრებულია ცხავი. ცხავის მიმართ სითხის პულსაცია ზორციელდება თვით სითხის ან ცხავის მოძრაობის მეშვეობით. წარმოებაში უფრო ხშირად პირველი ტიპის მანქანები გამოიყენება. თავის მხრივ ეს მანქანები დეგუმირიან და პულსირებად მანქანებად იყოფა.

დეგუმირი, სალეკი მანქანა (სურ. 1.6.) წარმოადგენს კოლოფს, რომელიც ტიხრის (ტიხარი კოლოფის ძირაძვე არ ჩადის) მეშვეობით სადგუმე და დალექვის განყოფილებებად იყოფა.

პირველ განყოფილებაში მოთავსებულია დეგუმი (1), რომელიც ექსცენტრიკის (2) მეშვეობით მოიყვანება მოძრაობაში, ზოლო მეორეში ჩაყენებულია უძრავი ცხავი. მანქანის მთელ სიგრძეზე განლაგებულია ერთი მეორესთან მიერთებული რამდენიმე კამერა. წინა კამერასთან შედარებით. ყოველ მომდგენო კამერაში ცხავი დასვლივით 100 მმ-ით არის დაწეული. ყოველ ცხავზე დაქუცმაცებული მაგნეტიტის ან წვრილი ლითონური ბურთულებისგან შემდგარი საგები დადებული. საგები მასალის კუთრი წონა გასაყოფი მინერალეების კუთრი წონების ზღვრების შუალედურ მაჩვენებელს უნდა უტოლდებოდეს. მსხვილი მარცვლების (8-10 მმ) დალექვა საგები მასალის გარეშე შეიძლება ჩატარდეს.



სურ. 1.7. პულსირებადი სალეკი მანქანა.

1. საგები 2. საცირი 3. ძლია 4. დაყოფილება 5. ზამბარა
6. სარქველი

დალექვა გამოიყენება ოქროს, ვოლფრამის, კალის და სხვა ფერადი ლითონების მადნების გასამდიდრებლად.

თუ ნაწილაკების ვარდნის სიმაღლე დაბალია, მაშინ სისხროს მიხედვით ნაწილაკების დახარისხება არ არის აუცილებელი. დაბალი სიმაღლიდან ვარდნისას ნაწილაკების ვარდნის სიჩქარე ვერ აღწევს კრიტიკულს და იგი ძირითადად ნაწილაკების კუთრი წონაზე ადამოკიდებული. ნაწილაკების ფენებად განლაგება (დაყოფა)

პირველ განყოფილებაში მოთავსებულია დეგუმი (1), რომელიც ექსცენტრიკის (2) მეშვეობით მოიყვანება მოძრაობაში, ზოლო მეორეში ჩაყენებულია უძრავი ცხავი. მანქანის მთელ სიგრძეზე განლაგებულია ერთი მეორესთან მიერთებული რამდენიმე კამერა. წინა კამერასთან შედარებით. ყოველ მომდგენო კამერაში ცხავი დასვლივით 100 მმ-ით არის დაწეული. ყოველ ცხავზე დაქუცმაცებული მაგნეტიტის ან წვრილი ლითონური ბურთულებისგან შემდგარი საგები დადებული. საგები მასალის კუთრი წონა გასაყოფი მინერალეების კუთრი წონების ზღვრების შუალედურ მაჩვენებელს უნდა უტოლდებოდეს. მსხვილი მარცვლების (8-10 მმ) დალექვა საგები მასალის გარეშე შეიძლება ჩატარდეს.

პულსა პირველ კამერას მიეწოდება და ყველა კამერის თანამიმდევრულად გავლის შემდეგ ღარში (7) ჩაედინება. დეგუმის მოძრაობის (დეგუმი წუთში 100-დან 300-მდე სვლას ასრულებს) შედეგად ცხავის ზერელებში და საგების ფორებში წყლის შექცეულ წინსვლითი ნაკადი იქნება. სწრაფად ჩამოცვენილი მძიმე ნაწილაკები საგებზე ეშვება და ფორების გავლით ჩადის კამერაში (4).

საიდანაც დროგამოშვებით მათი გადმოტვირთვა ხდება. უფრო მსუბუქი ნაწილაკები კი პულპის პორიზონტალური ნაკადით წაიტაცება.

დგუმის სელის სიღრმე 8 სმ შეადგენს. მანქანის მწარმოებლობა ცხაის 1 მ²-ზე 10-დან 40 ტ-მდე პულპაა დღე-ღამეში. პულსირებადი სალექი მანქანის (სურ. I.7.) განმასხვავებელ დეტალს წარმოადგენს პულსატორი, რომელიც სურათზე (მარჯვნივ) გადიღებულ მასშტაბშია ნაჩვენები. წყალსადენიდან გამოხული წყალი მილის (3) მეშვეობით პულსატორში შედის და რეზინის ღიაფარავმის (4) ქვეშ ხვდება. გადალახავს რა ზამბარის (5) წინაღობას, წყალი აწეება სარქველის (6) და მანქანის რეზერვუარში შედის. წნევის ერთბაშად ვარდნის შედეგად ხდება სარქველის გადაკეტვა. ამრიგად, მანქანის რეზერვუარში წარმოიქმნება მუდმივად წარმართული პულსირებადი წყლის ნაკადი, რომელშიც დაღვწევა ხორციელდება. პულსაციის სიხშირე წუთში 600 აღწევს.

2.3. მაგნიტური გამდიდრება

მადნის მაგნიტური გამდიდრების ხერხი იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როდესაც მინერალებს მაგნიტური ათვისების საკმაო უნარი გააჩნიათ. მაგნიტურ ხერხში მინერალების განცალკევება მაგნიტის ან ელექტრომაგნიტის მეშვეობით ხდება.

მაგნიტური ათვისების საზომად მიღებულია სხეულის დამაგნიტების ინტენსივობისა და მაგნიტური ეელის დაძაბულობის თანაფარდობა, რომელიც სხეულის მასის ერთეულს მიესადაგება და კუთრი მაგნიტური ათვისების სიღრმეს განსაზღვრავს. კუთრი მაგნიტური ათვისების სიღრმის მიხედვით მინერალები და ლითონები ოთხ კჯგუფად იყოფა (ცხრ. I.1.)

ცხრ. I.1.

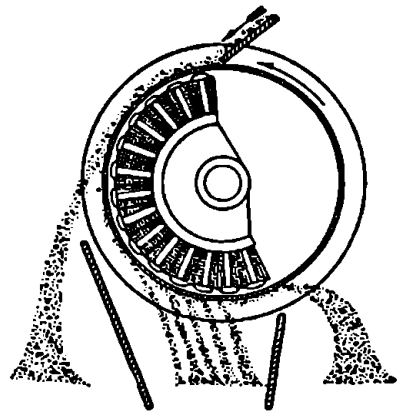
მინერალებისა და ლითონების კუთრი მაგნიტური ათვისება

ძლიერ მაგნიტური $\chi > 3000 \cdot 10^{-6}$	საშუალო მაგნიტური ($3000 \cdot 10^{-6} > \chi > 300 \cdot 10^{-6}$)	სუსტი მაგნიტური ($300 \cdot 10^{-6} > \chi > 25 \cdot 10^{-6}$)	არამაგნიტური ($\chi < 25 \cdot 10^{-6}$)
მაგნეტიტი (Fe_3O_4) რკინა და მისი შენადნობები პიროტინი (Fe_2S_3)	ილმენიტი ($TiO_2 \cdot xFe_2O_3$) ჰოლმობრიტი ($Fe_2O_3 \cdot xFeO$)	მანგანუმის მინერალები ვოლფრამიტი ($Fe, MnWO_4$) გემატიტი (Fe_2O_3) რკინის პიდროქსიდი ($Fe_2O_3 \cdot yH_2O$)	სხვა მინერალები და ფერადი ლითონები.

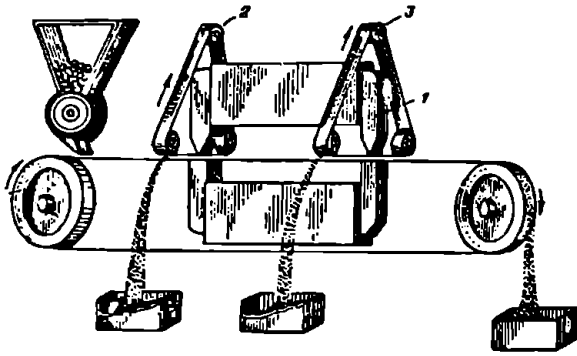
მაგნიტური გამდიდრების აპარატები, რომელთა მოქმედებით დასაშუალებელი მასალა ვანცდის ელექტრომაგნიტების მაგნიტური ეელის ზემოქმედებას და ამ ზემოქმედების შედეგად მასალა მაგნიტურ და არამაგნიტურ ნაწილაკებად იყოფა, მაგნიტური სეპარატორების სახელწოდებით არის ცნობილი. მაგნიტური ეელის შექმნა შესაძლებელია წყლის ან ჰაერის არეში. მსხვილნაჭროვანი მასალების გამდიდრების პროცესი ჰაერის არეში მოუშავე მაგნიტურ სეპარატორებში ტარდება და იგი მშრალი მაგნიტური სეპარაციის სახელწოდებით არის ცნობილი. წერილმარცვლოვანი მასალის (მარცვლის სისხო 6-8 მმ-ზე ნაკლები უნდა იყოს) მაგნიტური გამდიდრების სეპარატორი, როგორც ჰაერის, ასევე წყლის არეში მუშაობს. წყლის არეში მიმდინარე მაგნიტური გამდიდრების პროცესი სველი მაგნიტური სეპარაციის სახელწოდებით არის ცნობილი.

მშრალი გამდიდრების დოლური მაგნიტური სეპარატორი (სურ. I.8.) წარმოადგენს თითბერის ან ფოლადის დოლს, რომლის შიგნით მოთავსებულია ელექტრომაგნიტი. ელექტრომაგნიტი უძრავია, ხოლო დოლი ბრუნავს (დოლი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც გადასაშუალებელი მასალის მიწოდებელი ლენტური ტრანსპორტიორის შკივი).

დოლის ზედაპირზე მოხვედრილი არამაგნიტური მასალის მარცვლები დოლის შემობრუნებისთანავე (დოლის შემობრუნების პირველ მუთხელში) ვარდება ზედა-



სურ. I.8. დოლური მაგნიტური სეპარატორი



სურ. 1.9. ლენტური მაგნიტური სეპარატორი.

პირიდან, ხოლო მაგნიტური მარცხელები ელექტრომაგნიტის ნახევარწრიანი გულარის ველიდან გამოსვლამდე რჩება (შეკავდება) დოლის ზედაპირზე. დოლური მაგნიტური სეპარატორი, როგორც წესი, მსხვილმარცვლოვანი მასალის გადასამუშავებლად გამოიყენება. წვრილმარცვლოვანი მასალის დასაყოფი ლენტური მაგნიტური სეპარატორი (სურ. 1.9.) წარმოადგენს ლენტურ ტრანსპორტიორს, რომლის ზედა შტო ელექტრომაგნიტის (1) ეკლის ზემოქმედებას განიცდის.

ტრანსპორტიორის ძირითადი

შტოს პერპენდიკულარულად, პოლუსებისა და ლენტის ზედაპირს შორის სივრცეში, მოძრაობს სხვა ლენტები (2 და 3), რომლებიც მასალის მაგნიტურ ნაწილს მიმღებ ბუნკერში ყრის.

ელექტრომაგნიტს შეიძლება გააჩნდეს რამდენიმე სექცია (შესაბამისი რაოდენობის გადამომღები ლენტებით), რომელთა ეკლის ძალა ლენტის მოძრაობის მიმართულებით იცვლება. ამრიგად, მასალებიდან შეიძლება თანამიმდევრულად გადაირჩეს რამდენიმე ფრაქცია, რომლებშიც მინერალები მაგნიტური ათვისების უნარის მიხედვით განაწილდება. არამაგნიტური ფრაქცია ძირითადი ტრანსპორტიორის ბოლოდან გადმოიტვირთება.

მეტალურგიაში გამოიყენება მადნის გაძლიერების სხვა ხერხებიც, მაგალითად:

- მადნის ხელით გადარჩევა, რომელიც მინერალების ნაჭრების ფერის, ბზინვარებისა და ფორმის მიხედვით ხორციელდება (გადარჩევა მდიდარი მადნის ნაჭრები ან ფუჭი ქანი). გადარჩევის პროცესი უშუალოდ მადნის მოპოვებისას, საბადოში ან გადასარჩევ კონვეიერზე ტარდება.

- გაძლიერების ხერხი, რომელიც სისალის, სიმყიფისა და კრისტალების ფორმის მიხედვით ხორციელდება, მინერალების მსხვრევადობის (დაქუცმაცების) ხარისხის სხვაობას ეყრდნობა. დაქუცმაცებული მასალის ცხავეში შემდგომი გატარებით შესაძლებელია მადნის კონცენტრატად და ფუჭქანად დაყოფა.

- ხაზნით გაძლიერების ხერხი დახრილ სიბრტყეზე მინერალების სრიალის სხვადასხვა სიჩქარეს ეფუძნება.

- ელექტროსტატიკური გაძლიერების ხერხი დამყარებულია მინერალების ელექტროგამტარობის, ელექტროტევადობისა და დიელექტრიკული მუდმივას სხვაობაზე.

თაბო 3. პულასის ღაყოფა მყარ და თხევად ნაწილებად

გაძლიერების შედეგად საბოლოო პროდუქტის სახით მიიღება კონცენტრატი, რომელიც, როგორც წესი, წყლის პულასს წარმოადგენს. ასეთი პროდუქტი საჭიროებს გაუწყლოებას, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ კონცენტრატის შემდგომი გადაამუშავება მაღალტემპერატურული ხერხის გამოყენებას ითვალისწინებს. გაუწყლოების აუცილებლობა კონცენტრატის გადაზიდვის საკითხებსაც უკავშირდება. მაღალი ტემპანობა აძვირებს გადაზიდვის ღირებულებას. ზამთრის პერიოდში არასაკმარისად გაუწყლოებული მასალის შეყინვის გამო დატვირთვისა და გადმოტვირთვის პროცესები რთულდება.

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება გაუწყლოების პროცესებს ნელლეულის წყალხსნარებში გადაამუშავებისას, რომლის დროსაც სისტემატურად ტარდება ხსნარებისა და მყარი ნაწილაკების განცალკევების ოპერაციები.

მეტალურგიაში ძირითადად გამოიყენება გაუწყლოების სამი ხერხი - შესქელება (დაწდობა), გაფილტვრა და შრობა. ხერხის შერჩევა ტექნოლოგიურ ამოცანებსა და ეკონომიკურ მოსაზრებებზეა დამოკიდებული. შესქელება ყველაზე ადვილ, მაგრამ ამ ხერხის მეშვეობით სითხის შემცირება პულაში

მხოლოდ 50–60%-მდე შეიძლება. შესქელებასთან შედარებით გაფილტვრა უფრო ძვირი ჯდება, მაგრამ ზოგჯერ იგი თხევადი ფაზის 10%-მდე შემცირების საშუალებას იძლევა. გაუწყლოების ყველაზე ძვირი ხერხი შრობის პროცესია, რომელიც სხვა ხერხებთან შედარებით თითქმის სრული გაუწყლოების საშუალებას იძლევა (ტენიანობა დაახლოებით 2%-მდე მცირდება). შრობის პროცესი სათბობის გამოყენებას საჭიროებს.

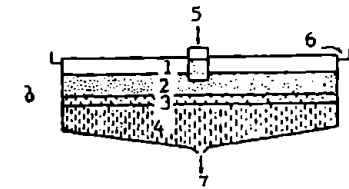
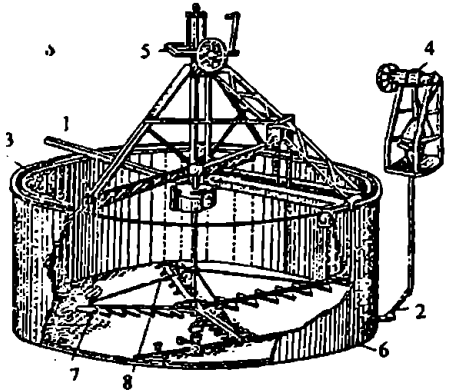
3.1. შესქელება

შესქელება ხორციელდება პულის მშვიდი დაწვრთვით (პულპიდან მყარი ნაწილაკები საკუთარი ძალით ანუ გრავიტაციით ილექება) სასქელებელ კოდეში. შესქელების შედეგად მიიღება ზედა, გაკამკამებული სითხის ფენა – გადმონასხამი და შესქელებული პულპა, ანუ შესქელებული პროდუქტი, რომელიც სასქელებელი კოდის ძირიდან გადმოიტივრება. გასაგებია, რომ მსხვილი ნაწილაკები უფრო ჩქარა ილექება. ზოგჯერ პულპაში თავმოყრილია ძალზე წმინდა ნაწილაკები, რომლებიც ზომებით კოლოიდური ხსნარის ნაწილაკებს უახლოვდება. წმინდა ნაწილაკების დაღებვის დაჩქარების მიზნით, ზშირად გამოიყენება მაკოაგულირებელი (შემკრები) ნივთიერებები, მაგალითად კირქვა, წებო და სხვა. სასქელების სახით გამოიყენება ცილინდრული ფორმის კოდი (სურ. I.10. და I.11.), რომელიც ხის მასალისგან ან რკინაბეტონისგან მზადდება.

სასქელების დიამეტრი 10 მ-ს აღწევს. მის ცენტრში ჩაყენებულია მკვებავი ძაბრი, საიდანაც კოდში უწყვეტად ჩადინება პულპა, რომლითაც მილიანად ივსება კოდი.

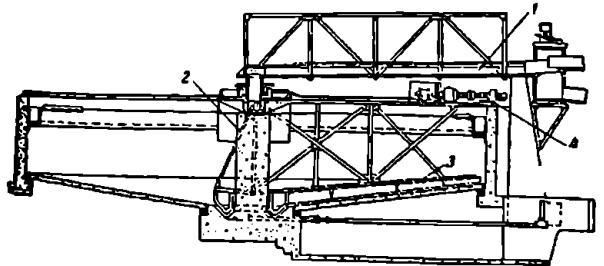
კოდის გვერდზე განლაგებულ ღარში, კოდის გადასაშვებიდან უწყვეტად ჩადინება გაკამკამებული სითხე. მყარი ნაწილაკები სასქელების ბრტყელ ან ოდნავ კონუსური ფორმის ძირზე ილექება.

სასქელების ძირის ცენტრში არსებული ხერხელის მეშვეობით და დოფრავებული ტუმოს დახმარებით სასქელებლიდან უწყვეტად გადმოიტივრება შესქელებული პროდუქტი. დაღებილი მასალის განაპირიდან ცენტრალური ხერხელისკენ გადასადგილებლად გამოიყენება მოწყობილობა, რომელიც ჯვარედინი ლილვისგან შედგება. ჯვარედინი ლილვებზე დასმულია სასვეტები. ლილვის ბრუნვა, 2–3 ბრუნთ სიჩქარით, ხელს არ უშლის მშვიდ დაღებებს.



სურ. I.10. სასქელებელი ცენტრალური ამძრავით და მასში პულის დაწვრთვის დროს წარმოიქმნილი ზონები.

- ა. — სასქელებელი: 1. პულის მიძწვრილი ღარი; 2. შესქელებული პროდუქტის გადმოსატვართი მილი (მოყვანილია კოდის ძირის ცენტრამდე); 3. რგოლური ღარი; 4. ტუმო; 5. აძვე მოწყობილობა; 6. კოდი. ბ. — პულის დაწვრთვა: 1. გაკამკამებული ხსნარის ზონა; 2. დაღების ზონა; 3. გადასვლის ზონა; 4. შექვირების ზონა; 5. მკვებავი; 6. გადასაშვები; 7. შესქელებული პროდუქტი.



სურ. I.11. სასქელებელი კუდური ამძრავით. 1. პულის მიძწვრილი ღარი; 2. სექტა; 3. ფერმა; 4. დეამბაშე, რომლის მეშვეობითაც გადაადგილდება ფერმა.

ლოლის ბრუნვისას დაღეჭილი მასალა ცენტრალურ გადმოსატვირთი ზერლისკენ გადაადგილდება. ასეთი მოწყობილობა დიდი სასქელებლისთვის (15-18 მ-ზე უფრო დიდი დიამეტრის მქონე სასქელებლისთვის) მეტისმეტად მასიურია; ამიტომ დიდ სასქელებლებში ლილვი შეცვლილია უძრავი სექტით, ხოლო უკვარედი - ფერმით. სექტის გარშემო ფერმის ბრუნვა ხორციელდება დგომიამწვით, რომელიც სასქელებლის კიდეზე გორავს (სურ. I.11.).

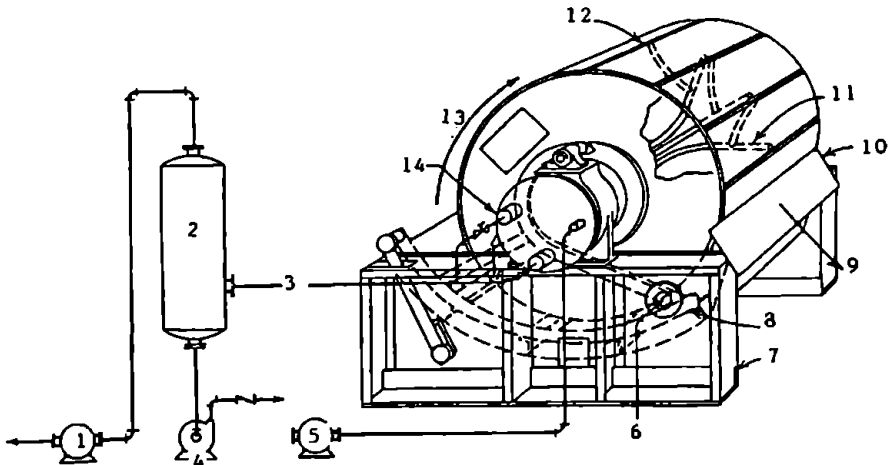
სასქელებლის მწარმოებლობა იზომება მისი ფსკერის ფართობით, რომელიც საჭიროა ერთი ტონა მყარი ნივთიერების გადასაცემად შესქელებულ პროდუქტში დღე-ღამის განმავლობაში (მ²/ტ დღე-ღამეში). მწარმოებლობა დამოკიდებულია პულპის თვისებებზე და იგი ფართო ზღვრებში იცვლება.

3.2 გაფილტვრა

გაფილტვრა ეწყობა პულპის თხევადი ნაწილის ჩაწნევას ფორებიან ტიხარში (ფილტრში), რომელიც მყარ ნაწილს არ ატარებს. საფილტრე მასალად იხმარება ბამბის, შალის, შუშისა და სხვა სახის ქსოვილები. ზოგჯერ ფილტრებად კერამიკაც გამოიყენება.

გაფილტვის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: ჩარჩოში ჩამაგრებული ფილტრის ქსოვილის ერთი მხარე, რომელსაც გასაფილტრი მასალა მიეწოდება, მეორე მხარესთან შედარებით უფრო მაღალი წნევის ქვეშ იმყოფება. ამ პირობებში, თუ ქსოვილის ფორები შესაბამისი ზომისაა, მყარი მასა ქსოვილით შეკავდება, ხოლო წყალი ქსოვილის ფორებში გავა. ფილტრაციის დაწყებისთანავე ფილტრის დანიშნულებას მასზე დამოკიდებული ნაწილაკების ეფნა ასრულებს და არა ფილტრის ქსოვილის ფორები.

გაფილტვრის სიჩქარე წნევისა და მფილტრავი მასალის ფორებში დაწნევის კარგეის სხვაობაზეა დამოკიდებული. ფილტრის ქსოვილზე მყარი მასალის (ე.წ. კეკის) დაგროვებასთან ერთად გაფილტვრის სიჩქარე კლებულობს. გაფილტვრის სიჩქარე იმ შემთხვევაში შეიძლება შეზღუდოს, თუ ფილტრის ფორებში კეკის ნაწილაკების გაჭედვა მოხდება. წნევების სხვაობა სხვადასხვა ზერხით იქნება. მარტივ შემთხვევაში წნევათა სხვაობა გასაფილტრი პულპის ჰიდროტექნიკური წნევის ხარჯზე წარმოიქმნება, ამ დროს გაფილტვრის სიჩქარე დაბალია. წარმოებაში გამოიყენება ინტენ-

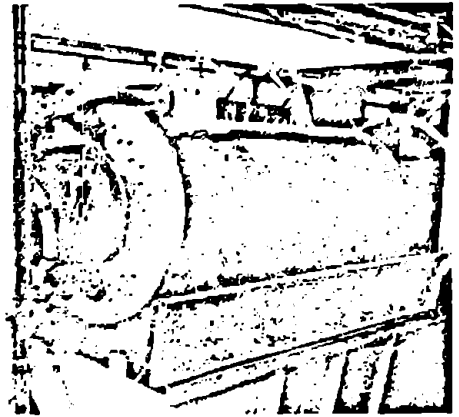


სურ. I.12. ა. დოლური ტიპის ვაკუუმ-ფილტრის სქემა.

- 1 ვაკუუმური ტუმბო; 2 ვაკუუმ-მომცემი; 3 პერსია და ფილტრატის ხაზი; 4 ფილტრატის ტუმბო;
- 5 კომპრესორი; 6 პულპის შევება; 7 ცისტერნა; 8 პულპის სარევი; 9 გაფილტვრის შედეგად მიღებული პროდუქტი (კეკა-ღამი); 10 კეკის ზეფტა; 11 ფილტრატის მიღსადენები; 12 საფილტრე მასალის (ქსოვილის) შემაერთებელი ბამბი; 13 ბრუნვის მმართველობა; 14 ავტომატური ინჟანა.

სორად მომჭედი ფილტრები - ვაკუუმ-ფილტრები (რომლებშიც წნევათა სხვაობა ფილტრაცი ტიპის (ფილტრის) ქვეშ შექმნილი ვაკუუმის ხარჯზე ვითარდება) და ფილტრწინეები (რომელთა მოქმედება პულაზე გარე წნევის შექმნით არის განპირობებული). მეტალურგიაში ყველაზე ფართოდ დოლური ტიპის ვაკუუმ-ფილტრი (სურ. 1.12.ა და 1.12.ბ) გამოიყენება.

დოლის ტიპის ვაკუუმ-ფილტრში ოპერაციები უწყვეტ რეჟიმში ტარდება. დოლი დაყოფილია სეგმენტებად, რომლებიც ფილტრაცი ქსოვილებითაა (ფილტრი) გადაკრული. ცალკეულ სეგმენტებში ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ვაკუუმის ან წნევის შექმნა შეიძლება. დოლი შესქელებული კეით (ლაბით) გავსებული კოდის თავზე ნელა ბრუნავს და ცალკეული სეგმენტებით იფილბა კეში. კეში ჩადირულ სეგმენტში ვაკუუმის შექმნის შედეგად სეგმენტის ფილტრის ქსოვილს კეი აკურება (ეწეება), ხოლო ფილტრით შეწოვილი წყალი დოლის შიგა არეში ჩადის და იქიდან გარეთ გაედინება. კოდისგან ამოსული სეგმენტის კეიდან ვაკუუმით წყლის გაწოვა მანამდე გრძელდება, სანამ სეგმენტი 180°-ით არ შემობრუნდება, შემდეგ კი სეგმენტში ვაკუუმი წნევით იცლება; წნევის გამო სეგმენტის ქსოვილის ფილტრი იბერება, მასზე მიკროული საკმაოდ გამოშშრალი კეი სკდება და ნაჭურბის სახით ბრუნდება ბუნკერში ან კონვეიერზე იყრება. კეიდან განთავისუფლებული სეგმენტი უმაღლე ისევ კოდში ეშვება, მასში ხელმეორედ ვაკუუმი მყარდება და ციკლი მეორდება.



სურ. 1.2. ბ. დოლური ვაკუუმ-ფილტრის ხედი.

3.3. შრობა და დატენიანება

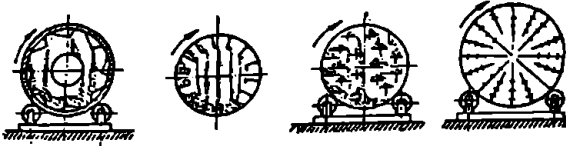
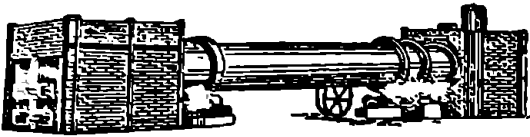
შრობის პროცესში მასალის გაუწყლოება ტენის ორთქლების გზით ხორციელდება. შრობის პროცესი ტარდება, როგორც ჰერის ტემპერატურაზე (ბუნებრივი შრობა), ასევე ტენიანი მასალის შრობის ლუმელში განსურებით (თერმული ანუ ხელოვნური შრობა). როგორც წესი, მეტალურგიაში თერმული შრობა გამოიყენება.

ორთქლების სიჩქარე გასაშრობ მასალასა და გარემო ატმოსფეროში წყლის ორთქლის დრეკადობის სხვაობის პროპორციულია. ტემპერატურის გადიდებით გასაშრობ მასალაზე წყლის ორთქლის დრეკადობა (წყლის ორთქლის წონასწორული წნევა) იზრდება. შრობის ატმოსფეროში ორთქლის დრეკადობა მით უფრო ნაკლები იქნება, რაც უფრო ჩქარა განიდეენება წყლის ორთქლი შრობის აპარატიდან. ამიტომ შრობა, როგორც წესი, მოძრავი აირის (ჰერის) ნაკადში ტარდება. იმის გამო, რომ მასალის ზედაპირიდან წყლის ორთქლის შეღწევის სიჩქარე აირის ნაკადის სიღრმეში შეზღუდულია, ხშირად აირის ნაკადის სიჩქარის გაზრდით შრობის პროცესი არ ჩქარდება. ამასთან, აირების ჩქარი მოძრაობის შედეგად მასალის გაფრქვევის შესაძლებლობა იქნება. გამოსაშრობი მასალის ფენა უნდა გამოირჩეოდეს დაბალი სისქით ან იგი კარგად უნდა ირეოდეს.

მასალის თერმული შრობის სამი ზერხი გამოიყენება: პირველი - ქვედზე შრობა (შრობის ქველი); მეორე - შრობა მზრუნვე მილისებრ ლუმელში, სადაც მასალა მუდმივად ირევა და ერთდროულად ცხელი აირებით ზურდება; მესამე - მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში შრობა, როდესაც ზევიდან ჩამომაველი მასალის ნაწილაკები ქვევიდან წარმაველი ცხელი აირების ნაკადს ეხება.

მილისებრი მზრუნვე ლუმელის (სურ. 1.13.) ძირითად ნაწილს ლითონის ცილინდრული გარსაქმი წარმოადგენს (სიგრძე 27, დიამეტრი 1,5-2მ).

ლუმელის გამოსატვირთი შიგარე 1-2°-ით არის დახრილი. ლუმელი გორგოლაკებზეა დასმული და ელექტროძრავის საშუალებით 3-8 ბრ/წ სიჩქარით ბრუნავს. ლუმელი საწვავ მოწყობილობაში სათბობის წვის შედეგად გამოყოფილი ცხელი აირების მეშვეობით ზურდება.



სურ. 1.8. მბრუნავი შრობის დუქელი და მისი შოგა საცემების ფორმება.

გაუწყლოების, ანუ შრობის უკუოპერაცია კაზმის დატენიანებას ითვალისწინებს. ეს ოპერაცია მეტალურგიულ პრაქტიკაში მხოლოდ აგლომერაციის (დაქუცმაცებული მასალის დანატროვნება მაღალ ტემპერატურაზე შეცხობის გზით) წინ გამოიყენება კაზმის მოშადების დროს. დატენიანება, როგორც წესი, დოლური ტიპის შემრეველში, კაზმის კომპონენტების შერევისთან ერთდროულად ტარდება. შემრევი წარმოადგენს მბრუნავი დოლის (მილს), რომლის მბრუნავი ღერძი წყლის გამშხვეუი ხერხელებითაა აღჭურვილი.

თავი 4. დაქუცმაცებული მასალის დანატროვნება

ნედლეული მასალების დანატროვნების აუცილებლობა გამოწვეულია იმით, რომ თანამედროვე მეტალურგიულ საწარმოს ნედლეული ძირითადად დაქუცმაცებული კონცენტრატების სახით მიეწოდება. გარდა ამისა, მადნის მსხვრეტის დროს საცმოდ დიდი რაოდენობის დაწერილმანუელი ნარჩენები წარმოიქმნება. ტექნოლოგიური პირობების გამო დაქუცმაცებული მასალის მაღალ ტემპერატურაზე გადამუშავება ზოგჯერ შეუძლებელი ხდება (მაგალითად, შახტურ ლუმელებში გადამუშავების დროს), ან მათი გადამუშავების დროს დიდი მოცულობის მტვერი წარმოიქმნება.

მეტალურგიაში მასალის დანატროვნების მიზნით დაგუნდავების, ბრიკეტირებისა და აგლომერაციის (აგლომერაცია ძირითადი მეტალურგიული პროცესების ნაწილში განიხილება) მეთოდები გამოიყენება. დაგუნდავება, ანუ ცივი (მშრალი) გრანულირება კონცენტრატის ან სხვა მასალის ფხენილის დანატროვნების ოპერაციაა, სადაც მასალა მრგვალ, გეომეტრიულად სწორ და მტკიცე გუნდებად (გრანულებად) გარდაიქმნება.

დაგუნდავების ოპერაციის პირველ ეტაპზე საკაშზე მასალა ქუცმაცდება (აუცილებლობის შემთხვევაში), გრანულიმეტრიული შემადგენლობის მიხედვით კლასიფიცირდება, ტენიანდება ან შრება და კაზმის კომპონენტები გულმოდგინედ ირევა.

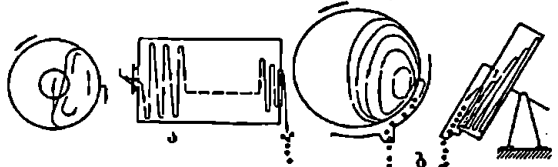
კაზმის საწყისი ტენიანობა გადაშვევტ გაუღენას ახდენს დაგუნდავების პროცესის შედეგებზე. დასაგუნდავებელი მასალის ოპტიმალური ტენიანობა 6-12% ზღერებს არ უნდა სცილდებოდეს. მტკიცე გუნდების მიღების მიზნით კაზმს სშორად ემატება შემკვრელი მასალები (სულფიტ-ცელულოზის ნაქარტუტა, ნატრიუმის სულფატი, კირი და ბენტონიტური თიხა).

დაგუნდავება დოლური ან ჯამის ტიპის გრანულატორებში ტარდება. დოლური ტიპის გრანულატორში (სურ. 1.14.ა) დაგუნდავების პროცესი შემდეგნაირად მიმდინარეობს. დოლის ტრიალის დროს წარმოქმნილი სახუნისა და ნაწილობრივ ცენტრიდანული ძალების მეშვეობით მასალის ნაწილაკები მაღალ ადის მანამდე, სანამ მასალის ფენის ზედაპირს არ მიაღწევს, ხოლო შემდეგ თავისი სიმძიმის ძალით ქვემოთ ვორდება. რხევის დროს გუნდები მასალის წინადა ნაწილაკებს იხვევს თავის თავზე იზრდება და თანდათან დოლის გასასყლელისკენ მიიწევს. დოლის გასასყელე ბოლოსთან ახლოს მასალის უქონლობის გამო გრანულები (გუნდები) თითქმის აღარ იზრდება, რის გამოც არაერთგვაროვანი ზომის გუნდები წარმოიქმნება (დოლისებრი გრანულატორის ძირითადი ნაკლი).

ჯამისებრი გრანულატორი (სურ.1.14.ბ) 5,5 მ დიამეტრის მქონე ბორტებიან თუფშს წარმოადგენს. ბორტების სიმაღლე 0,9 მ-დე აღწევს. ბრუნვის სიჩქარე 4-7 ბრ/წთ შეადგენს. ჯამის (თუფშის) დახრის კუთხე 33-დან 55°-მდე იცვლება.

ჯამზე დაგუნდავების პროცესში წარმოქმნილი გუნდები მბრუნავ თუფშთან ერთად განსაზღვრულ სიმაღლეზე ადის და იქიდან ფერდის კუთხით განლაგებული ახალი მასალის ფენის ზედაპირიდან

ქვეითკენ გორდება. გამსხვილებული გუნდები უფრო ნაკლებ სიმაღლეზე აღის და უფრო სწრაფად გორდება ქვეითკენ და ახალი კაზმის შემოსვლისას თეფშის ბორტიდან ცვივდება. ყველაზე უფრო დიდი ზომის გრანულები შედარებით მოკლე ტრაექტორიით განიცდის ცირკულაციას, ხოლო ყველაზე უფრო მცირე ზომის გრანულები თეფშის მთელ ფართზე



სურ. 1.14. დაგუნდავების სქემა დოლური (ა) და ჯამის (ბ) ტიპის გრანულატორებში.

მრავალჯერად შეხებაშია ახალ მასალასთან, რის გამოც დახრილი ჯამი უფრო თანაბარი ზომის გრანულებს აწარმოებს, ვიდრე დოლური ტიპის გრანულატორი.

ჯამისებრი გრანულატორის მწარმოებლობა და წარმოებული გუნდების სისხო დამოკიდებულია თეფშის ბრუნვის სიჩქარეზე, მისი დახრის კუთხეზე და თეფშის ბორტების სიმაღლეზე. დაგუნდავების სიჩქარის გაზრდა უფრო მსხვილი გუნდების მიღებას უწყობს ხელს და ამავე დროს ამცირებს გრანულატორის მწარმოებლობას.

გრანულირების შედეგად მიღებული გუნდების სიმტკიცე შედარებით დაბალია, მაგრამ მისი გაზრდა შესაძლებელია გუნდების ტენიანობის შემცირებით. როგორც წესი, გუნდების გაუწყლოება ხელოვნური შრობის მეოდი 1000°C-ზე და უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ტარდება. მაღალი სიმტკიცის მქონე გუნდების მისაღებად 1000°C-იანი გამოწვის პროცესი გამოიყენება.

ბრიკეტების პროცესში მასალის დანატროვნება ფხვიერი და მტვერშემცველი მასალების დაწნევის გზით ხორციელდება. დაწნევის შედეგად სწორი და ერთგვაროვანი ფორმის ნაჭრები ანუ ბრიკეტები მიიღება. ბრიკეტები ძირითადად შახტურ ლუმელში დნობას ექვემდებარება.

ბრიკეტების სიმტკიცეს განაპირობებს ან ცალკეული ნაწილაკების ერთმანეთთან მასხლეობისას წარმოქმნილი მოლეკულური შეჭიდულობის ძალები, ანდა – შემკერული ნივთიერებები. კაზმის ნაწილაკების შეჭიდულობის გაუჯობესებას ხელს უწყობს აგრეთვე კაზმის ოპტიმალური ტენიანობა. ზოგ შემთხვევაში, თვით მაღანში შემავალი თიხოვანი ნივთიერებები ასრულებს შემკერელის როლს (მაგალითად, ნიკელის ოქსიდური მადნების ბრიკეტების დროს).

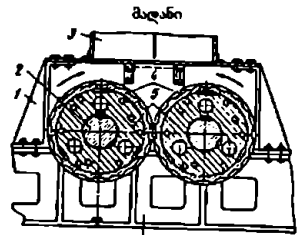
ბრიკეტების ხარისხს საკმაოდ მკაცრი მოთხოვნები წაყენება. ბრიკეტი უნდა უძლებდეს დიდ დატვირთვებს დარტყმაზე და შეუშუშაზე და აგრეთვე იგი არ უნდა სკდებოდეს მაღალ ტემპერატურაზე გახურების დროს. ბრიკეტების მექანიკური სიმტკიცის გაზრდა ბრიკეტების თერმული დამუშავებით (შრობა, გაგარება) ან ავტოკლავებში შუორთქლებით ხორციელდება.

მეტალურგიულ პრაქტიკაში ბრიკეტების დასამზადებლად ძირითადად ლილვიან ან შტემპელურ (პლუნჯერებთან) წნეხებს იყენებენ.

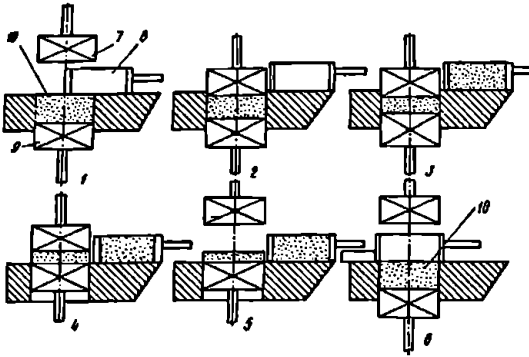
ლილვიანი წნეხი (სურ. 1.15.) ორი ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მბრუნავი ლილვაკისგან შედგება. დასაწნეხი მასალა ზევიდან ლილვებს შორის იყრება. ლილვებზე დასმულია მაღალი სიმტკიცის ფოლადისგან დამზადებული ბანდაები ბრიკეტის ფორმის ღრმელებით. ლილვაკების ბრუნვის დროს თანდამთხვეულ ღრმელებში მოხედრილი კაზმი იწნეხება და ბრიკეტის ფორმას ღებულობს.

ლილვიან წნეხში სფერულ ზედაპირზე წნევა არათანაბრად ნაწილდება, რის გამოც ბრიკეტის სხვადასხვა ნაწილს განსხვავებული სიმტკიცე ენიჭება. არათანაბარი წნევა მცირდება იმ შემთხვევაში, თუ ბრიკეტებს განსაკუთრებულ ფორმა (წვეთის, კვერცხის და ა.შ.) და მცირე ზომის (80x50x20 მმ) მიეცემა. ნარჩენების მოცილების მიზნით ბრიკეტები ჯერ ცხავეზე იყრება და მხოლოდ ამის შემდეგ ხდება მათი გაგზავნა მეტალურგიულ გადამუშავებისთვის.

ლილვიანი წნეხი იაფია და ხმარებაში მარტივია, მაგრამ მას მთელი რიგი ნაკლოვანი მხარეები გააჩნია, რაც ხშირად



სურ. 1.15. ლილვიანი წნეხი. 1. ხარჩო; 2. ლილვაკი; 3. ჩასატვირთი აბრკა; 4. ბანდა; 5. ელემენტი.



სურ. I.16. დაბრიკეტების სქემა შტემპელურ წნეხში.
 1-6. ბრიკეტების ცეკლის თანამოქმედოდა ოპერაციები; 7. ზედა
 პუანსონი; 8. შვეება; 9. ქვედა პუანსონი; 10. კასში.

ბრიკეტებში დიდ წუნს იძლევა. ლილვიანი წნეხის ბანდაჟებში საბრიკეტო უჯრები ჩქარა ცვლება; წნეხი კაზმისა და, განსაკუთრებით, შემკვრელი ნიეთიერების შემადგენლობისადმი მაღალი მგრებობა-რობით გამოირჩევა; ბრიკეტების ხარისხი კაზმის ტენიანობის ცვლილებაზეა დამოკიდებული. ლილვიანი წნეხი არ გამოდგება ისეთი მადნების დასაწნეხად, რომლებიც საკმაო რაოდენობით შეიცავს ფენოვანი სტრუქტურის მქონე მინერალებს (ტალკს).

შტემპელური ტიპის წნეხში (სურ. I.16.) ბრიკეტირებისას კაზმის უფრო თანაბარი შეკუმშვა ხდება, რაც გეომეტრიულად უფრო დიდი ზომის ცილინდრული და სწორკუთხა ფორმის ბრიკეტების მიღების საშუალებას იძლევა.

შტემპელის წნეხში ბრიკეტირება პერიოდულ რეჟიმში ხორციელდება, ზედა და ქვედა შტემპელების (პუანსონების) მეშვეობით წნეხში ჩატვირთული მასა ერთდროულად იკუმშება. შტემპელური წნეხი ჰიდრაულიკური მოწყობილობის დანადგარს წარმოადგენს.

შტემპელის წნეხის ძირითად ნაკლოვან მხარეებს წარმოადგენს მუშაობის პერიოდული რეჟიმი, დიდი გაბარიტები, რთული კონსტრუქცია და სწრაფად ცვეთადი მატრიცები.

ნედლეულიდან შერადი ლითონების ამოღებისა და მათი რაფინირების მეტალურგიული პროცესები

ლითონური ნედლეულის (მადანი, კონცენტრატი) მეტალურგიული გადამუშავება ნედლეულიდან ლითონის ამოღებისა და მისი რაფინირების (გასუფთავების) თანმიმდევრული პროცესებისგან შედგება.

ლითონის ამოღების პროცესები ითვალისწინებს ნედლეულის ფუჭი ქანისა და ამოსაღები ლითონის მინერალების განცალკევებას, ფუჭი ქანის განდვენას და ამოსაღები ლითონის გამოყოფას ქიმიურად დაკავშირებული ელემენტებიდან.

რაფინირების პროცესების დახმარებით ნედლეულიდან ამოღებულ ლითონში მცირე რაოდენობით ჩარჩენილი მინარევები საბოლოოდ განიდევნება ლითონიდან.

მეტალურგიული გადამუშავება მოიცავს როგორც ფიზიკურ, ასევე ქიმიურ პროცესებს. ლითონის მიღების დაჩქარების მიზნით მეტალურგიული პროცესები მაღალი ტემპერატურის პირობებში ან რეაგენტებისა და წყალხსნარების გარემოში ტარდება. მაღალტემპერატურული პროცესები ე.წ. პირომეტალურგიული (ბერძნულად – *pyro* – ცეცხლს ნიშნავს) პროცესებს განეკუთვნება, ხოლო რეაგენტებისა და წყალხსნარებში მიმდინარე პროცესები – ჰიდრომეტალურგიულს (ბერძნულად – *hydro* – წყალს ნიშნავს).

ნებისმიერი მეტალურგიული პროცესი ითვალისწინებს გადასამუშავებელი მასალის გადაყვანას ჰეტეროგენულ (ბერძნ. *heterogenes* – სხვადასხვაგვაროვანი) მდგომარეობაში, ანუ მდგომარეობაში, რომელშიც ქიმიური შემადგენლობებითა და ფიზიკური თვისებებით განსხვავებული ნივთიერებები – ფაზები, მხოლოდ ზედაპირებით ეხება ერთმანეთს და მათი განცალკევება შესაძლებელი ხდება მარტივი ფიზიკური პროცესებით (დალექვით, გაფილტვრით, აქროლით და ა.შ). მეტალურგიული გადამუშავების დროს შესაბამისი ქიმიური რეაქტივების მეშვეობით ამოსაღები ლითონები ერთ ფაზაში (ზოგჯერ ერთზე მეტ ფაზაში) კონცენტრირდება, ხოლო მინარევები სხვა, განცალკევებულ ფაზაში იყრის თავს. რიგი მეტალურგიული პროცესების ჩატარებით ლითონი სულ უფრო მეტად კონცენტრირდება (მინარევების განდვენის ხარჯზე) და საბოლოოდ სუფთა სახით მიიღება.

პირომეტალურგიული ხერხი, რომელშიც ლითონის მიღების მაღალტემპერატურული მეტალურგიული პროცესებია თავმოყრილი, უძველესი დროიდან არის ცნობილი. იგი დღესაც უფრო ფართოდ გამოიყენება, ვიდრე – ჰიდრომეტალურგიული ხერხი, რომელშიც ლითონის მისაღებად წყალხსნარებში მიმდინარე პროცესებია ჩართული. დასავლეთის ქვეყნებში სპილენძის 85 % პირომეტალურგიული ხერხით იწარმოება, ხოლო ყოფილ საბჭოთა კავშირში პირომეტალურგიით მიღებული სპილენძის რაოდენობა 99%-ს აღემატებოდა.

პირომეტალურგიისგან განსხვავებით, ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების ხერხი გაცილებით გვიან შემოვიდა მეტალურგიულ პრაქტიკაში. ჰიდრომეტალურგიული პროცესები დასაწყისში ცალკეული ოპერაციების (დამხმარე ოპერაციების) სახით გამოიყენებოდა პირომეტალურგიული გადამუშავების მთლიან ციკლში.

ჰიდრომეტალურგიის განვითარება და მისი მასშტაბების გაფართოება ლითონებზე გავრდილ მოთხოვნებს უკავშირდება. ამ მოთხოვნების შესავსებად სხვადასხვა ხარისხის დამატებითი ნედლეულის (ღარიბი, კომპლექსური მადნების) გადამუშავების აუცილებლობა შეიქმნა. დამატებითი ნედლეულის ძირითად წყაროდ ღარიბი და კომპლექსური მადნები გადაიქცა. ამ ტიპის მადნების გადამუშავება პირომეტალურგიული ხერხით უფრო მიზანშეწონილი აღმოჩნდა. მაგალითად, თუთიის ზოგიერთი მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული კონცენტრატის ხარისხი იმდენად დაბალია, რომ მისი პირომეტალურგიული ხერხით გადამუშავება ძალზე გართულებულია. პრობლემა ადვილად გვარდება ნედლეულის ჰიდრომეტალურგიული ხერხით გადამუშავების დროს; კონცენტრატის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარიდან ელექტროლიტური გამოლექვით მაღალი სისუფთავის თუთია მიიღება.

ურანის მდინებისა და კონცენტრატების ძალზე დაბალი ხარისხის გამო, მათი გადაამუშავება ჰიდრომეტალურგიული ხერხით სორციელდება.

ბოქსიტებში (ალუმინის წიაღისეული ნედლეული) ალუმინის ოქსიდი დაკავშირებულია ისეთი სახის ფუჭ ქანთან, რომელიც ძალზე ათულებს ნედლეულის გადაამუშავებას პირომეტალურგიული ხერხით. ჰიდრომეტალურგიული ხერხით კი ბოქსიტებიდან სუფთა ალუმინის ოქსიდის მიღება ბევრად გაადვილებული და უფრო მიზანშეწონილია.

ფერადი მეტალურგიის პრაქტიკაში კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემები გამოიყენება – პირომეტალურგიულ გადაამუშავებაში ჩართულია ჰიდრომეტალურგიული პროცესები (ელექტროლიტური რაფინირება წყალხსნარებში, ზოგიერთი სახის ქიმიური რაფინირება და სხვა), და პირიქით, ჰიდრომეტალურგიულში – პირომეტალურგიული (გამოწვა და სხვა პროცესები).

თაზო I ნაწილიდან შერადი ლითონების აპოლვების პირომეტალურგიული პროცესები

პირომეტალურგიული პროცესების ტიპური ნაირსახეობებია გამოწვა, დნობა, სუბლიმაცია (გამოწვის თანმდევი პროცესია), დისტილაცია (დნობის თანმდევი პროცესია).

გამოწვის პროცესი მაღალ, მაგრამ დნობისათვის არასაკმარის ტემპერატურაზე ტარდება. გამოწვის პროცესებში გადასამუშავებელი მასალის კომპონენტები ერთმანეთთან ან აირებთან ურთიერთქმედებს.

გამოწვა, მინარევების (ან ამოსაღები ლითონის) ორთქლის მდგომარეობაში გადაყვანის (აქროლის) ან მასალის ქიმიური შემადგენლობის შეცვლის მიზნით ტარდება. მასალის ქიმიური შემადგენლობის შეცვლა მისი შემდგომი გადაამუშავების მოთხოვნებთან არის დაკავშირებული. ძირითადი ქიმიური რეაქციის ხასიათიდან გამომდინარე, გამოირჩევა ფანჯვითი, ალდგენითი, მასულფატირებელი, მადისოციირებელი, მქლორაჟი და გამოწვის სხვა სახეობები.

გამოწვა, ძირითადად, დამხმარე მეტალურგიული პროცესების სახით გამოიყენება და იგი ნედლეულის წინასწარი მომზადებისთვის არის გამოიზნული. ზოგჯერ გამოწვის ესა თუ ის პროცესი ნედლეულიდან ლითონების ამოღებისა და მათი რაფინირებისთვის გამოიყენება, მაგალითად, სუბლიმაცია (ფიზიკური პროცესია) და მყარფაზოვანი დისოციაცია (ქიმიური პროცესია).

პირომეტალურგიული გადაამუშავების ძირითად პროცესს დნობა წარმოადგენს. დნობის პროცესი ტარდება ისეთ ტემპერატურაზე, რომელიც გადასამუშავებელი მასალის მთლიანი მასის ან მისი ძირითადი ნაწილის გასაღნობადაა საკმარისი. დნობის პროცესში კაზმის გამდნარი მასიდან ფორმირდება ორი შერევი თხევადი ფენა (ფენების ნადნობების განსხვავებული კუთრი წონების გამო, მძიმე ნადნობის ფენა სადნობი ლუმელის ძირში ჩადის, ხოლო მის ზედაპირზე მსუბუქი ნადნობის ფენა გროვდება), თხევადი და მყარი ფაზები (მყარი ფაზა ამოტივტივდება ნადნობიდან ან იძირება მასში), ან თხევადი და აირადი ფაზები. ზოგ შემთხვევაში დნობის დროს რამდენიმე შერევი თხევადი ფენა (ფაზა) ან სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფი რამდენიმე ფაზა ფორმირდება.

დნობის დროს მასალის ქიმიური ან ფიზიკური გარდაქმნის ესა თუ ის პროცესი ვითარდება. აქედან გამომდინარე, მეტალურგიაში დნობა მასში მიმდინარე პროცესების (რომელთა მეშვეობით ლითონი ერთ რომელიმე ფაზაში კონცენტრირდება) მიხედვით განირჩევა; მაგალითად, ალდგენითი დნობა მასში მიმდინარე ალდგენის პროცესით (ალდგენის ქიმიური რეაქციით) განირჩევა, ფანჯვითი დნობა – ფანჯვითი პროცესით (ფანჯვის ქიმიური რეაქციით), ელექტროლიტური დნობა – ელექტროქიმიური პროცესით, ლიკვაციური დნობა – ლიკვაციის პროცესით, დისტილაციური დნობა დისტილაციის პროცესით განირჩევა და დნობა შტიინზე (ლითონური სულფიდებისა და ოქსიდური ფუჭი ქანის შერევი თხევადი ფენები წარმოქმნება) – სულფიდების შენადნობების წარმოქმნით.

სუბლიმაციის (გვიანდელი ლათინ. sublimatio – ამაღლება, აწვევა, ლათ. sublio – მაღლა აწვევ) ანუ აქროლის და დისტილაციის (ლათ. distillatio – წვეთ წვეთად ჩამოდნა) პროცესები ძირითადად ლითონების განსკლავებისა და მათი რაფინირების მიზნით გამოიყენება. ორივე პროცესი ნივთიერების ორთქლის მდგომარეობაში გადასვლას ითვალისწინებს. მათ შორის განსხვავება ისაა, რომ სუბლიმაციის დროს ნივთიერება მყარი მდგომარეობიდან ორთქლში გადადის (ქროლდება), ხოლო დისტილაციის

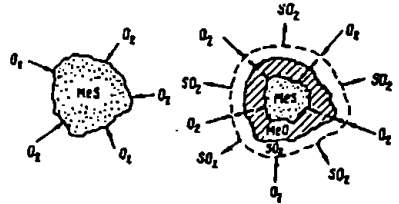
დროს ნიეთიერება გამდნარი (თხევადი) მდგომარეობიდან ორთქლში გადადის (ორთქლდება). დისტილაცია გულისხმობს სითხის აორთქლებას მის ღუღილის ტემპერატურაზე. თუმცა, ვიწრო ვაგებით, ტერმინი „აორთქლება“ მაშინაც იხმარება, როდესაც სითხის ორთქლში გადასვლა სითხის ღუღილის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ხდება. პირობეტალურგოული, ანუ მაღალტემპერატურული მეტალურგოული პროცესები სხვადასხვა ფერადი ლითონისთვის განსხვავებულ ატმოსფერულ პირობებში ტარდება. არააქტიური ლითონების (სპილენძი, ნიკელი, ტყვია და ა.შ.) მეტალურგოული პროცესების ჩატარება ჩვეულებრივი ატმოსფეროს პირობებში დასაშვებია, ხოლო რაც შეეხება აქტიურ ლითონებს (თუთია, ალუმინი, მაგნიუმი, დარიშხანი და ა.შ.), მათი გადამუშავების პროცესები უნდადთან (ჰაერთან) კონტაქტის გარეშე სპეციალურ აპარატებში (დახურული ტიპის რეტორტა, ინერტული აირის ატმოსფერო, ვაკუუმური ლუმული, გამდნარი მარილების აბაზანი და ა.შ.) ტარდება.

1.1. გამოწვა

1.1.1. ჟანგვითი გამოწვა

როგორც წესი, ფერადი ლითონების დიდი ნაწილი (სპილენძი, ნიკელი, ტყვია, თუთია, კობალტი და სხვა) დღევანდელი წიაღისეული ნედლეულის (მადანი, კონცენტრატი) შემადგენლობაში სულფიდური (ელემენტის გოგირდთან შენაერთი) მინერალების სახით არის წარმოდგენილი. სულფიდური ნედლეულის წინასწარი მომზადების მიზნით ხშირად გამოიყენება ჟანგვითი გამოწვის პროცესი. ჟანგვითი გამოწვის დროს სულფიდები ოქსიდურ ან სულფატურ ფორმაში გადადის. ჟანგვითი გამოწვა მყარი ნიეთიერების აირთან (როგორც წესი ჰაერთან) მაღალ ტემპერატურაზე ურთიერთქმედების პროცესია. ამიტომ ჟანგვითი გამოწვის პროცესი სულფიდური მინერალების ჰაერის დიდ ნაკადთან შეხების პირობებში ტარდება.

ჟანგვითი გამოწვა ზედაპირზე მიმდინარე რეაქციაა. პროცესის დასაწყისში მასალის ნაწილაკის ზედაპირზე ოქსიდის ფორმირება იწყება წარმოიქმნება (სურ.11.1.). ფორმებში შედგენითი ჟანგბადი ნაწილაკების სიღრმეში შედის და შიგა დაუქანგავ სულფიდთან ურთიერთქმედებს. ჟანგვის შედეგად წარმოქმნილი აირადი SO₂ იმავე ფორმების მეშვეობით სიღრმიდან ნაწილაკის ზედაპირზე ამოდის და რეაქციის ზონიდან განიღვრება. რეაქციის განვითარებით ოქსიდური ფენა სქელდება (სურ.11.1.). გასქელებული ფენის ფორმებში აირების მოძრაობა ძნელდება, რითაც ნაწილაკის სიღრმეში SO₂-ის კონცენტრაცია იზრდება. გოგირდის ანჰიდრიდის კონცენტრაციის გაზრდით შექცევადი რეაქციის განვითარების პირობები იქმნება:



სურ. 11.1. სულფიდური ნაწილაკის ჟანგბადით ჟანგვის სქემა.



შექცევადი რეაქცია ნაწილაკების სიღრმიდან გოგირდის ბოლომდე ამოღებას აფერხებს.

ჟანგვითი გამოწვის პროცესში მყარი ნაწილაკების ჟანგვაც აირთან მჭიდრო კონტაქტს დიდად უწყობს ხელს მასალის არევა. გამოსაწვავი მასალის მარცვლის ზომა დიდ გავლენას ახდენს ჟანგვის პროცესზე. მსხვილ მარცვლებში ჟანგბადის მარცვლის ცენტრამდე შეღწევის უფრო დიდი დრო სჭირდება. ამიტომ რაც უფრო მსხვილმარცვლოვანია მასალა, მით უფრო დიდი დრო სჭირდება მის გამოწვას.

სულფიდური მინერალებიდან გოგირდის განღვრების ხარისხი ჰაერის ნაკადის რაოდენობასა და ნედლეულში შემავალი ელემენტების გოგირდთან და ჟანგბადთან ნათესაურ კავშირზეა დამოკიდებული. რკინა ჟანგბადთან უფრო დიდ ნათესაურ კავშირშია, ვიდრე – გოგირდთან, ამიტომ რკინის სულფიდური

მინერალი ბოლომდე შეიძლება დაიჟანგოს, ხოლო იმავე ნედლეულში შემაჯალი სპილენძის სულფიდური მინერალი, იმის გამო, რომ სპილენძი გოგირდთან უფრო მტკიცე ნათესაურ კავშირშია ვიდრე ჟანგბადთან, შეიძლება ისევე სულფიდის სახით დარჩეს გამოწევის პროდუქტში (ნამწეში).

სულფიდური ნედლეულის (მალნის, კონცენტრატის) ჟანგვითი გამოწევის ქიმიური რეაქცია ევზოთერმულია – სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს. რეაქციის სითბო ხელს უწყობს ტემპერატურის შენარჩუნებას ლუმელში, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს გამოყენებული სათბობის ხარჯს. სულფიდით მდიდარი ნედლეულის გადამუშავების დროს ევზოთერმული რეაქციის შედეგად იმდენად დიდი რაოდენობის სითბო გამოიყოფა, რომ გამოწევის პროცესი აღარ საჭიროებს სათბობის გამოყენებას. ასეთი პროცესები ავტოგენურ რეჟიმში მიმდინარე პროცესებს განეკუთვნება (გამოიყენება ნედლეულში არსებული სითბოს წყარო). გოგირდით მდიდარი ნედლეულის გადამუშავების დროს რეაქციის სითბოს გამოყენება ეკონომიკური თვალსაზრისით მეტად ხელსაყრელია.

ჟანგვითი გამოწევის მეორე სახეობა, რომელიც მასალის არევის გარეშე და მისი ნაწილობრივი გაღნობით მიმდინარეობს, ფხვიერი მასალიდან ფორებიანი ნამწევის, ანუ აგლომერატის მიღებას ითვალისწინებს. აგლომერატი ძირითადად შახტურ ლუმელებში გასაღნობად გამოიყენება.

ჟანგვითი გამოწევა, როგორც ნედლეულის წინასწარი მომზადების ეტაპი, ჰიდრომეტალურგიაშიც გამოიყენება. გამოწევის შედეგად სულფიდები ოქსიდების ან სულფატების ფორმაში გადადის, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს ნედლეულის წყალხსნარებში გამოტუტვას. გარდა ამისა, ჟანგვითი გამოწევის პროცესში გამოტუტვის პროცესისთვის მანვ მინარეგების განსაზღვრული ნაწილი ქროლდება და ნედლეულიდან განიღვრება. გამოწევის პროცესში სულფიდებისა და ჟანგბადის მყარფაზოვანი რეაქციების შედეგად ლითონური ნაერთები ფორიანდება. ფორიანი მასალის გამოტუტვა გაცილებით ადვილად და სწრაფად მიმდინარეობს.

ჟანგვითი გამოწევის დროს ნედლეულში შემაჯალი ზოგიერთი მინარევი უხსნად ფორმაში გადადის, გამოტუტვის დროს ხსნარში არ იხსნება და ფუჭ ქანთან ერთად მყარი ნარჩენის სახით რჩება.

ჟანგვითი გამოწევა საკმაოდ ძვირი პროცესია და მისი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ ამოსადები ლითონით მდიდარი (მალად ხარისხის) ნედლეულის გამოსაწევადა.

მეტალურგულ პრაქტიკაში სულფიდების მყარფაზოვანი დაჟანგვის გარდა, განსაკუთრებული მნიშვნელობით გამოირჩევა სულფიდების თხევად მდგომარეობაში დაჟანგვა.

1.1.2. მადისოციირებელი გამოწევა

მადისოციირებელი (დისოციაცია – ლათინ. dissociatio – განცალკევება, გაყოფა – მოლეკულების დაშლა უფრო მარტივ ნაწილაკებად – მოლეკულებად, ატომებად, რადიკალებად ან იონებად) გამოწევა, როგორც წესი, ნეიტრალურ (სუსტ მჟანგავ) ატმოსფეროში ან ვაკუუმში ტარდება და მაღალ ტემპერატურაზე მასალის დისოციაციას (დაშლას) ითვალისწინებს.

ნეიტრალურ ატმოსფეროში გახურებისას ბუნებრივი არამდგრადი ქიმიური ნაერთები (მინერალები) დისოციირდება (იშლება). ასეთ მინერალებს განეკუთვნება სულფიდები: პირიტი (FeS_2), კაუკლინი (CuS), ქალკობირიტი ($CuFeS_2$), მილერიტი (NiS), არსენობირიტი ($FeAsS$), კარბონატები ($CaCO_3$ – კირქვა), პიდროოქსიდები და ა.შ. ამ მინერალების მყარფაზოვანი დაშლის რეაქციები შემდგენიარად გამოისახება:



თერმული დისოციაციის მყარფაზოვანი რეაქციები ძირითადად ენდოთერმულია და ამიტომ გარედან სითბოს მიწოდებას საჭიროებს.

კარბონატების თერმული დაშლა მაკალცინირებელი გამოწევის სახელით არის ცნობილი. კარბონატის მაღალ ტემპერატურაზე დაშლით ლითონის მყარი ოქსიდი და აირადი ნახშირბადის დიოქსიდი წარმოიქმნება:



კარბონატის დაშლის რეაქცია ენდოთერმულია (სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს) და ამიტომ გამოწვევის პროცესი სითბოს მიწოდებას საჭიროებს. რეაქციის (II.7) შექცევადობის გამო სარეაქციო ზონაში ოპტიმალური ტემპერატურის შენარჩუნებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. რეაქციის სრული მსვლელობისათვის და უკურეაქციის თავიდან ასაცილებლად კარბონატის დაშლის წონასწორული წნევა (ორთქლის დრეკადობა) რეაქტორში გამოყოფილი CO_2 -ის წნევაზე მეტი უნდა იყოს. ასეთი პირობის შექმნა შესაძლებელია რეაქციის მსვლელობისას გამოყოფილი CO_2 -ის განდევნით რეაქტორიდან. ამისათვის რეაქტორში დამხმარე ნეიტრალური აირის გამაყალი ნაკადის ან დაბალი ვაკუუმის შექმნაა საჭირო. კალცინირების პროცესი 1000–1100°C ტემპერატურების ზღვრებში ტარდება. გამოწვევის პროცესის დაჩქარებისა და რეაქციის სრულად ჩატარებისთვის გამოწვევის წინ მასალა ოპტიმალურ ზომებზე ჭეკიცდება და შრება. მსხვილმარცვლოვანი მასალა ახანგრძლივებს კალცინირების პროცესს და კარბონატის ბოლომდე დაშლას ხელს უშლის. გაფხვიერებული მასალა კი აძწელებს CO_2 -ის ამოსვლას შემჭვიროებელი ფენებიდან, რაც უკურეაქციის განვითარების პირობებს ქმნის.

1.1.3. მქლორაგი გამოწევა.

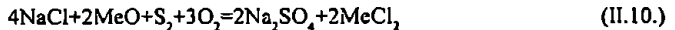
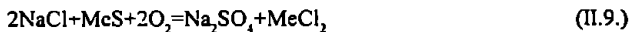
მქლორაგი გამოწევა ოქსიდების ქლორიდებში გადაყვანას ითვალისწინებს. დაქლორვის წინ ლითონის ოქსიდისა და ნახშირბადის ნარევისაგან ბრიკეტები მზადდება. დაქლორვის შემდეგ ბრიკეტები თხევად ქლორთან, ნატრიუმის ქლორიდთან ან ამონიუმის ქლორიდთან ურთიერთქმედებას ექვემდებარება. შედეგად ლითონის ქლორიდი წარმოიქმნება:



რეაქციის შედეგად ლითონის ქლორიდი თხევადი ან აირადი ნივთიერების სახით მიიღება (დამოკიდებულია ამა თუ იმ ლითონის ქლორიდის დნობისა და დუღილის ტემპერატურაზე).

მქლორაგი გამოწევა პიდრომეტალურგამაც გამოიყენება. ოქსიდური მადნის დაქლორვის დროს მასში შემავალი ძნელად მოსაცილებელი მინარეგები აქროლად ქლორიდებს წარმოქმნის და განიდეგება ან უხსნად ქლორიდებში გადადის და გამოტუტვის დროს ხსნარში არ გადადის (არ იხსნება). დაქლორვით შეიძლება აგრეთვე მინარეგების გადაყვანა ხსნადი ნაერთების ფორმაში. ასეთი ნაერთები გამოტუტვის წინ ნედლეულიდან წყლით ადვილად ჩამოირეცხება და განიდეგება.

დაქლორვის პროცესში ნედლეულს დამხმარე რეაგენტი ემატება. რეაქციის შედეგად უმეტეს შემთხვევაში ლითონის ქლორიდი და სულფატი წარმოიქმნება:

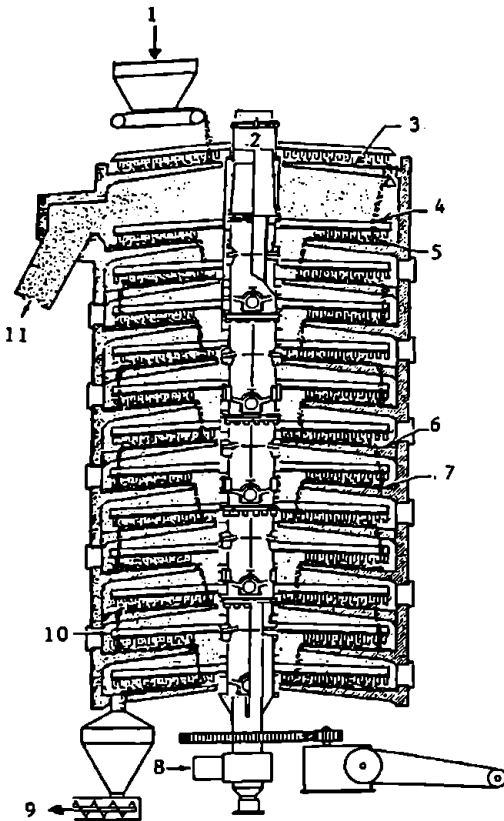


1.1.4. გამოსაწეავი ღუმელები

ფერადი მეტალურგიის პრაქტიკაში სულფიდური ნედლეულის ჟანგითი გამოწვის ორი სახეობა გამოიყენება. პირველში სულფიდური ფხენილისებრი კონცენტრატის ჟანგითი გამოწვით, ნამწვი ისევე ფხენილისებრი მასალის სახით მიიღება, ხოლო მეორეში ფხენილისებრი კონცენტრატის აგლომერაციული ჟანგითი გამოწვის შედეგად, ნატეხი ნამწვი წარმოიქმნება.

გამოწვის სახეობის შერჩევა დამოკიდებულია მომდევნო ეტაზე ნამწვის გადასამუშავებელი სადნობი ღუმელის ტიპზე. ამრეკლ ღუმელსა და ელექტროღუმელში დნობის დროს ფხენილისებრი მასალა გამოიყენება, ფხენილისებრი ნამწვი კი სულფიდური კონცენტრატის მრავალქვედინ და მდულარე ფენაში გამოსაწეავი ღუმელებში ჟანგითი გამოწვის შედეგად მიიღება. შახტურ ღუმელებში მხოლოდ ნატეხი მასალის დნობა ხდება. ნატეხი ნამწვი, ანუ აგლომერატი სააგლომერაციო მანქანებზე ფხვიერი კონცენტრატის გამოწვის პროცესში ფორმირდება.

მრავალქვედინი გამოსაწეავი ღუმელი ყველაზე ადრინდელია. იგი პირველად მე-19-ე საუკუნის 90-იან წლებში იქნა გამოყენებული, ხოლო მდულარე ფენაში გამოწვის ღუმელს მე-20



სურ. II.2. მრავალქვედიანი გამოსაწვავი ლუმელი.

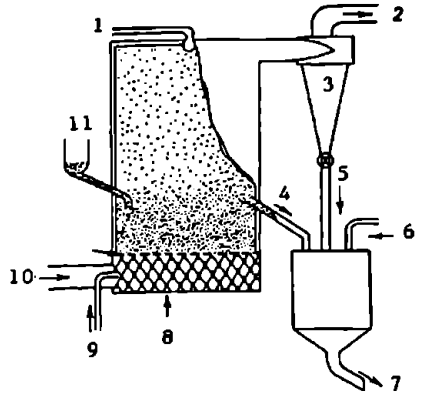
- 1 ლუმელში ჩასატვირთი კონცენტრატის ბუნკერი;
- 2 მბრუნავი ლილვი;
- 3 შრობის ქვედი;
- 4 კონცენტრატი;
- 5 სავარცხლები;
- 6 ქვედიდან ჩამომავალი კონცენტრატი;
- 7 ქველზე დაშვებული კონცენტრატი;
8. პაერი;
9. ნაშწი;
10. პაერთი საცეცხელი სავარცხლების სახელური;
11. აირები გოგარდმყავას წარმოებაზე.

აირების ამავალი ნაკადით ხერხდება. სარეაქციო ტემპერატურამდე გახურებისთანავე სულფიდური მასალა წვის შედეგად აქტიურად განიცდის უნგვას. თუ პროცესი აქტიურად რეჟიმში არ მიმდინარეობს, მაშინ მასალის გახურება სარეაქციო ტემპერატურამდე ქვედა, ანუ ბოლო ქველზე მოთავსებული სათბობის წვის მოწყობილობის მეშვეობით ხორციელდება. ლუმელში პაერის ნაკადის რეგულირება ბოლო ქველზე განლაგებული კარების გაღების საშუალებით ხდება. სარეაქციო ზონაში შეწოვილი პაერი უნგვის რეაქციას საჭირო რაოდენობის უნგვადით ამარაგებს. ქველის 1 მ²-ზე ლუმელის საშუალო წარმოებლობა დღე-ღამეში 2 ტ კონცენტრატს შეადგენს, ქველების რაოდენობა 4-დან 12-მდეა, მათი ლამპტრი 3-7 მეტრის ტოლია. გამოწვის აირებში SO₂-ის შემცველობა 4,5-6,5%-ს აღწევს.

მდურარე ფენაში გამოსაწვავი ლუმელს (სურ. II.3.) შედგება ფოლადის ცილინდრული გარსაცმისგან, რომელიც ამოვებულია ცეცხლგამძლე აგურით. ლუმელი ძირში ჩაკეტილია ცეცხლგამძლე ცხაურით. ცხაურის ქვეით მოთავსებული საპაერო კოლოფიდან გახურებულ ლუმელში შეტერ-

საუკუნის 50-იან წლებიდან იყენებენ. მდურარე ფენაში გამოსაწვავი ლუმელი მრავალქვედიანი გამოსაწვავი ლუმელთან შედარებით მაღალი წარმოებლობით ხასიათდება. მდურარე ფენაში გამოსაწვავი ლუმელში 9-ჯერ მეტი მასალის გადაამუშავება შეიძლება, ვიდრე — მრავალქვედიანი ლუმელში ექვივალენტური მოცულობების შემთხვევაში. მრავალქვედიანი გამოსაწვავი ლუმელი (სურ. II.2.) რიგი, ჰორიზონტალურად განლაგებული, მრავალი ფორმის ცეცხლგამძლე ქველებისგან შედგება. ქველები მოთავსებულია ფოლადის ვერტიკალურ გარსაცმში. მასალა, ზღა შრობის ქველზე (ლია ქვედი) იტვირთება, საიდანაც ქველების გაელოთ თანდათან ქვეითკენ ჩადის და ქვედა, ანუ ბოლო ქველიდან ნაშწვის სახით გადმოიტვირთება ლუმელიდან. ლუმელის ვერტიკალური ღერძის გასწვრივ დაბალი სიჩქარით მბრუნავ ღრუ ლილვზე მიმაგრებულია ქისეზიანი (სავარცხლებიანი) სახვეტები (სახველურები), რომლებიც წყლით ან ჰაერით ცივდება. სახვეტების მეშვეობით ლუმელში ჩატვირთული მასალის არევა (ყველა ქველზე) და მისი ნელლი ნაწილის ზღადაირზე ამოყრა ხდება, რაც უნგვითი გამოწვის პროცესში აირ-მყარის ურთიერთქმედების განვითარებას უწყობს ხელს. გარდა ამისა, სახვეტებით მასალა ქველზე განლაგებული ხერხებისკენ გადაადგილდება; ხერხებიდან მასალა მოძღვენო ქველზე იყრება. ხერხელები ქველზე ზიგზაგურადაა დანაწილებული — ერთი ქველის ხერხი ცენტრშია განლაგებული, ხოლო მეორესი (მომდევნო ქველის) — პერიფერიაზე. ხერხების ზიგზაგური განლაგება ახანგრძლივებს მასალის გავლის დროს, რაც ხელს უწყობს უნგვითი რეაქციის განვითარებას. ზევიდან ჩამავალი მასალა რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ცხელი

ილი ჰაერის ნაკადი ცხაურის გავლით თანაბრად ნაწილდება და ჩატვირთული მასალის (კონცენტრატის) მყარ ნაწილაკებს აქროლილ მდგომარეობაში აკავებს, რითაც აირის (ჟანგბადის) მყართან ზედაპირული კონტაქტის დამყარების საუკეთესო პირობა იქნება. გამოსწავი მასალა, რომლის მარცვლების სიდიდე 6 მმ არ აღემატება, ლაფისმავარი მასის სასით უწყვეტად ჩადინება აქროლილი მყარი ნაწილაკების ტურბულენტურ ფენაში. მდულარე ფენაში ჟანგითი გამოწვის არსი სქემატურად წარმოდგენილია II.4. სურათზე.



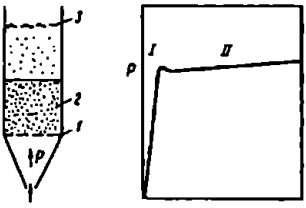
სურ. II.3. მდულარე ფენაში გამოსაწვავი ღუმელის სქემა.

I ტუმბურატურის მარკულარული წყლის შეფუთვა 2. აირებს გასუფთავებისა და გაციფების შემდეგ გოჯარდმტყავს საწარმოებლიად; 3. ცეცლონი; 4. ცხელი ნამწვი; 5. მტვერი; 6. წყლის შეფუთვა; 7. გაციფებული ნამწვის ღამა; 8. ჰაერის გამსაწილებელი ცეცხლრიცების ცხაური; 9. დამშპარე სათბობი (საჭირიების შემთხვევაში); 10. ჰაერი; 11. სველი ან შშრალი კონცენტრტი.

ჰერფორირებული ცხაურის (I) ბირიდან, მასზე განლაგებული კონცენტრატის უძრავ ფენაში მზარდი წნევით ჰაერის შეტყობის მოუხედავად, მასალის ფენაში გამავალი ჰაერის რაოდენობა დასაწყისში უმნიშვნელოდ იზრდება (უბანი I). როცა ჰაერის წნევა განსაზღვრულ სიდიდეს მიაღწევს, მისი შემდგომი ნელი გადიდებაც კი ჰაერის ხარჯი მკვეთრად მატულობს. წნევა P-ზე, მასალის ფენა ზევითკენ იწყებს ასვლას, კონცენტრატის ფენით დაკავებული მოცულობა დიდდება, მასალის მყარ ნაწილაკებს შორის მანძილი მკვეთრად იზრდება და ნაწილაკები აქროლილ მდგომარეობაში გადადის (ცერტიკალურ სიბრტყეში უწყვეტ, შექცეულ - წინსვლითი მოძრაობის მდგომარეობაში გადადის). აქროლილ მდგომარეობაში მყოფი მასალის ფენა მდულარე სითხეს წააგავს, რის გამოც პროცესს დაერქვა „მდულარე ფენაში გამოწვა“.

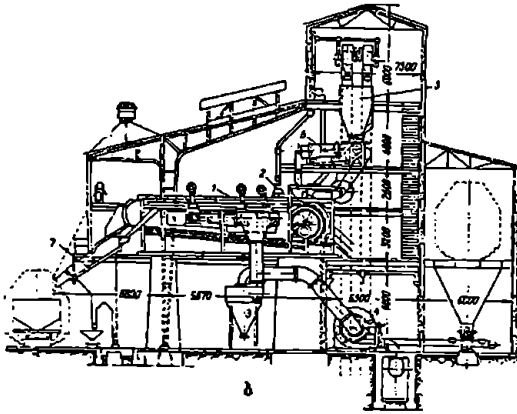
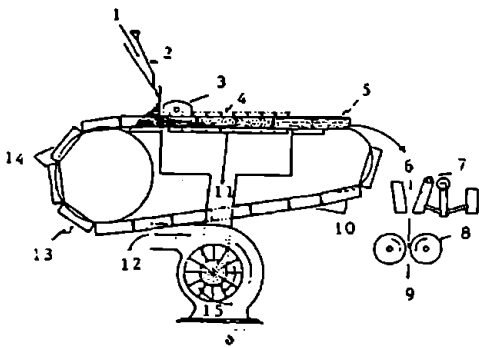
ასეთ მდგომარეობაში მყარი მასალის მდულარე ფენა სითხის თვისებებს (ძვრადობა, ღენადობა, ფორმის მიღების უნარი და სხვა) იძენს. წნევის გაზრდა (უბანი II) აქროლილი კონცენტრატის ნაწილაკების მიერ დაკავებული მოცულობის შემდგომ გაზრდას იწყებს - ნაწილაკებს შორის თავისუფალი სივრცე იზრდება. ჰაერის შეტყობის სიჭარბით მასალა გადადის შეტყობილებულ მდგომარეობაში, რაც გამოსაწვავი კონცენტრატის მტერის ინტენსიურ გატანას იწყებს. ამრიგად, მდულარე ფენის ფორმირება ორ ეტაპად მიმდინარეობს. დასაწყისში გაფხვიერებული (მაფილტრირებული) ფენა წარმოიქმნება, რომელიც ბერვის (გაქრევის) განსაზღვრულ სიდიდეზე უსეველომთხელებულ მდგომარეობაში გადადის.

თუ ღუმელში ჩატვირთული კონცენტრატი სხედასხვა ზომებისა და სიმკვრივის მყარი ნაწილაკების ნარევისგან შედგება, მაშინ მცირე ზომისა და მსუბუქი ნაწილაკები მდულარე ფენის თავში ექცევა, ხოლო შედარებით დიდი ზომის და მძიმე მარცვლები ღუმელის ბირში გროვდება. გამომწვარი კონცენტრატის (ნამწვის) ერთი ნაწილი იწვევს გვერდითი მილის მეშვეობით გადმოიტვირთება, ხოლო მისი მეორე ნაწილი აირების ნაკადით წაიტაცება და აირსაწმენდი მოწყობილობის სისტემაში გროვდება. მდულარე ფენაში წარმოქმნილი სითბოს ჭარბი რაოდენობა საციფებელი კლანქილას საშუალებით აირინება და ორთქლის წარმოებაში გამოიყენება. ჟანგითი რეაქციის ავტოგენური რეჟიმი, ნაწილაკების მაღალტურბულენტურ გარემოში აირის მყართან შეხების საუკეთესო პირობები და სითბოს მიმოცვლის შესაძლებლობა გამოწვის პროცესის სიჩქარის მკვეთრად გადიდებასა და შესაბამისად, მდულარე ფენაში გამოსაწვევი ღუმელის მწარმოებლობის გაზრდის საშუალებად.



სურ. II.4. მდულარე ფენის წარმოქმნის სქემა.

I ცხაური; 2. კონცენტრატის საწმენის უსრაფი ფენა (ჰაერის შეტყობამდე); 3. მდულარე ფენის ღონე.



სურ.115. პაერის ქვევიდან შეწვოვი (დაღმამაველი ტიპის) სააგლომერაციო მანქანა და მისი განლაგება საამქროში.

ა. სააგლომერაციო მანქანა - 1 სააგლომერაციო მასალის ნარევი; 2 მასალის მერხვი სატენიანებელი; 3 მათლებელი მოწყობილობის კამერა; 4 მასალაში შემავალი პაერი; 5 შხა აგლომერაციას მათება, რომელიც მათლებების შწკრავის წვეტილში სწრაფი ჩასრიალებით წვეტილის ბოლოში მიმავალ ცარიელ მათებას ეჯახება და აგლომერატის ნატებს ცხაურაზე ადგებს; 6 დასამხერველი აგლომერატა; 7 ყბიანი საშხერველი; 8 ლილვებიანი საშხერველი; 9 მუშა აგლომერაციის მათება; 10 ცარიელი მათება (ურეკები); 11 დამტვირთველი აბრები გასუფთავებაზე; 12 წარმავალი მათება; 13 ცარიელი მათება; 14 მათება; 15 მათება. ბ. სააგლომერაციო საამქრო - 1 მათება; 2 აბრები; 3 ციკლონი; 4 ვენტრილატორი; 5 ბუნკერი; 6 შემრევის სატენიანებელი; 7 ცხავი.

გამოწვის ტემპერატურულ პირობებში კაშმის კომპონენტები ნაწილობრივ რაბილდება და ერთმანეთთან შეწყვებით შექცევარ (ფორებიან) მტკიცე აგლომერატს წარმოქმნის. თხელფენიანი მასალის გამოყენება და პაერის გამაგრილებელი ზემოქმედება მასალის ინტენსიურ დნობას გამო-

ბას იძლევა. პროცესის მაღალი სიჩქარე პრაქტიკულად ფანგბადის სრულ გამოყენებას უზრუნველყოფს. ლუმელი დღე-ღამეში ცხაურას 1² მ-ზე 20 ტ პირიტულ მასალას ამუშავებს.

ნედლეულის შესაცხოხობი აგლომერაციული მანქანა გორგოლაჭებიან ლიანდაგზე მოძრავი ურიკების, ანუ ეწ. პალეტების სექციებისგან შედგება (სურ. II.5.). პალეტა წარმოადგენს ფოლადის ან თუჯის ურიკას ცეცხლირის ცხაურაში, რომელიც აკრეფილია თუჯის ცალკეული ცეცხლირებისაგან. ყოველ პალეტას გააჩნია ოთხი საკალი გორგოლაჭი, რომელთა საშუალებითაც, პალეტა მიმართული ლიანდაგებზე მოძრაობს.

ერთმანეთთან მჭირლოდ დაკავშირებული პალეტები სწორკუთხა უწყვეტ ღარს წარმოქმნის (ღარის სიჩქარე რეგულირდება). ცხაურების ქვეშ განლაგებულია ვაკუუმური კამერა, რომლის მეშვეობითაც ღარზე დაყრილი შესაცხოხობი მასალის ზედაპირიდან პაერის შეწოვა ხდება (მასალის-კონცენტრატის მარცვლების ან წინასწარ დაზღვეული გუნდების სისხი 12 მმ-ს შეადგენს). წინასწარ შერეული და დატენიანებული მასალა თხელ ფენებზე იყრება მანქანის ჰორიზონტალურ უბანში შემოსულ პალეტებზე (პალეტებისაგან შემდგარ ღარზე). ვაკუუმური კამერის სექციების ზონაში შესვლისთანავე მაღლებლით (აბრებით) პალეტებზე დაყრილი მასალის ზედაპირის მყისი აალება ხდება და შეცხოვის პროცესი იწყება. მასალის წვის პროცესში ეგზოთერმული რეაქციების განვითარების გამო შეცხოვის პროცესი საბოლოოს დამატებას არ საჭიროებს. ეგზოთერმული სითბო მასალაში შეწოვილი პაერისა და მასალის სულფიდების ურთიერთქმედების შედეგად გამოიყოფა.

შეწოვი კამერის სექციებზე გადაადგილების დროს შეცხოვის ზონა მასალის ფენის ზედაპირიდან ფენის სიღრმისკენ მიიწევს და მასალის პალეტებიდან გადაიყვამდე ფენის ბოლომდე ჩადის.

შეწოვის ტემპერატურულ პირობებში კაშმის კომპონენტები ნაწილობრივ რაბილდება და ერთმანეთთან შეწყვებით შექცევარ (ფორებიან) მტკიცე აგლომერატს წარმოქმნის. თხელფენიანი მასალის გამოყენება და პაერის გამაგრილებელი ზემოქმედება მასალის ინტენსიურ დნობას გამო-

იცხავს. შეცხოვის პროცესში მასალის გაღნობა დაუშვებელია, წინააღმდეგ შემთხვევაში მასალაში ჰაერის შეწოვა შეწყდება და შეცხოვის პროცესი გაჩერდება. ამიტომ ოპტიმალური ტემპერატურის შენარჩუნებას (ტემპერატურის გადაჭარბებული ზრდა დაუშვებელია) გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება. ჭარბი ტემპერატურის განითარების საშიშროება მაღალგოგირდიანი კონცენტრატების აგლომერაციის დროს იქნება. ოპტიმალურ რეჟიმში აგლომერაციის პროცესის ჩატარება შესაძლებელი ხდება იმ შემთხვევაში როცა კაშში გოგირდის შემცველობა 21%-ს არ აღემატება. მაღალგოგირდიანი კონცენტრატების აგლომერაცია კაშში ფლუსებისა ($CaSO_3, SiO_2$) და სააგლომერაციო ნაშალის შეტანის გზით ხორციელდება.

ჰაერის შეწოვის ზონიდან ორი მოსაზღვრე ურიკით (პალეტით) გამოტანილი მზა აგლომერატი წინა ურიკის მანქანის მომრგვალებულ ნაწილთან მიახლოებისას ტყდება. მანქანის მომრგვალებული ნაწილიდან წინა ურიკა აგლომერატის ნატეხთან ერთად ურიკების შწკრავში არსებულ წვეტილში სწრაფად ეშვება (სრიალით) და წვეტილის ბოლოში მიმაველ ურიკას ეჯახება (სურ. II.5.), რის შედეგადაც აგლომერატის ნატეხი ურიკიდან ცხაურზე ვარდება. ცხაურაზე შეკრებილი აგლომერატი საჭირო ზომის ნაჭრებად იმსხვრევა, ხარისხდება და მსხტური ტიპის საღნობ ღუმელებში გადასამუშავებლად იგზავნება. აგლომერატის წყრილი ფრაქცია კი სააგლომერაციო მანქანაზე გადასამუშავებელ მასალაში ირევა.

სააგლომერაციო (შესაცხობი) მანქანის შწარმოვლობა დამოკიდებულია მის სიდიდეზე. მაგალითად, 1 მ სივანის და 13,5 მ სივანის მანქანა 1 მ³ ცხაურის ფართობზე ღლე-ღამეში 5 ტ-მდე ნედლ მასალას აბუშავებს, ხოლო უფრო დიდი ზომის მანქანა - 10 ტ-მდე ნედლეულს.

ჰაერის ზევიდან ქვევით შემწოვი („დამამავალი“ ტიპის) სააგლომერაციო მანქანის გარდა პრაქტიკაში ჰაერის ქვევით ზევით შემწოვი („აღმამავალი“ ტიპის) მანქანებიც ფართოდ გამოიყენება. ამ ტიპის მანქანებში ჰაერის შემწოვი კამერების სექციები პალეტების ზევით არის განლაგებული და მასალაში ჰაერის შეწოვა პირიქით, ქვევიდან ზევით ხდება. პალეტის ცხაურზე თავდაპირველად მასალის თხელი ფენა იყრება. ფენის აალების შემდეგ მას ზევიდან მასალა ემატება. შესქელებული ფენის შემწოვი კამერების ქვეშ გაელისას მასალის ფენაში წვის ზონა ქვევიდან ზევითკენ გადაადგილდება.

პალეტების მოძრაობის სიჩქარე ორივე ტიპის მანქანაში საკმაოდ დიდ დიაპაზონში იცვლება (25-დან 120 სმ/წთ) და იგი დამოკიდებულია პალეტებში ჩატვირთული მასალის ფენის სისქესა და სააგლომერაციო მანქანის ზომებზე.

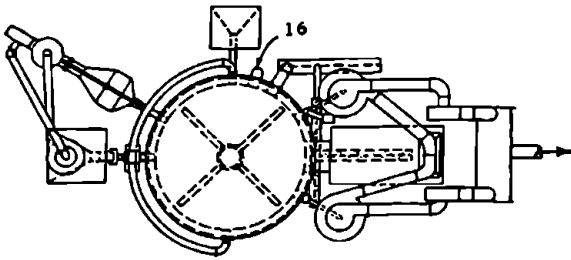
დაგუნდავებასა და პრიეტორებისათან შედარებით მაღლის მასალების დანატროვნება აგლომერირების მეთოდით ბევრად ბიერი ჯდება, რაც დაკავშირებულია უზარმაზარ დანადგარ-მოწყობილობის გამოყენებასთან, რომელიც დიდ კაპიტალურ და ექსპლუატაციურ ხარჯებს საჭიროებს.

აქტიური ლითონების ნედლეულის გამოსაწვავად, გარდა მრავალქვედიანი ღუმელის, მღელარე ფენაში გამოსაწვავი ღუმელისა და სააგლომერაციო მანქანისა, გამოიყენება მასალის შეტვივტივებულ მდგომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელი, ცილინდრული ტიპის შრობის (სახურებელი) ღუმელი, ქლორატორი და დახურული ტიპის რეტორტული ღუმელი.

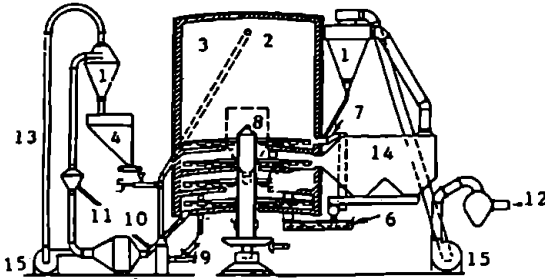
მახალას შეტვივტივებულ მდგომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელი გამოიყენება სრული ჟანგვის პროცესის ჩასატარებლად (ნაშვში გოგირდის შემცველობა 1%-ს არ აღემატება). იგი მრავალქვედიანი ღუმელის მოდიფიკაციას წარმოადგენს და ამიტომ გამოწვისთვის ხშირად გადაკეთებული მრავალქვედიანი ღუმელი გამოიყენება. მრავალქვედიანი ღუმელიდან რამდენიმე ქვედის ამოღება დიდი სივრცის შქონე წვის ღია კამერის შექმნის შესაძლებლობას იძლევა. ღია კამერაში ზევიდან შეფრქვეულ ფხვიერ და მშრალ მასალაში გამოწვის პროცესი მთავრდება კამერის ძირში მასალის ჩასვლამდე.

პრაქტიკაში ძირითადად, კონსტრუქციულად მსგავსი ორი ტიპის მასალის შეტვივტივებულ მდგომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელი გამოიყენება. ღუმელების ქვედებზე ხვრელების განლაგება და მზრუნავი სახვეტების მოქმედება იგივეა, რაც მრავალქვედიან ღუმელში. ორივე ტიპის ღუმელში გამოშრობილი ფხვიერი მასალა გამოიყენება. ღუმელები მხოლოდ გამოწვის კამერებისა და ქვედების სხვადასხვა ღონეზე განლაგებით განსხვავდება ერთმანეთისგან.

ერთი ტიპის ღუმელში (სურ. II.6.) გამოსაწვავი ღია კამერა ღუმელის ზედა ნაწილში განლაგებული, ხოლო ოთხი ქვედი კამერის ქვეშ არის მოთავსებული. გამოსაწვავი მასალა უწყვეტ



ნაკადად ჯერ ქვედა ორ ქველში შედის, სადაც ზედა გამოსაწვავი კამერიდან შემობერილი ცხელი ჰაერით შრება. გამომშრალი მასალა ქვედა ქველიდან ბურთულებთან წისქვილში გადადის და გამოსაწვავი კამერაში შესვლამდე კიდევ ერთხელ საგულ-დაგულოდ ქუცმაცდება. წისქვილიდან ჰაერის ნაკადით გამობრუნდები დაქუცმაცებული მასალა კლასიფიკატორის მეშვეობით განცალკევების ციკლონში შედის, ხოლო იქიდან შემკრებ ბუნკერში ზედება. ბუნკერიდან მასალა სანთურას საშუალებით კამერის ზედა ნაწილში შეიფრქვევა. სულფიდური მასალის აალებს და წვა სანთურის ქმინის მახლობლად იწყება და ზედა ქველზე ღამუბამდე გრძელდება. ზედა ქველიდან ნაშვნი ხერხლის საშუალებით მომდევნო, გადმოსატვირთ ქველზე გადადის. ღუმელში ქველების ერთი წვეილი გამოყოფილია მეორე წვეილისაგან. მათი გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულებით ხდება. ზედა ორ ქველზე გამოშვარი მასალის დაგროვება და მისი გადმოტვირთვა ხდება, ხოლო ქვედა ორ ქველზე გამოსაწვავი მასალა წინასწარ შრება.



სურ. II.6. მასალის შეტივტებულ მდომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელი (შრობის ქვედა გამოსაწვავი კამერის ქვეშ არის განლაგებული).

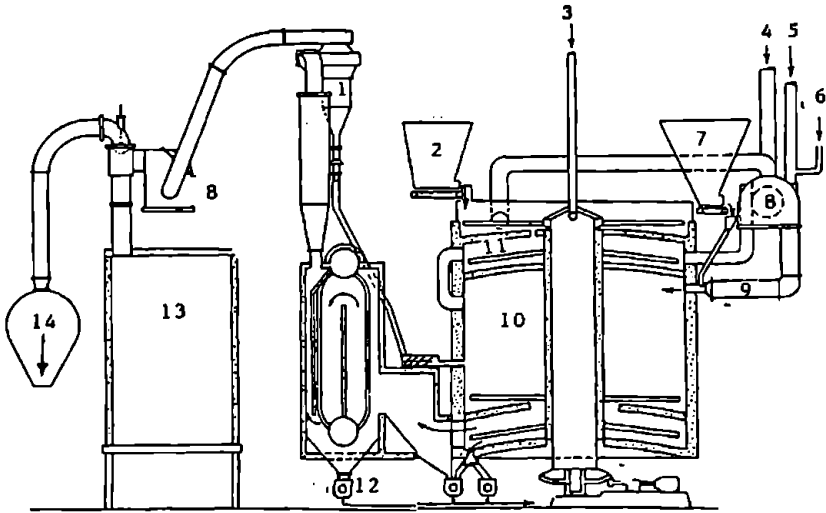
1 ციკლონ 2. საცეხლზე 3. ღუმელი; 4. გამომშრალი მასალის ბუნკერი 5. პაერა ს. ნაშვნის გადმოსატვირთვა 7. ელექტროტონა 8. სველი მასალის ბუნკერი 9. პაერა 10. ბურთულებთან წისქვილი 11. პაერა 12. სარეცხვალსაცხი; 13. კლასიფიკატორი 14. ბოილერა 15. კომპრესორი 16. ცხელი აირების გასასვლელი

მეორე ტიპის ღუმელში (სურ. II.7.) გამოსაწვავი კამერა შუაში, ქველებს შორის არის განლაგებული. კამერის ზევით ერთი (ან ორი) შრობის ქველია, ხოლო კამერის ქვეით ორი (ან სამი) მასალის დასაგროვებელი ქველია განლაგებული. სველი მასალა (3-4% ტენიანობით) ზედა შრობის ქველზე იტვირთება და კამერიდან წარმავალი ჰაერის ცხელი ნაკადით შრება. გამომშრალი მასალა ქველიდან ბურთულებთან წისქვილში გადადის დასაქუცმაცებლად. დაქუცმაცებული მასალა სანთურას საშუალებით კამერის ზედა ნაწილიდან შეიფრქვევა ღუმელში. აალებული მასალის ნაწილაკებში წვის პროცესი არ წყდება კამერის ძირში მასალის ჩასვლამდე. ნაშვნის გადმოტვირთვა ქვედა ქველიდან ხორციელდება.

ორივე ტიპის გამოსაწვავ ღუმელში გადმოსატვირთ ქველებზე გამოშვარი მასალის (ნაშვნის) მხოლოდ 60% გროვდება, ხოლო ნაშვნის დანარჩენი რაოდენობა (40%) მტერის სახით აირის ნაკადს მიყვება და აირიდან ციკლონში ან ელექტროსტატიკურ სალექში ცალკევდება.

ორივე ღუმელში გამოშვების ტემპერატურის რეგულირება კამერაში შესაფრქვევი სულფიდური მასალის მიწოდების სიჩქარის ცვლილებით ხორციელდება. რეაქტივის შედეგად გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბო, როგორც წესი, საკმარისია სულფიდური ნედლეულის სრული, ე.წ. „მკვდარი“ გამოწვისთვის, რომელიც 1000°C ტემპერატურას საჭიროებს. უფრო მაღალი ტემპერატურის განეთარების შემთხვევაში, შრობის ქველიდან ციკ პაერის უბერავენ კამერაში.

მაკალციბირებული გამოწვის დროს უფრო ხშირად ცილინდრული ფორმის მბრუნავი ღუმელი (სურ. I.3.) გამოიყენება (აგრეთვე ჩვეულებრივი მრავალქველიანი ღუმელი). კალციბირების რეაქცია ენდოთერმულია და ამიტომ გამოწვის პროცესის ჩასატარებლად სათბობს იყენებენ. სათბობის სახით მაზუთი ან ფხენოლისებრი ქვანახშირი იხმარება.



სურ. II.7. მასალის შეტოვტიფებულ მდგომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელი (გამოსაწვავი კამერა ქველგებს შორის, შუაშია განლაგებული).

1 ცილონი; 2 სველი მასალის ბუნკერი; 3 ქსებიანი სახვეტის გამაცივებელი პაერი; 4 ნაბრუნს აირის ნაკადი; 5 პაერი; 6 უანგბადი; 7 შშრალი მასალის ბუნკერი; 8 კომპრესორი; 9 საცეცხლე; 10 წვის კამერა; 11 შრობის ქველი; 12 ნამწვის ვაქმოსატვართი; 13 აგურის ალიბჭე; 14 აირს ვოვირდჭვავს საწარმოებლად.

მქლორაევი გამოწვის პროცესი მასალის მღულარე ფენაში ან მასალის უძრავ ფენაში გამო-საწვავ ქლორატორში ტარდება. უძრავ ფენაში გამოსაწვავი მასალა წინასწარ ბრიკეტირდება ან აგლომერირდება, ხოლო მღულარე ფენაში გამოწვა მასალის დანატროვნებას არ საჭიროებს.

ქლორატორის გახურება ელექტროწინალობისა (გრაფიტის ელექტროდებით) და ნაწილობრივ პროცესის დროს რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბოს ხარჯზე ხორციელდება. პროცესი 800–1000°C-ის ტემპერატურულ ზღვარში ტარდება.

მასალის უძრავი ფენის გამოწვის ქლორატორს ელექტროდების ორი წყება გააჩნია. ელექტროდების ერთი წყება ქლორატორის ძირთან არის განლაგებული, ხოლო მეორე წყება ძირიდან ქლორატორის სიმაღლის ერთ მესამედზე ჩამაგრებული. სითბო ელდენის წინალობით გამოუმავდება (დენი ელექტროდებს შორის ქლორატორში ჩატვირთული ბრიკეტების გავლით გადის).

მეორე ტიპის ქლორატორს ელექტროდების მხოლოდ ერთი წყება გააჩნია. ელექტროდები ქლორატორის სიმაღლის ერთ მესამედზეა (ძირიდან) ჩამაგრებული ფოლადის გარსაცმში და მიმართულია წინალობის ბლოკებით ამოკებული ძირისკენ. ელექტროდებიდან ბლოკებში გამავალი დენი წინალობის ხარჯზე პროცესისათვის საჭირო სითბოს გამოყოფს.

ორივე ტიპის ქლორატორი მრგვალი ფორმისაა და საკმარდ მალაღია (6მ). ქლორატორები ცეცხლგამძლე და კოროზიულად მდგრადი აგურებით ამოკებული ფოლადის ვერტიკალური გარსაც-მისგან არის დამზადებული.

ქლორატორს თავზე პერმეტულად დახურული ძაბრისებრი ყელი გააჩნია, საიდანაც მასალის ჩატვირთვა ხდება.

ორწყებიანი ელექტროდების მქონე ქლორატორი მთლიანად ივსება მასალით, ხოლო ერთწყება ელექტროდებიანი ტიპის ქლორატორში ნახშირბადის წინალობის ბლოკებს ზემოდან ეყრება მასალა. წინალობის ბლოკებისა და მათზე დაყრდნობის მასალის ფენების სისქე ერთმანეთის ტოლია.

ორივე ტიპის ქლორატორში, აირადი ან თხევადი ქლორი ძირიდან შედის სარეაქციო ზონაში. ქლორი წინასწარი გახურების შედეგად ორთქლდება და ორთქლის სახით ურთიერთქმედებს

ჩატვირთულ მასალასთან. დაქლორვის დროს 1 კგ ლითონურ ელემენტზე 1 კგ ქლორი იხარჯება. თუ სარეაქციო ზონაში ტემპერატურა უფრო დაბალია, ვიდრე წარმოქმნილი ლითონის ქლორიდის დუღილის ტემპერატურა, მაშინ ქლორიდი სითხის სახით ქლორატორის ძირიდან გამოდის. როცა წარმოქმნილი ქლორიდის დუღილის ტემპერატურა სარეაქციო ტემპერატურაზე დაბალია, მაშინ ქლორიდი ორთქლის სახით ქლორატორის ზედა გასასვლელიდან გარეთ გაედინება. ქლორატორიდან ქლორიდის ორთქლი ვერ მტვერდამტვერ კოლექტორში შედის და მტვერისგან ცალკეედება, ხოლო შემდეგ გადადის კონდენსატორში, სადაც იგივე ლითონის ქლორიდის ცივი, თხევადი მსხვერპის ზონაში ხვდება და კონდენსაციას განიცდის. კონდენსირებული თხევადი ქლორიდი კონდენსატორიდან საწდომ კოდში გადადის. კოდში გადასული თხევადი ქლორიდი მყარი ნაწილაკებისგან ცალკეედება.

1.2. დნობა

დნობა ლითონური ნედლეულიდან ფუჭი ქანის განდევნის ძირითადი პროცესია მეტალურგიულ გადამამუშავების ტექნოლოგიურ ციკლში.

დნობის პროცესში ნედლეულის გამდნარ მასაში კომპონენტების ურთიერთქმედებით სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობის და განსხვავებული ფიზიკური თვისებების მქონე შერევი ნაღობები ფორმირდება. სიმკვრივეები განსხვავებული ნაღობების თხევადი ფენები გრავიტაციით ერთმანეთისგან ცალკეედება. ნაღობის ზედა, ყველაზე მსუბუქი ფენა, რომელიც წილის სახელწოდებითაა ცნობილი, ფუჭი ქანისგან შედგება, ხოლო წილის ფენის ქვეშ შერევილი ნაღობის მძიმე ფენაში (ზოგჯერ რამდენიმე ფენა წარმოიქმნება) ლითონის (ამოსაღები ლითონის) ნაერთი ან დაუხალასებელი ლითონი გროვდება.

საღნობ ლუმელში ჩასატვირთი კაზში, როგორც წესი, მყარი მასალისგან შედგება, თუმცა, ზოგიერთი ოპერაციის დროს მასალა ნაღობის სახითაც ხვდება ლუმელში.

მასალის გასაღნობად სათბობი, ელექტროენერგია ან თვით გადასამუშავებელ ნედლეულში არსებული სითბოს წყარო, ანუ სულფიდური მინერალების წვის ეგზოთერმული რეაქციის სითბო გამოიყენება (ავტოგენური დნობის პროცესი).

ლუმელში ჩატვირთული მასალა მილიანად უნდა იყოს გამდნარი, რათა მორეაგირე კომპონენტების ძვრადობა და მათი ერთმანეთთან კონტაქტი გაადვილდეს და ნაღობებში წარმოქმნილი სხვადასხვა კუთრი წონის მქონე თხევადი ფენების გრავიტაციული განცალკევება მოხდეს. თხევად ფენებს შორის, წილის ნაღობი, რომელიც ოქსიდების რთულ შენადნობს წარმოადგენს, განსაკუთრებულ როლს თამაშობს ფერად მეტალურგიაში.

წიდა ფუჭი ქანის ოქსიდებისა და მასში სპეციალურად შეტანილი მინერალური დანამატის ანუ ფლუსისგან (მდნობისგან) ფორმირდება. ფლუსის დამატებით ადვილდნობადი წიდა წარმოიქმნება. ღენად წიდაში ლითონური ნაერთები (ლითონი) ადვილად იძირება და მის ფენის ქვეშ განლაგებულ მძიმე ფენის ნაღობში გროვდება. წილის ოპტიმალური თხელდენადობა აადვილებს აგრეთვე წილის გადმოღერას აგრევატიდან. ფუჭი ქანის კომპონენტებისა და ფასეული პროდუქტების განცალკევებაში წიდა ძირითად როლს ასრულებს.

მაღალ ტემპერატურაზე წიდაში მეტად მნიშვნელოვანი ქიმიური რეაქციები მიმდინარეობს. ამიტომ პირობეტალურგიული პროცესების თერმოდინამიკა და კინეტიკა ზოგჯერ უშუალოდ დამოკიდებულია წილის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. საწყის ნედლეულში, როგორც წესი, ფუჭი ქანის შემცველობა მაღალია, ხოლო ფასეული კომპონენტების შემცველობა დაბალი. ამიტომ ფერადი მეტალურგიის პირობეტალურგიული პროცესები წილის მაღალი გამოსავლიანობით (ზოგჯერ მდნობის მასის 100–120%-ს შეადგენს) გამოირჩევა. წილის თვისებებით განისაზღვრება მეტალურგიული წარმოების ისეთი მაჩვენებლები, როგორიცაა აგრევატების წარმოებლობა, სათბობის ხარჯვა და გადამამუშავების თვითღირებულება. ზოგიერთ პირობეტალურგიულ პროცესში წიდა დამცავი გარემოს როლს ასრულებს და მიღებულ ლითონს დაკანკისგან იცავს. მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარე ელექტროთერმულ პროცესში წილის ნაღობი წინაღობის ელემენტის როლს ასრულებს. წილის ნაღობი ზოგჯერ თხევადი ლითონების გასასუფთავებლად (მინარეებისგან) გამოიყენება. ფაზებს შორის კომპონენტების განაწილების კანონების შესაბამისად, მიმდინარე პროცესებში სულფიდებთან და დაუხალასებელ ლითონებთან შექმნილი თხევადი წიდა რაღაც რაოდენობით ყოველთვის შეიცავს ნედლეულ-

იდან ამოსაღებ ფერად ლითონებს. მიუხედავად იმისა, რომ წილაში ფერადი ლითონების შემცველობა არც ისე მაღალია (0,1-1,5%), წილებთან ერთად ფერადი ლითონების დანაკარგები მაინც საკმაოდ მნიშვნელოვანია, რაც წილების დიდი გამოსავლიანობით აიხსნება. ფერად მეტალურგიაში ნედლეულზე გაწეული ხარჯები ხშირად საერთო დანახარჯების 80-90% შეადგენს, ამიტომ საყარ წილაში ლითონის შემცირება მნიშვნელოვანი პრობლემაა ფერად მეტალურგიაში. იმ შემთხვევაში, როცა ნედლეული ოქსიდური კომპონენტების შემცველობით აუცილებელ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, მისი დნობა ე.წ. თვითდნობად წილაზე ტარდება ყოველგვარი დანამატების გარეშე. თუმცა პრაქტიკაში ასეთი შემთხვევები იშვიათია, ამიტომ საწყის მადანს ან კონცენტრატს, როგორც წესი, ემატება ფლუსი, რომელიც ლითონის ოქსიდის ან კარბონატისგან შედგება.

საილენძისა და ნიკელის წარმოებაში მფლუსავი მასალის სახით, როგორც წესი, კვარცი და კირქვა გამოიყენება. კვარცი მგავა ფლუსს წარმოადგენს და იგი ძირითადად კაუმიწისგან (SiO_2) შედგება. გარდა SiO_2 -ისა, კვარცის შემადგენლობაში შეიძლება მცირე რაოდენობით შედიოდეს სხვა ოქსიდები, მაგალითად, CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 და სხვა. ზოგიერთ კვარციტში SiO_2 -ის შემცველობა ფართო დიაპაზონში იცვლება (60-დან 95%-მდე). რაც უფრო სუფთაა მფლუსავი კვარცი, მით უფრო ნაკლებია მისი ხარჯი, საყარი წილის გამოსავლიანობა და ამოსაღები ლითონების დანაკარგები. ზოგ შემთხვევაში კვარცის ფლუსის სახით ოქროშემცველი კვარციტები გამოიყენება. ამ შემთხვევაში კვარციტებიდან ოქრო და ვერცხლი ყოველგვარი დამატებითი ხარჯების გარეშე ნედლეულის ძირითად ლითონთან ერთად თანაურად ამოიღება.

მფლუსავი კვარცი გამოიყენება მხოლოდ იმ ნედლეულის გადასამუშავებლად, რომელიც გაზრდილი რაოდენობით შეიცავს ტუტე ოქსიდებს (FeO , CaO და სხვა).

კირქვა, რომელიც ძირითადად CaCO_3 -ისგან შედგება, ტუტე ფლუსებს განეკუთვნება. კირქვის 1000°C -ზე ზევით გახურებისას იგი იშლება (დისოცირდება) და შედეგად მფლუსავი რეაგენტი - კალციუმის ოქსიდი წარმოიქმნება.

სუფთა CaCO_3 -ში CaO -ის შემცველობა 56%-ია. წარმოებაში გამოიყენება კირქვა, რომელიც 45-52% CaO შეიცავს; დანარჩენი კირქვის ოქსიდური მინარეგებია (MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 და სხვა).

კირქვა დიდი რაოდენობით გამოიყენება მაშინ, როდესაც გადასამუშავებელი კაზში გაზრდილი რაოდენობით შეიცავს კაუმიწას.

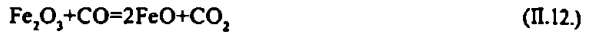
ფერად მეტალურგიაში ნედლეულის გადასამუშავებლად დნობის ორი სახეობაა ფართოდ გავრცელებული - ალდგენითი დნობა, რომელიც ერთსაფეხურიანია და ნედლეულიდან (მადანი, კონცენტრატი) პირდაპირ ლითონური პროდუქტის (დაუხალასებელი ლითონი) მიღების შესაძლებლობას იძლევა, და - ორსაფეხურიანი დნობა, სადაც დნობის პირველ საფეხურზე, ნედლეულიდან შუალედური პროდუქტი ე.წ. შტიინი (ინგლისურად - matte) მიიღება (დნობის პირველი საფეხური, შტიინზე დნობის სახელწოდებით არის ცნობილი), ხოლო მომდევნო საფეხურზე განგვითი დნობით (იგი კონვერტირების სახელწოდებით არის ცნობილი) დაუხალასებელი ლითონის მიღება ხორციელდება.

ალდგენითი დნობის დროს გადასამუშავებელი კაზში მილიანად ოქსიდებისგან უნდა იყოს შედგენილი. თუ საწყისი მასალა სულფიდურია, მაშინ აუცილებელია ნედლეულის წინასწარი ფანგვითი გამოწევის გზით მთელი გოგირდის სრულად დაყანგვა. ლუმელში შექმნილი აღმდგენი ატმოსფეროს პირობებში (აღმდგენი ატმოსფერო დამზარე რეაგენტის მეშვეობით მყარდება, მაგალითად ნახშირბადით), ოქსიდების ნარეგებისგან შემდგარი კაზმის დნობის დროს უპარატესად ამოსაღები ლითონის ოქსიდის ალდგენა ხდება, ვინაიდან იგი კაზმში შემავალ დანარჩენ ოქსიდებთან შედარებით ალდგენის უფრო მაღალი ხარისხით გამოირჩევა. ალდგენილი ლითონური ნადნობის მიძიმე თხევადი ფენა ლუმელის ფსკერზე გროვდება, ხოლო ფუჭი ქანის ოქსიდები ალდგენის რეაქციაში მონაწილეობას არ იღებს და წილის ფენას წარმოქმნის. ალდგენითი დნობის მაგალითად შეიძლება მოყვანილ იქნეს ნედლეულიდან ტყეის, კალის და სხვა ლითონების მიღების პროცესები.

შტიინზე დნობა ძირითადად საილენძისა და ნიკელის სულფიდური ნედლეულის გადასამუშავებლად გამოიყენება და იგი საკმაოდ განსხვავდება ალდგენითი დნობისგან.

საილენძის სულფიდური მადნებისა და კონცენტრატის პრომეტალურგიული გადასამუშავება შეიძლება ორი გზით განხორციელდეს. პირველი ალდგენითი დნობას ითვალისწინებს და ამიტომ

წინასწარ თანავითი გამოწვით ნელლუკლიდან გოგირდი სრულად განიღვრება (იჟანგება), გოგირდის განღვრებასთან ერთად სპილენძი და რკინა ოქსიდურ ფორმაში გადადის. მომდევნო ეტაპზე, გამოწვის პროდუქტის (ნაშენის) აღდგენითი დნობით გადაამუშავების შედეგად სპილენძი ლითონური პროდუქტის სახით მიიღება, ხოლო რკინის ოქსიდი (Fe_2O_3), ძირითადად ვიუსტიტამდე (FeO) აღდგენას განიცდის:



რკინის ოქსიდი ფუჭი ქანთან და ფლუსის ოქსიდებთან ერთად წარმოქმნის წიდას, რომელიც გადაიყრება.

ერთი შეხვედრით, სპილენძის მიღების ეს ხერხი მარტივი და ბუნებრივია. ამიტომაც, აღდგენითი დნობა წარმოადგენდა სპილენძის მადნების გადაამუშავების ერთადერთ ხერხს მე-18 და მე-19 საუკუნეებში. თუმცა, მთელი რიგი ნაკლოვანებების გამო, აღდგენითი დნობის გამოყენება სპილენძის მადნებისა და კონცენტრატების გადასამუშავებლად შეწყდა. ამჟამად აღდგენითი დნობასთან მახლოვებული პროცესი გამოიყენება მხოლოდ სპილენძის მეორადი ნელლუკლის (ჯერათი, წარმოების ზოგიერთი ნარჩენები) გადასამუშავებლად. მნიშვნელოვან ნაკლოვანებებს შორის პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს აღდგენითი დნობის შედეგად მიღებული სპილენძის ძალზე დაბალი ხარისხი. დნობის შედეგად მიღებული „შავი სპილენძი“ 20%-მდე რკინასა და სხვა მინარევებს შეიცავს.

როგორც შეტალურგიული პროცესების თეორიიდან არის ცნობილი, გამდნარი სპილენძის გარემოში რკინის აღდგენის გააღვივებული პირობები იქმნება. შავი სპილენძის რაფინირება დიდი რაოდენობის მინარევებისაგან რთული და ძვირადღირებულია. გარდა ამისა, რაფინირების დროს დიდი რაოდენობის სპილენძი იკარგება. ლითონურ სპილენძთან წონასწორობაში მყოფი წიდა ზედშეტად მდიდრდება სპილენძით, რაც სპილენძის გამოსავლიანობას სასაქონლო პროდუქტის სახით ამცირებს. დნობის დროს დიდი რაოდენობით იხარჯება დეფიციტური ოქსი.

მეორე მეთოდი, რომელმაც აღდგენითი დნობა შეცვალა და რომელიც სპილენძის თანამედროვე მეტალურგიაში ფართოდაა გავრცელებული, სულფიდური ნელლუკლის (სულფიდური მადნის ან სულფიდური კონცენტრატის) დნობას ითვალისწინებს ყოველგვარი აღმდგენის გარეშე.

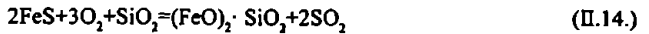
დნობის შედეგად სულფიდური ნელლუკლის ნაღობი თავისთავად ორ თხიერ ფენად იყოფა. ერთი მათგანი სულფიდების შენადნობს წარმოადგენს და იგი შტეინის (გერმ. — Stein, ძირითადი მნიშვნელობა — ქვა) სახელწოდებითაა ცნობილი, ხოლო მეორე წიდაა, რომელიც ფუჭი ქანის ოქსიდებისაგან ფორმირდება. ფენებად დაყოფა (თხევადი მასის ფენებად განშრევა) სიმკვრივეების სხვაობითა და სულფიდებისა და ოქსიდების ერთმანეთში დაბალი ხსნადობით ახსნება. შტეინის კუთრი წონა 5-ია, იგი ღუმულის ფსკერამდე ჩადის და თხვევადი ფენის სახით იქ კრთვდება, ხოლო ოქსიდური ნაერთებისგან წარმოქმნილი წიდა (კუთრი წონა 3-ია) თხვევადი ფენის სახით შტეინის ნაღობის ზედაპირზე იწყებს ტივტივს. ჯერ კიდევ სულფიდური ნელლუკლის გადნობამდე მასში შემავალი სპილენძისა და რკინის მინერალები ტემპერატურის ზემოქმედებით მყარ მდგომარეობაში იშლება (რეაქცია II.3., II.4., II.5.), რის შედეგადაც მარტივი სულფიდები და აირადი გოგირდი წარმოიქმნება. სპილენძისა და რკინის მარტივი სულფიდები მდგრადობას ინარჩუნებს შედარებით მაღალი ტემპერატურამდე. აქედან გამომდინარე, მიუხედავად ნელლუკლში შემავალი სულფიდების მინერალური ფორმისა, გამდნარ შტეინში სპილენძისა და რკინის სულფიდები ყოველთვის Cu_2S -ის და FeS -ის სახით იქნება წარმოადგენილი.

ფუჭი ქანი (SiO_2 , CaO , Al_2O_3) დნობის დროს გადადის წიდაში, რომელიც ადვილად ცალკეეება შტეინისგან და განიღვრება.

იმისათვის, რომ ფუჭი ქანთან ერთად რკინის შეწივაც მოხდეს, იგი ჯერ სულფიდთან ოქსიდის ფორმაში უნდა გადავიდეს, მაგალითად სულფიდის ჰაერის თანგებადთან ურთიერთქმედების გზით:



ხოლო შემდეგ, წარმოქმნილი რკინის ოქსიდის კაემინასთან (SiO_2) ურთიერთქმედებით რკინის შეწივაც მოხდება. ჯამური რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:



ჟანგვის პროცესში Cu_2S -იც შეიძლება დაიჟანგოს:



თუმცა, ვინაიდან სპილენძის სულფიდი უფრო მდგრადია, ვიდრე რკინის სულფიდი და ამასთან, სპილენძთან შედარებით, რკინის ნათესაური კავშირი ჟანგბადთან უფრო ღიძია, სპილენძის თანამედროვე პროდუქტურების ძირითადი რეაქტივის მეშვეობით სპილენძის ოქსიდი სულფიდირებას განიცდის და ისევ სულფიდში გადადის (დაჟანგვის პროცესში სპილენძის ოქსიდის სულფიდირება არ შეწყდება მანამ, სანამ რკინის სულფიდი მთლიანად არ დაიჟანგება):



რეაქტივის (II.16.) სისწრაფის წყალობით სპილენძი სულფიდის სახით რჩება და მთლიანად შტეინში კონცენტრირდება, ხოლო რკინა მნიშვნელოვანწილად შტეინიდან წიდაში გადადის და შედეგად სპილენძის შემცველობა შტეინში იზრდება.

ამრიგად, სპილენძის სულფიდური ნელეულის უბრალო გაღობაც კი სპილენძის კონცენტრირების (შტეინში) შესაძლებლობას იძლევა.

ღნობის დროს შტეინში სპილენძის კონცენტრაციის ხარისხი სულფიდური რკინის ჟანგვის სისრულით, ანუ გოგირდის ამოწვის ხარისხით ან დესულფურიზაციის ხარისხით განისაზღვრება; დესულფურიზაციის ხარისხი დაჟანგული გოგირდის წონით რაოდენობის ფარდობა საწყის ნელეულში შემავალი გოგირდის წონით რაოდენობასთან, და იგი პროცენტებში ან ერთეულ წილებში გამოისახება.

ნელეულიდან გოგირდის ნაწილი შეიძლება განიდევნოს ღნობის წინ ჟანგვითი გამოწვით, რომელიც, როგორც წესი, გოგირდით მდიდარი ნელეულის გადაშუშვების დროს გამოიყენება.

თუ ნელეულის გამოწვის ან ღნობის პროცესში რკინის სულფიდი ბოლომდე დაიჟანგება, მაშინ რკინის მთლიანი რაოდენობა წიდაში გადავა და შტეინის შემადგენლობა სუფთა Cu_2S -ის (79,9%Cu) შემადგენლობას მიუახლოვდება. ასეთი შტეინი „თეთრი შტეინის“ სახელწოდებით არის ცნობილი (დასაუღეთის ქვეყნებში კი ამ შემადგენლობის შტეინი „თეთრი ლითონის“ სახელს ატარებს). იმ შემთხვევაში, თუ ღნობის პროცესში თეთრი შტეინის (Cu_2S) დაჟანგვაც ვაგრძელებდა ჰაერის ჟანგბადით, მაშინ სპილენძის ქვეჟანგის წარმოქმნა დაიწყება (რეაქცია II.15.). წარმოქმნილი სპილენძის ქვეჟანგი დაუჟანგავ სპილენძის სულფიდთან იწყებს ურთიერთქმედებას და შედეგად ლითონური სპილენძი წარმოიქმნება:



სპილენძის ნელეულის შტეინზე ღნობისას, წიდასა და შტეინის განცალკევების პროცესში, შტეინის წერილი წვეთების არასრული დაწდობის გამო სპილენძის მცირე რაოდენობა მექანიკურად მიჰყვება წიდას და იკარგება. წიდას რაოდენობა გაცილებით მეტია შტეინის რაოდენობაზე და ამიტომ წიდაში სპილენძის პროცენტული ზრდა სპილენძის დიდი რაოდენობით კარგავს გამოიწვევს (საყარ წიდაში სპილენძის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,3–0,5%-ს). გარდა ამისა, შტეინში სპილენძის შემცველობის გაზრდით, როგორც წესი, წიდაში იზრდება სპილენძის შემცველობა. ამასთან დაკავშირებით მეტალურგიაში დამკვიდრდა გამოთქმა – „რაც უფრო მდიდარია შტეინი სპილენძით, მით უფრო მეტია წიდაში სპილენძი“. აქედან გამომდინარე, უშუალოდ მდნის ან კონცენტრატის ღნობის დროს თეთრი შტეინის მიღება არ არის მიზანშეწონილი. ამიტომ თავდაპირველად შედარებით ღარიბი შტეინისა (20–40%Cu) და შესაბამისად მცირე რაოდენობისა და სპილენძის შემცველობით ღარიბი წიდას მიღება უფრო ხელსაყრელია, რადგანაც საყარ წიდასთან ერთად უფრო ნაკლები სპილენძი დაიკარგება.

პრაქტიკაში, როგორც წესი, შტეინის გადაშუშვებაც ვრძელდება ღნობის მეორე საფეხურზე, რომელზეც ჟანგვითი ღნობის სახეობა გამოიყენება. სპილენძის მეტალურგიაში ღნობის ეს პროცესი კონვერტირების (კონვენტირება, ინგლისურად Converting. გარდაქმნის ნიშნავს) სახელწოდებითაა ცნობილი. პროცესი ფოლადსაღნობ წარმოებაში გამოყენებულ ბესმერის კონვერტერის მსგავს

აპარატში ტარდება. კონვერტერში შტეინი თხევად მდგომარეობაში იხსნება. კონვერტირების პროცესი ორი სტადიისაგან შედგება. პირველ სტადიაზე კონვერტერში ჩასხმულ შტეინში, ჰაერის შებურვითა და ფლუსის (SiO_2) შეტანით (რეაქცია II.14.) შტეინიდან რკინა წილის სახით მთლიანად განიღვნება (განიღვნება აგრეთვე აირადი SO_2 -ის სახით რკინასთან შეკრული გოგირდი), და შტეინი თეთრ შტეინად გარდაიქმნება. მეორე სტადიაზე თეთრ შტეინში ჰაერის შებურვით სპილენძთან შეკრული გოგირდი აირადი SO_2 -ის სახით განიღვნება და თეთრი შტეინი დაუხსალსებელ სპილენძად (რუსულად – черновая медь; ინგლისურად – blister copper) გარდაიქმნება (რეაქციები II.15., II.17.).

დაუხსალსებელი სპილენძი საკმაო რაოდენობის მინარევებს შეიცავს და ამიტომ შემდგომ ეტაპზე აუცილებელია მისი რაფინირება (მინარევებისგან გასუფთავება).

განსხვავებით შვეი სპილენძისგან, რომელიც აღდგენითი დნობით მიიღება, შტეინიდან მიღებული დაუხსალსებელი სპილენძი გაცილებით სუფთაა (98,5–99,5% Cu) და მისი რაფინირება უფრო გაადვილებული და იაფია.

დნობის ამ სახეობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ფერად მეტალურგიაში, ეინადან სულფიდური მადნები სპილენძის, ნიკელის, ტყვიისა და სხვა ლითონების ძირითად წიაღისეულ ნედლეულს წარმოადგენს. სამრეწველო შტეინები რამდენიმე სულფიდის ხსნარს წარმოადგენს. მაგალითად, სპილენძის შტეინი, როგორც მინიმუმი, შედგება ორი სულფიდისგან: FeS და Cu_2S -გან, სპილენძნიკელის შტეინი რკინის, სპილენძის, ნიკელისა და კობალტის სულფიდების შენადნობა. სპილენძტყვიის შტეინი შედგება FeS, Cu_2S , PbS და ZnS-გან. შტეინზე მხოლოდ გოგირდით მდიდარი ნედლეულის გადამუშავება შესაძლებელია.

განსაკუთრებულ სიძნელეთანაა დაკავშირებული ოქსიდებიდან მსუბუქი ლითონების (ალუმინი, მაგნიუმი და სხვა) ნახშირბადით აღდგენის პროცესები. ფანგბადთან ღიდი ნათესაური კავშირის გამო ამ ლითონების ოქსიდების დისოციაციის დრეკადობა ძალზე დაბალია. აქედან გამომდინარე, მათი აღდგენა ნახშირბადით შესაძლებელია მხოლოდ ძალიან მაღალ ტემპერატურებზე. ეს ტემპერატურები, როგორც წესი, ამ ლითონების დუღილის წერტილებზე მაღალია. ამიტომ აღდგენის პროცესში ლითონები ორთქლის მდგომარეობაში გამოიყოფა.

აღდგენის პროცესში გაძნარ ან მყარ მდგომარეობაში გამოყოფილი ლითონები სწრაფად და ადვილად ცალკევდება რეაქციის აირად პროდუქტებისგან და ვაცივების დროს ნაკლებად განიცდის უკუდაფანგავს, რაც მათი პატარა ზედაპირიდან და ფანგბადთან მცირედი ნათესაური კავშირიდან გამომდინარეობს. ასეთ მაგალითს ტყვიის ნახშირბადით აღდგენის პროცესი წარმოადგენს (ტყვიის აღდგენა მისი დუღილის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ხდება)

თუ აღდგენის პროცესში ლითონი ორთქლის სახით გამოიყოფა, მაშინ ნახშირბადის აირადი ოქსიდებისგან ორთქლის განსაცალკეებლად აუცილებელია მისი ვაცივება ნამის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურამდე. მაგრამ აირ-ორთქლის ნარევის ტემპერატურის დაწვევა წონასწორობაზე უფრო დაბალ ტემპერატურამდე, ლითონის ორთქლის დაფანგვას იწვევს. იმ შემთხვევაში, როცა ნამის წერტილი მახლობელია წონასწორობულ ტემპერატურასთან, რომლის დაბლაც დაფანგვა იწვევს, დაფანგვის სიჩქარე დიდ სიღრმეებს ვერ აღწევს და ლითონის კონდენსაციის დროს ლითონის უკუდაფანგვა ნაკლებად ხდება. მაგალითისთვის თუთიის აღდგენის პროცესის მოყვანა შეიძლება. აღდგენის პროცესში თუთია ორთქლის მდგომარეობაში გამოიყოფა. თუთიის ოქსიდისა და ნახშირორთქლის დისოციაციის დრეკადობები (ნორმალურ წნევაზე) დაახლოებით 950°C -ზე ერთმანეთს უტოვდება, ხოლო ნამის წერტილი იგივე პირობებში მხოლოდ ათეული გრადუსითაა უფრო დაბალი. ამიტომ კონდენსაციის დროს თუთიის ორთქლის მხოლოდ მცირე ნაწილი გადადის ოქსიდში.

მაგნიუმის ოქსიდის ნახშირბადით აღდგენის დროს წონასწორობული ტემპერატურა, რომლის დაბლაც დაფანგვის რეაქცია ვითარდება, დაახლოებით 1900°C -ს შეადგენს, ხოლო იგივე პირობებში მაგნიუმის ნამის წერტილი 1000°C -ზე მნიშვნელოვნად უფრო დაბალია. მაშასადამე, მანამ, სანამ მაგნიუმის ოქსიდის ნახშირბადით აღდგენის რეაქციის პროდუქტების განცალკეების შესაძლებლობა შეიქმნება, აუცილებელია, გახურებული პროდუქტების ტემპერატურების ერთდროული შემცირება 1000°C -ით. თუმცა, პროდუქტების 1900°C -ზე უფრო დაბალ ტემპერატურამდე ვაცივების დროს მაგნიუმის ოქსიდის ორთქლის დრეკადობა ნახშირორთქლის დისოციაციის დრეკადობაზე ნაკლები ხდება ($P_0, \text{MgO} < P_0, \text{CO}$), რეაქციის პროდუქტები სწრაფად ურთიერთქმედებენ და მაგნიუმის ორთქლი

ისე იქნება ნახშირორჟანგით. რეაქციის პროდუქტების სწრაფი უკუერთიერთქმედების თავიდან აცილების მიზნით სხვადასხვა ხერხი გამოიყენება; მაგალითად, მათი გაზავება ნეიტრალური აირით, მკვეთრი გაცივება იმ ტემპერატურამდე, რომელზეც რეაქციის პროდუქტების ურთიერთქმედება უმნიშვნელოა, ალდგენილი ლითონის ორთქლის შთანთქმა სხვა თხევადი ლითონით.

იმ შემთხვევაში, თუ მაგნიუმის აღსადგენად არანახშირბადოვანი ალდგენი გამოიყენება (მაგალითად, ლითონი) და ალდგენის პროდუქტებში ორთქლის სახით მხოლოდ მაგნიუმი იქნება წარმოდგენილი:



მაშინ პროცესის პრაქტიკული განხორციელება მნიშვნელოვნად გაადვილება, რადგანაც ამ შემთხვევაში გამოირიცხვება ის გართულებები, რომლებიც თან ახლავს მაგნიუმის ნახშირბადით ალდგენის პროცესს, თუმცა, ლითონური ალდგენის შერჩევა ავდილ ამოცანას არ წარმოადგენს.

ამა თუ იმ ლითონით ალდგენის შესაძლებლობა დამოკიდებულია ალდგენის ნათესაურ კავშირზე ყანგბადთან. იგი ოქსიდის წარმოქმნის თავისუფალი ენერჯიის სიდიდით იზომება. ოქსიდთან მაგნიუმის სხვა ლითონით ალდგენა მაშინ არის შესაძლებელი, როდესაც ალდგენი ლითონის ოქსიდის წარმოქმნის თავისუფალი ენერჯია უფრო მეტია, ვიდრე — მაგნიუმის ოქსიდისა. დაბალ ტემპერატურებზე, სხვა ლითონების ოქსიდების წარმოქმნის თავისუფალ ენერჯიებთან შედარებით, მაგნიუმის ოქსიდის წარმოქმნის თავისუფალი ენერჯია გაცილებით დიდია, ამიტომ ასეთ პირობებში მაგნიუმი მხოლოდ სხვა ლითონების ოქსიდების აღმდგენად შეიძლება გამოდგეს და არა — პირიქით. მხოლოდ მაღალ ტემპერატურებზე იქმნება მაგნიუმის ალდგენის შესაძლებლობა ალუმინისა და სილიციუმის მეშვეობით. ამასთან, მაგნიუმის ოქსიდის სილიციუმით ალდგენა ნორმალურ წნევაზე იწყება არანაკლებ 1750°C-ზე. რკინით ალდგენა კი პრაქტიკულად შეუძლებელია.

მაგნიუმის ალუმინით ალდგენა არ არის მიზანშეწონილი ალდგენის სიძვირის გამო. ამიტომ ალუმინი, როგორც ალდგენი, მაგნიუმის წარმოებაში არ გამოიყენება.

პრაქტიკაში გამოიყენება მაგნიუმის სილიციუმით ალდგენა, რომელიც უფრო დაბალ ტემპერატურებზე მიმდინარეობს, ვინაიდან ამ რეაქციის განხორციელების დროს წარმოქმნილი კაჟმიწა (SiO₂) ურთიერთქმედებს სხვა ოქსიდებთან და სილიკატებს წარმოქმნის, რასაც თან ახლავს თავისუფალი ენერჯიის იმ სიდიდით კლება, რომელიც 2MgO·SiO₂-ისა და სხვა სილიკატების წარმოქმნას შეესაბამება.

სულფიდური ნედლეულის პირობეტალურგიულ გადამუშავებაში განსაკუთრებულ ადგილს იკავებს ე.წ. ავტოგენური დნობის პროცესი, ანუ პროცესი, რომელშიც დნობა წარიმართება ნედლეულში არსებული სითბოს წყაროს გამოყენებით. სითბო სულფიდების ჟანგვის (წვის) შედეგად გამოიყოფა.

სულფიდების ჟანგვის პროცესი — ჰეტეროგენული ეგზოთერმული პროცესი, დიდი რაოდენობის სითბოს გამოყოფით ხასიათდება. სითბო გამოიყოფა ქიმიური რეაქციის ზონაში — აირისა და თხევადი (მყარი) სულფიდის ზედაპირის გაცოფის საზღვარზე.

სულფიდების უნარი, რომელიც მათი ჟანგვის დროს მნიშვნელოვანი რაოდენობის სითბოს გაცემასთანა დაკავშირებული, პირობეტალურგოლ პროცესებში გამოიყენება. მთელ რიგ ტექნოლოგიურ ოპერაციებში სულფიდების ჟანგვა და მასალის დნობა ავტოგენურ კანსხვერად ავტოგენურ რეჟიმში, ანუ სათბობის გამოყენების გარეშე ამ ნახშირბადიანი სათბობის მინიმალური ზარჯით ხორციელდება. ამა თუ იმ რეჟიმში დნობა ნედლეულში შემაჯავლი გოგირდის რაოდენობაზე დამოკიდებული. გოგირდით მდიდარი ნედლეული ავტოგენურ დნობას ექვემდებარება, ხოლო საშუალო გოგირდიანი ნედლეული ნახვერად ავტოგენურ დნობას განიცდის. სათბობის გამოყენების გარეშე სულფიდური ნედლეულის დნობის დროს (ავტოგენური დნობა) წარმატებული აირების საერთო მოცულობა 5—10 ჯერ მეტრდება, რის გამოც გოგირდის ანჰიდრიდის კონცენტრაცია აირებში მნიშვნელოვნად იზრდება. გოგირდის ანჰიდრიდით მდიდარი აირიდან კი გოგირდის ან გოგირდმჟავას წარმოება მომჭებანი ხდება. სულფიდების მჟანგავ რეაგენტად ჰაერი, ყანგბადით გამდიდრებული ჰაერი ან ტექნიკური ყანგბადი გამოიყენება.

ნედლეულის დნობა სხვადასხვა ტიპის ლუმელში ხდება.

ალდგენითი დნობის ჩასატარებლად ნებისმიერი ტიპის ლუმელის გამოყენება შეიძლება, თუმცა, პრაქტიკაში, როგორც წესი, შახტური ლუმელები ან ელექტროლუმელები იხმარება. შტინზე დნობის დროს გამოშვებული სულფიდური ნედლეული (ნამწვი) ამრეკლ (ალქედ), ელექტრო ან შახტური

ტიპის ლუმენებში დნება, ხოლო ნედლი სულოფიდური კონცენტრატის დნობა ამრეკლ, ელექტრო და სხვადასხვა სახის ავტოგენური დნობის ლუმენებში ტარდება.

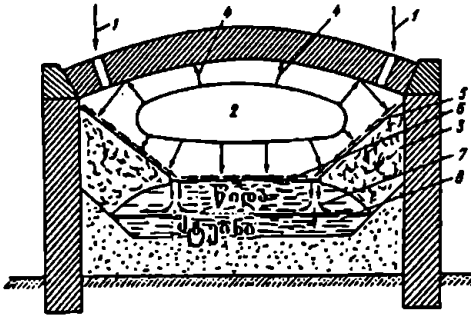
1.2.1 ნედლეულის ხაღნობა ლუმენებში

ამრეკლი ლუმენი ფლოტაციური ფუნქციონისებრი კონცენტრატის შტეინზე დნობის დროს გამოიყენება. ლუმენში პროცესი მღორედ მიმდინარეობს, რაც ამცირებს ფუნქციონისებრი მასალის გატანას წარმატებით. ლუმენი სწორკუთხა ფორმისაა, მის დაბალი ქვედი და თაღოვანი კამარა აქვს. მისი სიგრძე დაახლოებით ოთხჯერ მეტია სიგანეზე (სიგრძე 30,5-36,6, ხოლო სიგანე 7,5-10,6მ ზღვრებში მერყეობს). ლუმენში მაღალი ტემპერატურისა და მასში გადნარი მასალის მაკროზირებელი ზემოქმედების გამო ლუმენის ცეცხლგამძლე ამონაგის შერჩევის საკითხს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ლუმენის კამარა ნაღნობიდან გამოსხივებული სითბოს, სათბობის წვის მასხალისა და მტვერშემცველი ცხელი აირების ზემოქმედებას განიცდის. ამიტომ იგი ლუმენის ყველაზე სასასუხისმგებლო ულუმენტს წარმოადგენს. კამარა შეიძლება იყოს განზრახვნიანი, რომელიც თიხამიწა აგურისგან მზადდება და ჩამოკიდებული ტიპის, რომელიც მაგნეზიტის აგურიდან არის აგებული.

ჩამოკიდებული ტიპის კამარის ასაგებად უფრო მეტი აგურია საჭირო და იგი, როგორც წესი, დიდი ზომის ლუმენებში გამოიყენება. ლუმენის ქვედი და კედლები თიხამიწა აგურით არის ამოვებული, ხოლო წიფის წარმოქმნის ზოლში ლუმენის გარშემო მაგნეზიტის აგურებია ჩაყოლებული. ლუმენის გვერდებზე ძირიდან ამომავალი ფოლადის ვერტიკალური ბიგები შეერთებულია ლუმენის თავის გასწვრივ განლაგებულ ჰორიზონტალურად შეკრულ ძელებთან, რაც ლუმენის მთლიან აგრეგატს სიმყარეს აძლევს.

ამრეკლი ლუმენი ძირითადად დნობისთვის არის განკუთვნილი. მასალის დნობა ლუმენის განივ კედელში მოწყობილი სათბობის საწვავი სისტემიდან მიწოდებული სითბოთი ხორციელდება. ლუმენში სხვადასხვა სახის სათბობი (დაქუცმაცებული ქვანახშირი, ბუნებრივი აირი და მანუთი) გამოიყენება. სათბობის წვის მასხალია ლუმენის სიგრძის ნახევარამდე ვრცელდება. წვის მასხალიდან გამოსხივებული სითბოს ერთი ნაწილი (სურ.11.8.) ქველზე დადებულ მასალას პირდაპირ გადაეცემა. ხოლო სითბოს მეორე ნაწილი ლუმენის კამარისა და გვერდითი კედლებისაკენ მიემართება და იქიდან არეკლით ქველზე დადებულ მასალას გადაეცემა (ამიტომაც შეარქვეს ლუმენს ამრეკლი ლუმენი). ლუმენის ტემპერატურა სათბობის წვის ბოლოში 1600°C-ია, ხოლო წარმატებით აირების

ტემპერატურა 1200°C-მდე აღწევს. დიდი რაოდენობის სითბოს გადამტანი აირები სითბოს არინების მიზნით ბოილერში ან სითბოს მომცვლის აგრეგატში შედის. აირებისგან მტერის განცალკევება აირების მტერის კოლექტორებში გაყლის დროს ხდება. ლუმენში მასალის ჩატვირთვა მისი ორივე გვერდის ნაპირების თავზე განლაგებული ზერელების საშუალებით ხორციელდება. მასალა ლუმენის შიგა გრძივი მხარის გასწვრივ იყრება, სადაც ვახურებისა და გადნობის შემდეგ ნაღნობის სახით ქვედის აბზანაში ჩაედინება. შტეინი წიფის მსუბუქი ნაღნობის ფენის ქვეშ გროვდება და ფორმირდება. შტეინი პეროდულად გადმოედინება ნაღნობის სახით ლუმენის გვერდებზე მოთავსებული გამოსაშვები ზერელიდან, წიდა კი უწყვეტ ნაკადად მოედინება ლუმენის საკეპლე მილის მხრიდან. ლუმენში, როგორც გამომწვარი ნედლეული (ნამწვი), ასევე ნედლი კონცენტრატის იტვირთება. საცეცხლე მასხალის ეანგბადით



სურ.11.8. კაზმის დნობის სქემა ამრეკლი ლუმენის გვერდებზე.

1 კაზმის ჩასატკროთ; 2 სათბობის წვის ცხელი მასხალია; 3. ხაკაზე გვერდობება; 4. მასხალიდან თბოგამოსხივების მასხალდება; 5. კაზმის ზედაპირული გადნარი ფენის ჩამონადენი; 6. ნაღნობის მსუბუქი ფრაქცია; 7. რენის თქმადითა და სულფიდებით გამდიდრებული ფრაქცია; 8. შტეინის ფაზა.

გამდირება ზრდის ღუმელის მწარმოებლობას და ამცირებს სათბობის ხარჯს ერთ ტონა ჩატვირთულ მასალაზე.

მასალის შეტყვებულ მდგომარეობაში დნობის ღუმელი მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ დაშუშავდა დიდი რაოდენობის შტეინის გამოდნობის მიზნით. დნობის პროცესი ავტოგენურ რეჟიმში მიმდინარეობს და ეგზოთერმული რეაქციის სითბო მასალის დნობასა და სარეაქციო ტემპერატურის შენარჩუნებას უზრუნველყოფს.

გამომშრალი ფხვიერი კონცენტრატისა და ფლუსისგან შემდგარი კაზმი ღუმელის სარეაქციო ცხელ ზონაში შეფრქვევას ექვემდებარება, სადაც იგი ცალკე შებერილი ჟანგბადის ან წინასწარ გახურებული ჰაერის ნაკადთან ურთიერთქმედებით რკინის სულფიდის ხარჯზე აალებას იწყებს.

რეაქციის შედეგად დიდი რაოდენობის სითბო გამოიყოფა და რკინის სულფიდი ნაწილობრივ იფანტება. რეაქციის სითბო კაზმის წვრილმარცვლოვან ნაწილაკებს ადნობს და მთელი მასალა გამდნარი წვეთების წვიმის სახით ღუმელის ქველში ჩადის, სადაც უმაღლეს შტეინისა და წილის ფენებად იყოფა. წიდა რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი რკინის ოქსიდის, სილიკატური ფლუსისა და ფუჭი ქანისგან ფორმირდება და ნაღობში შტეინისგან განცალკევებულ ზედა მსუბუქ ფენაში გროვდება.

ღუმელიდან გამოსული SO_2 -ით მდიდარი (18%) აირები გოგირდმჟავას ან თხევადი SO_2 -ის წარმოებაში გამოყენება. აირებით გამოტანილი დიდი რაოდენობის სითბო ბოილერებში აირინება, ხოლო აირების მტვერი კოლექტორებში გროვდება.

მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობისას ძირითადად ორი ტიპის ღუმელი გამოიყენება. ერთი მათგანი სტანდარტული ამრეკლი ღუმელისგან იმით განსხვავდება, რომ მასში კაზმის შეტანა ღუმელის ორივე ბოლოში განლაგებული წვეის სისტემებიდან შეფრქვევით ხდება და ამიტომ მას სპეციალური ჩასატვირთი ხერხები არ გააჩნია. აირების გამოსვლა ღუმელის ცენტრში მოთავსებული საკვამლე მილიდან ხორციელდება. შტეინი ღუმელის ერთი მხრიდან, ხოლო წიდა მოპირდაპირე მხრიდან გამოდის. ღუმელის ამონაგი ისეთივე ცეცხლგამძლე მასალას წარმოადგენს, როგორც ჩვეულებრივ ამრეკლ ღუმელში გამოიყენება.

მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის მეორე ტიპის ღუმელი, რომელიც ოუტო-კუმასს (ფინეთი) სახელწოდებით არის ცნობილი, ორი ვერტიკალური შახტისა და მათ შორის განლაგებული გრძელი ქვედისგან შედგება. ქვედის ერთი ბოლო სარეაქციო შახტს უერთდება, ხოლო მეორე ბოლო აირების გასასვლელ შახტთან არის დაკავშირებული. ჩასატვირთი მასალა საგულდაგულოდ გამოშრალი კონცენტრატისა და ფლუსისგან შემდგარი კაზმის სახით შახტის სათაიდან ცხელ სარეაქციო ზონაში შეიფრქვევა, სადაც ჟანგბადის ან წინასწარ გახურებული ჰაერის ნაკადთან შეხებისას უმაღლეს აალებება და თხევად წვეთებად გარდაიქმნება. გამდნარი მასალის წვეთები ღუმელის გრძელ ქველში ჩაედინება და ნაღობის სახით გროვდება. ნაღობი შტეინისა და წილის ფენებად იყოფა. აირები ღუმელის სარეაქციო შახტის მოპირდაპირე მხარეზე მდგარ შახტიდან გადის. ქვედის ზონიდან ვასელისთანავე აირის ნაკადი მკვეთრად იცვლის მიმართულებას ($90^{\circ}C$ -ით), რის გამოც სარეაქციო ზონიდან აირით წატაცებული თხევადი წვეთები თავისუფლდება აირის ნაკადიდან და ქვედის აბაზანაში ეშვება.

ქვედიდან შტეინი და წიდა, შესაბამისად, სარეაქციო შახტისა და საკვამლე შახტის მხრიდან გადმოვიდნება. ღუმელის სარეაქციო შახტი და ქვედი მაგნეზიტიური მასალით არის ამოვსებული.

ელექტროდმქველი როგორც ალდგენითი დნობის, ასევე შტეინზე დნობის დროს გამოიყენება. ალდგენით დნობისა და მცირე რაოდენობის შტეინის გამოდნობის დროს ძირითადად გამოიყენება მიმართულ-რკალიანი ჩვეულებრივი ელექტროღუმელი, რომელსაც დენგაუმტარი ქვედი გააჩნია.

დიდი რაოდენობის შტეინის გამოსადნობად უფრო ხშირად გამოიყენება ჩამირულ-რკალური ტიპის წინააღობის მართკუთხა ღუმელი, რომელშიც რიგში ჩაყენებული 6 ელექტროდი სამ წვეი-ლადა დაფოფილი და ინდივიდუალურად არის ჩართული.

მიმართულ-რკალიანი ელექტროღუმელში ჩატვირთული მასალა, ძირითადად, ელექტროდსა და მასალას შორის წარმოქმნილი რკალიდან გამოსხივებული სითბოთი ხურდება და დნება. სითბოს ნაწილი გამოიყოფა აგრეთვე დენის მასალაში გადენის დროს. უმეტეს შემთხვევაში, გამოიყენება სამფაზიანი ტიპის ღუმელი (ყოველი ელექტროდი განცალკევებულად არის ფაზასთან ჩართული).

წინაღობის ღუმელში ელექტროდები წილის ფენაში იძირება. წილაში ჩაფლულ წვეილ ელექტროდებს შორის ღენის გავლისას წილის წინაღობით გამოიყოფა სითბო, რომლითაც ღნობის ტემპერატურა ვითარდება.

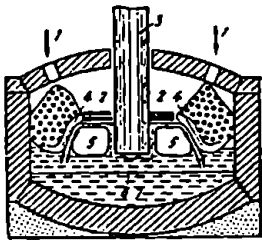
რაც უფრო ნაკლებადა ჩაძირული ელექტროდი თხევად წილაში, მით უფრო დიდი რაოდენობის სითბო გამოიყოფა წილის ზედა ნაწილში და ღნობის პროცესი უზგოებსდება. ღუმელში ახლად ჩატვირთულ მყარ მასალას, რომელიც წილის ზედაპირზე ტვიტეიებს, წილასთან კონტაქტის შედეგად სითბოს მხოლოდ მცირე ნაწილი გადაეცემა, სითბოს ძირითადი ნაწილი კი მას ისევე, როგორც წილის ქვეშ მდებარე ფენას, კონვექციის გზით გადაეცემა. ელექტროღუმელში ყველა სახის მასალის (ცხელი ნაწეი, ცივი ნაწეი, მშრალი კონცენტრატი, სველი კონცენტრატი და სხვა) გადამუშავება შეიძლება. ღნობის შედეგად მიღებულ შტეინში ლითონების შემცველობა 40-50% შეადგენს.

ელექტროღუმელების გამოყენება ღნობის პროცესებში მაშინ არის ეკონომიკურად გამართლებული, როცა იაფი ელექტროენერჯის მიღების შესაძლებლობა არსებობს.

ელექტროღუმელებში ელექტროენერჯის თხურ ენერჯიამი გარდაქმნის მარჯი ქმედების კოეფიციენტი საკმაოდ მაღალია, ღნობის ტემპერატურის კონტროლი სხვა ტიპის ღუმელებთან შედარებით გაცილებით გამარტივებულია. სათბობის წეის აირების გამოყოფა გამორიცხულია, რაც აირების საერთო რაოდენობას ამცირებს. შემცირებული რაოდენობის აირებიდან სითბოს გამოყენებისა და მტერის განცალკეების პროცესები გაცილებით გაადვილებულია.

მიმართულ - რკალიანი ელექტროღუმელი მცირე ზომისაა (ღამეტრი 1,8 მ შეადგენს). მისი ელექტროდები გრაფიტიზგან არის დამზადებული. ნაღნობის გადმოსხმა ღუმელის დაყრავებით ხორციელდება. ღუმელში მასალა მისი კარებიდან იტვირთება. ღუმელის კედლები მაგნეზიტიით არის ამოკებული, ხოლო კამარა თინამიწა აგურისაგანაა დამზადებული. თავისი ფორმით ღუმელი ფოლადის გამოსადგნობ ელექტროღუმელს წაგავს.

წინაღობის ელექტროღუმელი (სურ. 11.9.) კი თავისი მოქმედებით ამრეკლი ღუმელის მსგავსია და მისგან ძირითადად იმით განსხვავდება, რომ მასში სითბო არა სათბობის წეის შედეგად, არამედ ელექტროენერჯის ხარჯზე გამოიყოფა. კაზმის ჩატვირთვა ღუმელში მის ორივე მხარეზე კედლების მახლობლად თაღში ჩამაგრებული მილებიდან ხორციელდება. ღუმელში გამდნარი წილის ზედაპირზე მოხვედრილი კაზმი ღნება და წილისა და შტეინის ნაღნობების ფენებში ნაწილდება. ღუმელის სიგრძე 30, სიგანე 7 და სიმაღლე 4 მ შეადგენს. ღუმელში სოღერბერგის თვითშეცხობადი ელექტროდები გამოიყენება. ელექტროდების ღამეტრი 1 მ აღემატება, ხოლო მათი სიმაღლე 15 მ უტოლდება. ელექტროდები ერთმანეთისგან 3,5 მ-ის დაცილებით არის განლაგებული. წილა და შტეინი დროგამოშეებით გამოღის ღუმელის მოპირდაპირე მხარეებიდან. ღუმელში ცხელი ზონების სხვადასხვა ადგილზე განლაგების გამო განსხვავებული ზარისხის ცეცხლგამძლე აგურები გამოიყენება.



სურ. 11.9 წინაღობის ელექტროღუმელში ღნობის სქემა.

- 1 კაზმი 2 კოქსი 3 ელექტროდი 4. კაზმის ღნობის ზონა; 5 ხაობისა და მასის მამოკვლა წილის ნაღნობში; 6. წილა; 7. შტეინა

ღამალია (600°C) და ამიტომ ღუმელის თაღი (კამარა) იაფფასიანი თინის ცეცხლგამძლე მასალისგან არის აგებული. ღუმელის ქვედი კი მაღალი ზარისხის ცეცხლგამძლე მაგნეზიტიური მასალისგან არის ამოკებული.

ელექტროღუმელი, რომელშიც მასალის შეტიტივებულ მღგომარეობაში ეანგვა-აღდგენის ღნობის პროცესა შეთავსებული, სწორკუთხა ფორმისაა და თავისი კონსტრუქციით დიდი რაოდენობის შტეინის გამოსადგნობი წინაღობის ელექტროღუმელის მსგავსია. რიგში განლაგებული ღუმელის ოთხი ელექტროდი წვეილ-წვეილად არის ჩართული და წილის ნაღნობის ფენაშია ჩაფლული. ელექტროდების წვეილში ელღენის გავლისას წინაღობის ხარჯზე სითბო გამოიყოფა.

სულფიდური ფხენილისებრი გამომშრალი მასალა ღუმელის თაღზე განლაგებული ღიობებიდან ელექტროდებს შორის არსებულ სივრცეებში იყრება, მასალა წილის ნაღნობის ზედაპირზე დაშვებამდე

ოთხი ქმინიდან შებერილი ჰაერის ძლიერ ნაკადთან შეხლას განიცდის, რის შედეგადაც ქარბორბალა წარმოიქმნება, რომელიც მასალის ნაწილაკებს ელექტროდებს შორის სივრცეში შეტივტივებულ მდგომარეობაში აკავებს. ღუმელის ასეთი მოწყობის პირობებში ლიობებიდან ჩაყრილ მასალაში წილის ზედაპირზე მის დაშვებამდე სულფიდური ნაწილაკების წვის გამო ჟანგვა-აღდგენის რეაქცია ვითარდება. შედეგად გოგირდის უმეტესი ნაწილი მასალიდან განიღვებება და ლითონური ნაერთების მნიშვნელოვანი ნაწილი აღდგება. შეტივტივებული მდგომარეობაში გამდნარი და მყარი ნაწილაკების ნარევი წილის ნაღობის ზედაპირზე ეშვება. წილაში, ნაწილაკებში მიღინარე ჟანგვა-აღდგენის პროცესი მთავრდება.

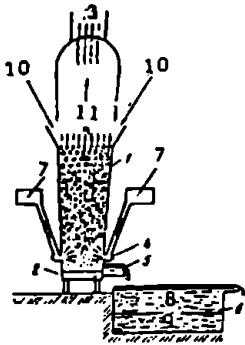
ამ ტიპის ელექტროღუმელის სიგრძე 13 და სიგანე 4 მ-ია, ხოლო თალიდან (კამარიდან) წილის ნაღობამდე მანძილი 1,7 მ ტოლია. ღუმელის ქვედი მაგნეზიტის აგურითაა ამოვებული, კედლები და თალი კი ქრომ-მაგნეზიტით არის აგებული. ღუმელში ჩამუშავებული სოფერბერგის ტიპის ოთხი ელექტროდი თანატოლი მანძილებით არის დამორბეული ერთმანეთისგან. ელექტროდის დიამეტრი 1 მ ტოლია. ორივე - წილა და ლითონი პერიოდულად გადმოიღინება ღუმელიდან. წილა გამოდის ღუმელის ბოლოში არსებული ვადმოსაშვები შურიდან, ხოლო ლითონის ნაღობი ღუმელის გრძივი კედლის შუაში მოთავსებული ზერელიდან გადმოიღინება.

მეორე, უფრო რთული კონსტრუქციის, მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ღუმელი, რომელიც რუსეთში დამუშავდა, კიეკეტ პროცესის სახელწოდებითაა (КИВЦЕТ-Кислородно-выжженная циклонно-электротермическая плавка) ცნობილი. ფხენილისებრი კაზში და ჟანგბადი ერთმანეთთან შერევის ექვემდებარება ღუმელის ციკლონში, რომელიც წყლით ცივდება. ციკლონი ღუმელის გასწვრივ მისი საკვამლე მილის ბოლოდან ღუმელის სიგრძის ერთ მესამედზეა თალში ჩამოვრებული. თალიდან ციკლონი ღუმელშია ჩამუშავებული. მასალის დნობა ციკლონის გრივალში იწყება, საიდანაც გამდნარი ნაწილაკები ღუმელის ქვეზე ეშვება. ქვედი საკვამლე მილის მოპირდაპირე ბოლოში განლაგებული წინაღობის ელექტროდების საშუალებით ზურდება. ტიხარი, რომელიც წყლით ცივდება, ღუმელს ორ განყოფილებად ჰყოფს. პირველ განყოფილებაში, რომელიც საკვამლე მილის მხარეზეა მოთავსებული, განცალკევების კამერა და ციკლონია განლაგებული, ხოლო მეორე განყოფილებაში, რომელიც საკვამლე მილის მოპირდაპირე მხარეზე მდებარეობს, საღებე ქვედი და ელექტროდებია განლაგებული.

ნედლეულის დნობასა და შტიენის კონვერტირების უწყვეტი პროცესების ჩასატარებელი აგრეგატი თანმიმდევრულად განლაგებული, მომუხანავე სტაციონარული ქვედანი ღუმელებისგან შედგება. ღუმელიდან ღუმელში ნაღობები უწყვეტ ნაკადად მიედინება. რიგით პირველი ღუმელი კაზმის შტიენზე დნობას ითვალისწინებს; მეორე ღუმელში წილისა და შტიენის ნაღობების დაყოვნებისას წილაში ჩარჩენილი ლითონური ნაერთების ნაწილაკები შტიენის ნაღობის ფენაში ილექება (წილა ღარბდება). მესამე ღუმელში კი წილის გაღარიბების ღუმელიდან გადმოსული შტიენი კონვერტირებას ექვემდებარება.

კონცენტრატი და ფლუსი ჟანგბადით გამდიდრებულ ჰაერთან ერთად თალზე განლაგებული ქმინების საშუალებით შეიფრქვევა პირველ, ყველაზე დიდ ღუმელში, სადაც შტიენზე დნობა ხორციელდება. დიდი ღუმელიდან წილისა და შტიენისგან შემდგარი ნაღობი უწყვეტად გადაიღინება რიგით მეორე ღუმელში, სადაც წილის ეფექტური გაღარიბების (შტიენის ნაწილაკების შტიენში გადასვლის) მიზნით ნაღობს პირიტისა (FeS_2) და კოქსის ნარევი ემატება. ღუმელიდან, საყრელი წილის (0,5% ლითონის შემცველობით) ნაღობი უწყვეტად მიედინება და გრანულირების შემდეგ გადაიყრება, ხოლო შტიენის ნაღობი (ლითონის 50% შემცველობით) რიგით შემდეგ (მესამე) ღუმელში უწყვეტ ნაკადად ჩაედინება. მესამე ღუმელში შტიენის კონვერტირება (გარდაქმნა) ხორციელდება. კონვერტირების (კონვერტირების ღუმელი) თალიდან ქმინების საშუალებით ჰაერისა და ფლუსის ნარევი შეიფრქვევა ღუმელის ნაღობის აბაზანაში, სადაც შტიენი დაუხალასებელ ლითონად გარდაიქმნება. კონვერტირების შედეგად მიღებული წილა, რომელიც 7-15%-მდე ლითონს შეიცავს, შტიენის საღობ (პირველი ღუმელი) ღუმელში ბრუნდება.

შახტური ტიპის ღუმელი სპილენძისა და ნიკელის შტიენების გამოსაღობ და ტყვის აღდგენითი დნობის პროცესებში გამოიყენება. შახტური ღუმელები თავისი კონსტრუქციითა და მოქმედებით ღიდად არ განსხვავდება ერთმანეთისგან.



სურ. II.10. შახტური ღუმელის მუშაობის სქემა.

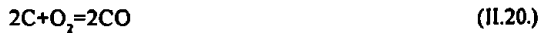
1. შახტური ღუმელი;
2. შიდა ქურა;
3. ცხელი შტურანი აირები;
4. ქმინება;
5. გამოსაშვები ღარი;
6. გარე (წინა) ქურა;
7. ქმინა;
8. წიდა;
9. შტუანი ან ტყეა.

თანმიმდევრობით იტვირთება ღუმელში; პირველად კოქსი, შემდეგ აგლომერატი, საბრუნო მასალა და მაღალი ხარისხის ნაჭროვანი მასალა. კოქსის რაოდენობა ჩატვირთული მყარი მასალის მასის 10% შეადგენს. მის წყობ გამოყოფილ სითბოს ემატება რკინის სულფიდების წვის ევზოთერმული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოც, რაც ღუმელში ჩატვირთული მასალის დნობას უზრუნველყოფს.

ქმინებიდან ღუმელში დაბალი წნევით შებერილი ჰაერის კოქსთან ურთიერთქმედების შედეგად ნახშირორგანგის წარმოქმნით, დიდი რაოდენობის ევზოთერმული სითბო გამოიყოფა:



ზოლო ნახშირბანგის წარმოქმნისას:



უფრო ნაკლები რაოდენობის სითბო გამოიყოფა.

ქმინების განლაგების ზაზის ზეით სათბობის წვის შედეგად გამოყოფილი ცხელი აირების წარმავალი ნაკადი შახტში ჩამავალი მასალის სულფიდების დნობის ტემპერატურამდე თანდათანობით ახურებს. გამდნარი სულფიდებიდან შტუნი წარმოიქმნება. ერთდროულად, ოქსიდების ფლუსთან შედნობით წილის ნაღვლივ ფორმირდება (წილის მთავარი კომპონენტებია FeO და SiO₂).

თუ ფუჭ ქანში შემავალი SiO₂ წარმოქმნილ FeO-თან თანაფარდობაში საკმარისი რაოდენობით არ არის, მაშინ კახში ფლუსის სახით SiO₂-ის დამატებითი რაოდენობა შეაქვთ. ფორმირებული შტუნისა და წილის ნაღვლების ნარევი ღუმელის ქურაში ჩადინება. ქურიდან ნაღვლების ნარევი ღარის საშუალებით ღუმელის ბოლოში განლაგებულ ცეცხლგამსლე აგურებით ამოგებულ სალექარში გადადის. სალექარი ქრომ-მაგნეტიზიტის აგურებით არის ამოგებული, მისი სიგრძე 12,8, სიანე 3 და სიღრმე 1,5 მ-ია. შტუნის ნაღვლის მძიმე ფენა სალექარის ძირში გროვდება, საიდანაც დროგამოშვებით გამოდის. წილის უფრო მსუბუქი ნაღვლის ნაკადი კი უწყვეტად გამოდის სალექარის ზედა ნაწილში მდებარე ღარიდან.

შახტური ღუმელი, რომელიც ტყეის ადგივით დნობაში გამოიყენება, ზომებით უფრო პატარაა, ვიდრე შტონზე დნობის შახტური ღუმელი. ღუმელი 500 ტ-მდე ნელადაა ამუშავებს დღე-ღამეში. ღუმელის სიგრძე 5-6, სიანე (ქმინებთან) 1,5, ქურის სიღრმე 0,7 და კიდური კვსონებთან კედლების სიმაღლე 5-5,5 მ-ია. ღუმელში ჩასატვირთი კოქსის რაოდენობა მყარი მასალის მასის 10-14% შეადგენს. ქმინებიდან შებერილი ჰაერისა და კოქსის ურთიერთქმედების შედეგად ღუმელში

შექმნილ აღმდგენ ატმოსფეროში ლითონის (ტყვიის) ოქსიდი აღდგება და ლითონის ნაღობი წარმოიქმნება. ძლიერი ეგზოთერმული რეაქციის შედეგობით გამოყოფილი სითბო მთლიანად აღნობს ღუმელში ჩატვირთულ მასალას. ლითონის (დაუხალასებელი ტყვიის) ყველაზე მძიმე ნაღობი ღუმელის ფსკერზე გროვდება და სიფონური ღარის საშუალებით გარეთ გადის. შედარებით უფრო მსუბუქი შტეინისა და მუიზის (ღარიშხანის ლითონებთან შენადნობი – გერმან. Speise – საკვები) ნაღობები და ყველაზე მსუბუქი წილის ნაღობი ქურის ზედა ნაწილის ზერელიდან ღარის საშუალებით გადადის საღებქარში, სადაც წილის მსუბუქი ნაღობის ფენა შტეინის, შპეიზისა და წილიდან გამოყოფილი აღდგენილი ლითონის ნაწილაკებისგან ცალკეედება.

დიდი მოცულობის ჰაერის შეტერვის გამო შესტურ ღუმელებში ჩატვირთული მასალის განსაზღვრული ნაწილი მტერის სახით წაიტაცება ჰაერის ნაკადებით. ამიტომ დამტვერიანებული აირები, როგორც წესი, მტვერდამჭერი კოლექტორებში მტერისგან ცალკეედება და მტვერი სააგლომერაციო გადასამუშავებელ მასალასთან შერევას ექვემდებარება.

არააქტიური ლითონებისგან (სპილენძი, ნიკელი, ტყეა და სხვა) განსხვავებით, აქტიური ლითონების (თუთია, ალუმინი, მაგნიუმი, ტიტანი და სხვა) ნედლეულის დნობა სპეციალურ აპარატებში ტარდება. მაგალითად, აღდგენითი დნობა რეტორტული ტიპის რეაქტორში ან პერმეტულად დახურულ შესტურ ღუმელში ტარდება. გამოიყენება აგრეთვე გამდნარი მარილების ფენის ქვეშ ელექტროლიტური დაშლისა და რაფინირების მაღალტემპერატურული პროცესები.

1.3. კონვერტირება

კონვერტირება სულფიდური ნედლეულის გადაშუამავებაში დნობის მეორე და საბოლოო საფეხურია. მსგავსად შტეინზე დნობისა, კონვერტირების დნობის პროცესშიც ლითონის კონცენტრირება ხდება.

კონვერტირების პროცესი თხევადი შტეინის სულფიდების ჰაერის ჟანგბადთან ურთიერთქმედებას ეფუძნება. კონვერტირების პროცესის მიზანია სულფიდური დაჟანგვა იმ ელემენტების სულფიდებისა, რომლებიც უფრო მაღალი ელექტროუარყოფითობით გამოირჩევა (რკინის და თუთიის სულფიდები), ვიდრე ძირითადი ლითონი.

კონვერტირების პერიოდული პროცესი ორი სტადიისგან შედგება (ზოგჯერ მხოლოდ პირველი სტადია გამოიყენება, მაგალითად, ნიკელის შტეინის კონვერტირების ზოგიერთ პროცესში).

პირველ სტადიაზე, რკინის სულფიდის ჟანგვის შედეგად რკინის ოქსიდი და გოგირდის დიოქსიდი წარმოიქმნება (რეაქცია II.13.). რკინის ოქსიდის ფლუსთან (SiO_2) ურთიერთქმედებით რკინა კონვერტერულ წიდაში გადადის (რეაქცია II.14.), ხოლო გოგირდი SO_2 -ის სახით წარმავალ აირთან ერთად განიღვინება. რკინის განდევნის შემდეგ შტეინი თეთრ შტეინად გარდაიქმნება, ანუ ნაღობში მხოლოდ ამოსაღები ლითონის სულფიდი რჩება. ნაღობის ჟანგვის პროცესში რკინის უპირატესი ჟანგვა ჟანგბადთან მისი დიდი ნათესაური კავშირით აიხსნება.

კონვერტირების მეორე სტადიაზე ჟანგვითი დნობის შედეგად თეთრი შტეინი იჟანგება და მისი გარდაქმნით მიზნობრივი დაუხალასებელი ლითონი, მაგალითად, სპილენძი მიიღება (რეაქცია II.15., II.17.).

კონვერტირების პროცესი სხვადასხვა ტიპის კონვერტერში ტარდება. კონვერტერში შტეინი, როგორც წესი, თხევადი სახით იტვირთება (ისხმება). შტეინის ნაღობში ჰაერის, ჟანგბადით გაზიდრებული ჰაერის ან ტექნიკური ჟანგბადის შეტერვა კონვერტერში ჩაყენებული ქვინების დახმარებით ზორციელდება. სულფიდების წვის შედეგად გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბო (განსაკუთრებით რკინის სულფიდის წვის დროს), კონვერტირების პროცესის ბოლომდე მასალის თხევად მდგომარეობაში შეაკვებისა და სარეაქციო ტემპერატურის შენარჩუნების შესაძლებლობას იძლევა სათბობის გამოყენების გარეშე.

კონვერტირების მეორე სტადიაზე თეთრი შტეინის ლითონად გარდაქმნა შეუძლებელი ხდება მაშინ, როდესაც თეთრ შტეინში შემავალი ლითონი დიდ ნათესაურ კავშირშია ჟანგბადთან. ასეთ შემთხვევაში გოგირდიდან განთავისუფლებული ლითონი ვეღარ ინარჩუნებს ელემენტურ ფორმას ნაღობში და ოქსიდში გადადის. ამიტომ ამ შემთხვევაში კონვერტირების პროცესი თეთრი შტეინის

მიღებით მთავრდება. თეთრი შტეინიდან კი ლითონის გამოყოფა სხვა მეთოდებით ხორციელდება.

სრული კონვერტირების შედეგად კონვერტერში ჩატვირთული შტეინის მასის 80% განიღვრება კონვერტერიდან. კონვენტრული წილა საკმაო რაოდენობით შეიცავს სასარგებლო ელემენტებს და ამიტომ მისი გადართვა დაუშვებელია. როგორც წესი, იგი თხევადი სახით გადასამუშავებლად ბრუნდება დნობის პირველ საფეხურზე (საწყის ნედლეულთან ერთად გადაამუშავდება). ზოგიერთ კონვენტრული წილა ცივდება და გამაყარების შემდეგ მისხურება, ქუცმაცდება და ფლოტაციით გამოდრების შემდეგ სპეციალურ გადაამუშავებას ექვემდებარება.

პირველი სტადიის კონვერტირების პროცესი, თხევად შტეინში ჰაერის შებერვის რამდენიმე ციკლისგან შედგება. ციკლებს შორის კონვერტირების პროცესი (ჰაერის შებერვის პროცესი) ჩერდება, კონვერტერი წარმოქმნილი წილისაგან თავისუფლდება (კონვერტერიდან წილა გადმოსისხება) და იგი შტეინისა და ფლუსის ახალი პორციითა და აგრეთვე სპილენძის სხვადასხვა სახის ნარჩენებით იესება. ამ ოპერაციების დამთავრების შემდეგ შტეინში ჰაერის ბერვის განახლებით კონვერტერი საბუთო რეჟიმს უბრუნდება და ციკლი მეორდება. ყოველი ციკლის შემდეგ კონვერტერში შტეინის ნაღობის მასა ამოსაღები ლითონით მდიდრდება. ამასთან დაკავშირებით კონვერტერების პირველი სტადია მასის დაგროვების სახელითაც არის ცნობილი.

პირველ სტადიაზე კონვერტერში შტეინის ყოველი ახალი პორციის ჩატვირთვით გოგირდის წვის შედეგად ეგზოთერმული სითბო გამოიყოფა, რაც ნაღობის თხევად მდგომარეობაში შეკავების და სარეაქტივ ტემპერატურის შენარჩუნების პირობებს უზრუნველყოფს.

კონვერტირების პროცესი ვრცელდება მანამ, სანამ კონვერტერში რკინისა და გოგირდის განდენითა და კონვერტერში ჩატვირთული მთლიანი მასის თანდათანობითი გარდაქმნით პროდუქტის სახით თეთრი შტეინი ან დაუხალასებელი ლითონი მიიღება. თუ შტეინის კონვერტირების დროს მხოლოდ თეთრი შტეინის (ამოსაღები ლითონის სულფიდის) მიღება გათვალისწინებული, მაშინ კონვერტირების პროცესი ერთი სტადიით მთავრდება. შტეინიდან დაუხალასებელი ლითონის მიღების შემოსევაში კი ორივე სტადია ტარდება. მეორე სტადიაზე, რომელიც მხოლოდ ერთი უწყვეტი ციკლისგან შედგება, კონვერტერში მხოლოდ ჰაერი მიხურება და თეთრი შტეინიდან (თეთრი ლითონიდან) გოგირდის განდენის შედეგად დაუხალასებელი ლითონი წარმოიქმნება. დაუხალასებელი ლითონი შემდგომ ეტაპზე რაფინირებას განიცდის, რის შედეგადაც კომპერციული სისუფთავის ლითონი მიიღება.

კონვერტირება შედარებით სტანდარტული პროცესია. იგი, როგორც წესი, ტარდება სტაციონარული ტიპის, დოლისების ფორმის პირიზონტალურ ჭურჭელში, რომელშიც ქმინებიდან ჰაერი შეიბერება. ოპერაციის დახვეწისა და კონვერტირების კონსტრუქციული ცვლილებების შედეგად კონვერტირების პროცესი განითარდა. თანამედროვე პრაქტიკაში ფართო გავრცელებას პოულობს ჰაერის ნაცულად ჟანგბადით გამოდრებული ჰაერის ან ტექნიკური ჟანგბადის ბერვა კონვერტერში. კონსტრუქციული ცვლილებით გამოირჩევა ვერტიკალური ტიპის მბრუნავი კონვერტერი, რომელშიც ჟანგბადის შებერვა ზევიდან ხორციელდება.

კონვერტირების პროცესში დიდი რაოდენობით გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბო შეიძლება გამოყენებულ იქნას მდიდარი სულფიდური მანებისა და კონცენტრატების პირდაპირი დნობისთვის. ამ მიზნით დაამუშავდა და შეიქმნა დნობისა და კონვერტირების ერთიანი უწყვეტი პროცესი, რომელიც ერთ რეაქტორში ერთდროულად მასალის დნობისა და კონვერტირების ჩატარების შესაძლებლობას იძლევა. ნედლეულის გადაამუშავების ეს მეთოდი რიგი უპირატესობით გამოირჩევა – ნედლეულის დნობა და კონვერტირება გაერთიანებულია მთლიან პროცესში, რომელიც ერთ აგრეგატში ტარდება; კონვერტირების რეაქტივის შედეგად გამოყოფილი ჭარბი ეგზოთერმული სითბო მთლიანად გამოიყენება წიაღისეული ნედლეულის გასაღობად. გარდა ამისა, ნელი (გამომწვარი) სულფიდური კონცენტრატის დნობისას რეაქტორიდან წარმაგალი SO_2 -ის შემცველი აირი, რომელიც მინიმალურად არის გაზავებული დამზად საცეხლებიდან გამოყოფილი აირებით, გოგირდმავას ან ელემენტური გოგირდის მიღებისთვის საუკეთესო ნედლეულს წარმოადგენს.

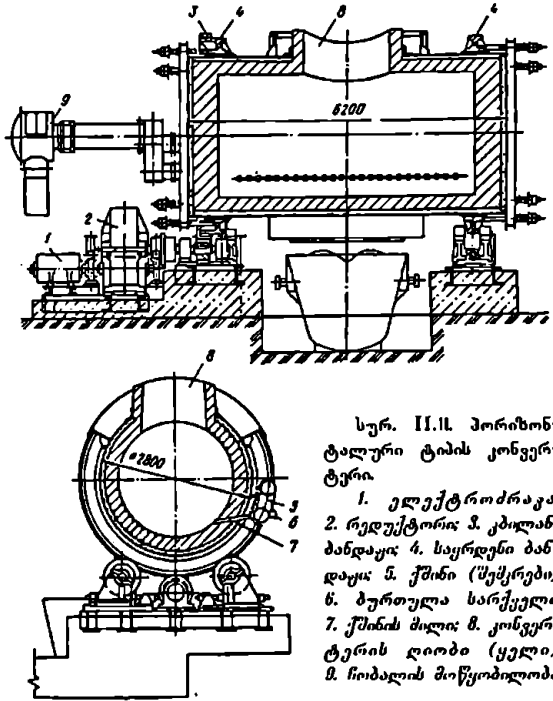
დნობა-კონვერტირების გაერთიანებული პროცესი, რომელიც ნორანდას (კანადის „ნორანდა მაინს“ კომპანია) სახელწოდებით არის ცნობილი, ჩვეულებრივი, პირიზონტალური ტიპის კონვერტერის მსგავს რეაქტორში ხორციელდება. სულფიდური ნედლეულიდან ლითონის უწყვეტი მიღების მეორე

ვარიანტიში, რომელიც ეორკრას (ავსტრალიური ფირმა) პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი, ნელეულის დნობის ღუმელის მსგავს სტაციონარულ რეაქტორს წარმოადგენს.

1.1.1. შტეინის გადასამუშავებელი კონვერტერები

შტეინის გადასამუშავებლად ფართოდ გამოიყენება დოლის ფორმის პორიზონტალური კონვერტერი (სურ. II.11.), რომელიც პირს-სმიტის კონვერტერის სახელწოდებით არის ცნობილი. კონვერტერის ფოლადის გარსაკში, რომელიც გორგოლაჭებს ყარდნობა, შიგნიდან მაგნეზიტის აკურით არის ამოვებული. გორგოლაჭების მეშვეობით თავისი პორიზონტალური ღერძის გარშემო კონვერტერს 120°-ით შეუძლია შემოტრიალება. ოპერაციების ჩატარების დროს კონვერტერის ყელი (ლიობი) სხვადასხვა პოზიციებში დგება (სურ. II.12.). მუშა მდგომარეობაში კონვერტერის ლიობი აირების გასასვლელი ხუფის ქვეშ არის მოქცეული (სურ. II.12. პოზიცია ბ).

კონვერტერი დახლოებით ნახევრამდე იესება ნელეულის დნობის შედეგად მიღებული თხევადი შტეინით. კონვერტერში შტეინის ჩასხმის დროს კონვერტერი შეტრიალებულია ა პოზიციაში (სურ. II.12.ა). შტეინით შევსების შემდეგ კონვერტერი მუშა პოზიციაში დგება (სურ. II.12.ბ პოზიცია). მუშა მდგომარეობაში შეტრიალებით კონვერტერის პორიზონტალური ღერძის გასწვრივ რიგში განლაგებული ქმინები თხევად შტეინში იფლობა და ქმინებიდან შტეინში ჰაერის შებერვა იწყება (სურ. II.12.ბ - პოზიცია). ჰაერის შებერვისთანავე შტეინის ნაღნობის ცირკულაცია იწყება (სურ. II.13.). ჰაერის შებერვით სულფიდურ რკინა ივანება და რკინის ოქსიდებში გადადის. რკინის ოქსიდით ურთიერთქმედებს ფლუსთან.



სურ. II.11. პორიზონტალური ტიპის კონვერტერი

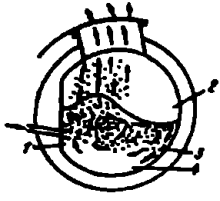
1. ელექტროძრავა;
2. რედუქტორი; 3. კოლანა ბანდაყა;
4. საყრდენი ბანდაყა; 5. ქმინი (შეჭერბი);
6. ბურთულა სარქველი;
7. ქმინის ძალი; 8. კონვერტერის ლიობი (ყელი);
9. ჩიბაღის მიწყობილობა.

ფლუსის საჭიროებისამებრ დროგამოშვებით შეაქვთ კონვერტერში ხერედიდან, რომელიც კონვერტერის ერთ-ერთ ტორსულ კედელშია ჩაყენებული და რომელიც ფლუსის სვემატური ჩატვირთვისათვის



სურ. II.12. პორიზონტალური ტიპის კონვერტერის პოზიციები სხვადასხვა ოპერაციების დროს. ა. თხევადი შტეინის ჩასხმა; ბ. შტეინში ბერვა (მუშა პოზიცია); გ. კონვერტერული წიფის გადმოსხმა; დ. პროდუქტის გადმოსხმა.

1. ქმინი; 2. ლიობი (კონვერტერის ყელი); 3. შტეინი; 4. წიფა; 5. საბილიო პრიდუქტი (დაუზღასებელი ლითონი ან თეთრი შტეინი)



სურ. II.13. ნაღობის ცირკულაციის სქემა კონვერტორში (ისრუებით ნაჩვენებია ცირკულირებადი ნაღობის და წარმოადგენს აირის ნაკადების მოძრაობის მიმართულებები).

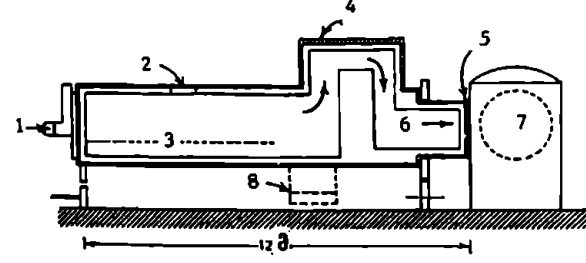
1 ნაღობის აქტიური ჯაჭვების (ბარბოტირების) ზონა; 2. კვარცის თიხა-მოყრის ზონა; 3. პროდუქტის ზონა (წილა-შტეინის ეფლასის ზონა); 4. შტეინა.

არის განკუთვნილი. რკინის ოქსიდისა და ფლუსის ურთიერთქმედებით რკინა-სილიკატური წილა წარმოიქმნება. წილის საკმარისი რაოდენობით დაკროების შემდეგ კონვერტერი ვ - პოზიციამი დგება (სურ. II.12.) და კონვერტერიდან წილა გადმოიღვრება. იგი ნელნელის დნობის ლუმელში გადასაბუშავებლად იგზავნება. ამით კონვერტერის პირველი სტადიის ერთი ციკლი მთავრდება. კონვერტერში წილისგან თავისუფალი მოცულობა ასალი შტეინით ივსება და კონვერტერი ისევ მუშა მდგომარეობაში დგება. შტეინში ქმნილებიდან ჰაერის შებერვით, კონვერტერების პირველი სტადიის ციკლი მთავრდება. რამდენიმე ციკლის ჩატარების შემდეგ, როცა კონვერტერი თეთრი შტეინით გაივსება, კონვერტერების მეორე სტადია იწყება. მეორე სტადია შედგება მხოლოდ ერთი ციკლისგან, რომლის დროსაც კონვერტერში ჰაერის შებერვით თეთრი შტეინიდან გოგირდი განიდევნება და პროდუქტის სახით დაუხალასებელი ლითონი მიიღება.

თუ კონვერტირება პროდუქტის სახით მხოლოდ თეთრი შტეინის მიღებას ითვალისწინებს, მაშინ კონვერტირების პროცესი მხოლოდ პირველი სტადიით მთავრდება. ორივე შემთხვევაში მიღებული პროდუქტი შემდგომ გადაამუშავებას განიცდის.

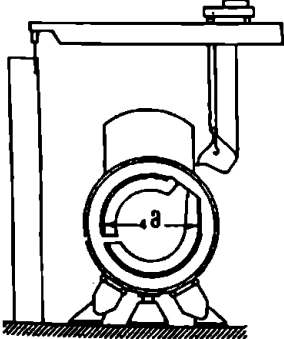
კონვერტერში მიმდინარე ძირითადი ეგზოთერმული რეაქცია (II.13.) სათბობის დამატების გარეშე მასალის თხევად მდგომარეობაში შეკავებასა და სარეაქციო ტემპერატურის შენარჩუნებას უზრუნველყოფს.

პირიზონტალური კონვერტერის სიგრძე დაახლოებით 2-2,5-ჯერ მეტია კონვერტერის დიამეტრზე (3,66x8,55-3,96x9,15მ).



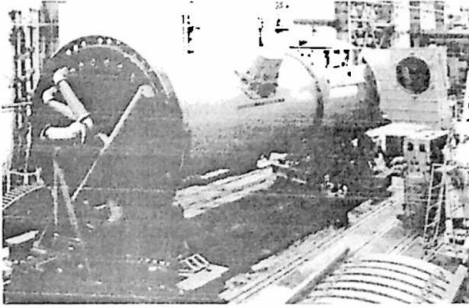
კონვერტირების პროცესში გამოყოფილი აირები სუფის მემვობით (სურ. II.12. ბ - პოზიცია) კოლექტორში შედის და მტერისგან ცალკეობა. გასცალკეებული მტერი ისევ კონვერტერში ბრუნდება გადასაბუშავებლად, ხოლო გასუფთავებული აირი გოგირდმგავის წარმოებაში გამოიყენება.

საფონთან, ანუ პოზოკენამ კონვერტერი (სურ. II.14.), რომელიც რიგ ქარხნებში გამოიყენება, გაუმჯობესებული კონსტრუქციისა და SO₂-ის აირების განცალკეუბის პროცესის გაუმჯობესებასა და გარემოს ვაჭვჭყობის შემცირებას ითვალისწინებს. კონვერტერიდან SO₂-ით მდიდარი აირები სიფონის გავლით შედის საკამლე მილში (არსადენში). საკამლე მილი ჰერმეტიკულად არის შეერთებული სიფონთან. სიფონი ათავისუფლებს აირებს წატაცებული ნაღობის წვეთებისგან, რაც აადვილებს აირებისა და მტერის განცალკეების პროცესს მტერის კო

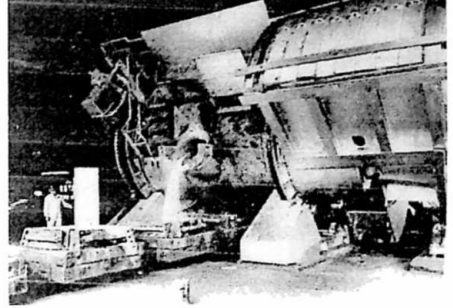


სურ. II.14. საფონთან კონვერტერის ხედიდან გვერდიდან და ბოლოდან. 1. ჰაერის შესაბერის ქმნილება; 2. კონვერტერის ყელი; 3. ქსინება; 4. მუხლა; 5. საცალკეო მჭიდრო შეერთება; 6. აირის ნაკადი; 7. არსადენი; 8. წინასწარობის საწინა.

ლექტორებში. კონვერტერის ასეთი მოწყობა ნაღობში ჰაერის შებერვის დროს ლიობის (კონვერტერის ყელის) პერმეტულად დახურვის საშუალებასაც იძლევა, რაც SO_2 -ის ატმოსფეროში გააძარვასა და ლიობიდან ჰაერის შეწოვას (ჩვეულებრივ, პორიზონტალურ კონვერტერში ლიობიდან შეწოვილი ჰაერით გაზავებას განიცდის SO_2) გამოირიცხავს. გარდა ამისა, ზუფისგან თავისუფალი ლიობიდან შესაძლებელი ხდება შებერვის დროს ზოგიერთი მასალის ჩატვირთვა კონვენტერში, რითაც კონვენტერის მუშა მდგომარეობიდან მოცდენის დრო მცირდება. რაც შეეხება ლიობიდან ნაღობის ჩასხმა-გადმოსხმის ოპერაციას, იგი კვლავ საჭიროებს შებერვის პროცესის დროებით გაჩერებას. სიფონიანი კონვერტერის აწყობა და მისი მუშა მდგომარეობა შესაბამისად ნაჩვენებია II.15. და II.16. სურათებზე.



სურ. II.15. სიფონიანი კონვერტერის მონტაჟის პროცესი.



სურ. II.16. სიფონიანი კონვერტერი მუშა მდგომარეობაში.

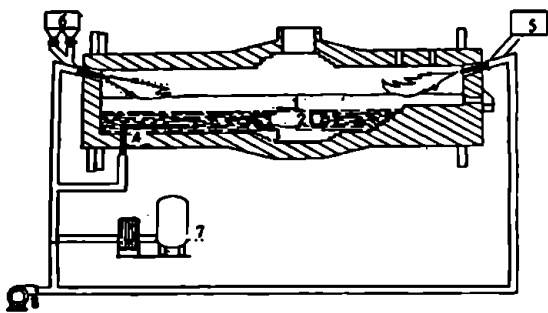
ახალი ტიპის მბრუნავი კონვერტერი (დაბუშავეა შეედეთში), რომელშიც ბერვა მისი ერთი ბოლოდან ხორციელდება, თავისი კონსტრუქციით ფოლადის საღობი (კალდოს ლუმელი) ლუმელის მსგავსია. კონვერტერი ცილინდრული ფორმისაა. მისი ერთი ბოლო დახურულია, ხოლო მეორე ბოლოს ლიობიანი კონუსური ყელი გააჩნია. კონვერტერის ფოლადის გარსაცმი მაგნეზიტით არის ამოვებული და იგი 5-40 ბრ/წთ სიჩქარით ბრუნავს. მუშა პოზიციაში კონვერტერი 17° -ით არის დაქანებული პორიზონტალური ღერძიდან. ორ წყება გორგოლაჭებზე დაყრდნობილი კონვერტერი 360° -ით შემობრუნებისას სხვადასხვა პოზიციებში დგება (წილის გადმოსხმის, ფლუსის დამატების, შტეინის ჩასხმის ოპერაციების ჩატარების მიზნით).

ლიობიდან შტეინის ნაღობის ჩასხმის შემდეგ, კონვერტერი მუშა პოზიციაში დგება (17° -ით დაქანებულ მდგომარეობაში); მოძრაობაში მოყვანილი კონვერტერი ბრუნვას იწყებს. მბრუნავ კონვერტერში ლიობიდან ჩაშვებული ქვინიდან (წყლით ცივდება) შებერილი ჟანგბადის ნაკადი მბრუნავი ნაღობის აბაზანის ზედაპირს ხვდება. ნაღობში რკინის სულფიდის სწრაფი დაჟანგვის შედეგად წარმოქმნილი რკინის ოქსიდის დანამატ კვარცის ფლუსთან ურთიერთქმედებით რკინის სილიკატური წიდა ფორმირდება. კონვერტერიდან გადმოღერილი წიდა გადასამუშავეებლად ნაღობის ლუმელში ბრუნდება. კონვერტერში წილის დანაკლისი ახალი შტეინით ივსება და ბერვის ციკლი მეორდება.

რამდენიმე ციკლის გამეორების შემდეგ კონვერტერი ივსება წარმოქმნილი ლითონური ნაღობით, რომელიც გადმოსხმის შემდეგ რაფინირებისთვის იგზავნება. ამ ტიპის კონვენტერში ქვინიდან ნაღობის ზედაპირის ბერვა და კონვერტერის ბრუნვით გამოწვეული ნაღობის ტურბულენტური მოძრაობა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს პროცესის მახასიათებლებს.

1.3.2. დნობა-კონვერტირების პროცესი

დნობა-კონვერტირების შეთავსებული პროცესი ორი სხვადასხვა კონსტრუქციის რეაქტორში ტარდება. ნორანდის პროცესის სახელწოდებით ცნობილი რეაქტორი პორიზონტალური, ცილინდრული ფორმის ლუმელისგან შედგება (სურ. II.17.). ლუმელის შუა ნაწილში ჩაღრმავებული ქვედი ლითონური მასის ნაღობის დავროვებისა და მისი ლუმელიდან გამოშვებისთვის არის განკუთვნილი, ხოლო



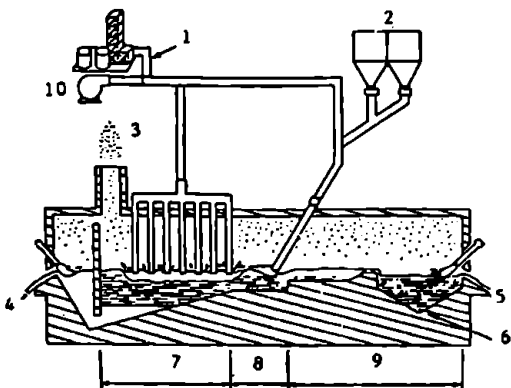
სურ. II.7. დნობა-კონვერტირების ცილინდრული ფორმის მბრუნავი რეაქტორი (ნორანდის პროცესი).

1 წიდა; 2. შტეინი; 3. ლითონი; 4. ქვინება; 5. სათბობი; 6. კონცენტრატი და ფლუქსა; 7. ტენზადის სააქქო; 8. პაერსაბერი.

ვირდმეავას წარმოების სააქქოში მიემართება. განცალკევებული მტკერი დაგუნდავების შემდეგ უკან ბრუნდება რეაქტორში. რეაქტორის ორივე ბოლოში განლაგებული სათბობის წყის მოწყობილობიდან ლუმელს საჭიროების შემთხვევაში დამატებითი სითბო მიეწოდება. რეაქტორის ბოლოში, სადაც ქვინება განლაგებული, მოთავსებულია ხერული, საიდანაც დაგუნდავებული კონცენტრატი და ფლუქსი დნობა-კონვერტირების ზონაში ჩადის და აბაზანის ნაღობის ზედაპირზე იყრება.

რეაქტორის ლუმელის აბაზანაში ნაღობის სამი ფენა ფორმირდება — ზედა წილის ფენა, შუალედური მაღალი ხარისხის შტეინის ფენა და ქვედა ლითონური ფენა, რომელიც ქველის ჩაღრმავებულ ნაწილში გროვდება. ქვინებიდან ნაღობში შეხერილი პაერი ნაღობის ინტენსიურ არევას იწყებს (რაც ნედლეულის დნობის ზონაში საჭირო ევზოთერმული სითბოს სწრაფ გადტანას უწყობს ხელს) და ამავე დროს კონვერტირების პროცესს უანგაბდით ამარაგებს.

დნობა — კონვერტირების შეთავსების რეაქტორში მიმდინარე რეაქციები, განცალკევებული დნობისა და კონვერტირების რეაქციების ანალოგიურია; თავდაპირველად დაგუნდავებული კონცენტრატი დნება და მასში შემავეალი სულფიდები შტეინს წარმოქმნის, ხოლო შემდეგ, კონვერტირების განცალკევებული პროცესის მსგავსად, შტეინის ნაღობის უანგვა იწყება. პირველად შტეინში შემავეალი რკინის სულფიდი იფანება და რკინის ოქსიდში გადადის. რკინის ოქსიდი და კაზმის კვარცის ურთიერთქმედებით რკინის სილიკატური წიდა წარმოიქმნება, ხოლო ამოსალეები ლითონის სულფიდის შემდგომი უანგვით დაუხალისე ბელი ლითონი და აირადი გოგირდის დოქსიდი წარმოიქმნება. სასარგებლო ელემენტებით მდიდარი წიდა გადაყრამდე გადამუშავების პროცესზე იგზავნება, ხოლო რეაქტორიდან მიღებული დაუხალისე ბელი ლითონი რაუინირების ეტაპზე გადადის გადასამუშავებლად. ცილინდრულ რეაქტორში 100 ტ კონცენტრატის გადამუშავება შეიძლება დღე-ღამეში. მის



სურ. II.8. სტაციონარული ფორმის ტიპის დნობა-კონვერტირების რეაქტორის ვერტიკალური ტიპილი.

1 უანგბადის სააქქო; 2. კაზმი (კონცენტრატი და ფლუქსი); 3. წარმავეალი აირება; 4. ლითონი; 5. წიდა; 6. შტეინი; 7. კონვერტირების ზონა; 8. დნობის ზონა; 9. წიდას გასუფთავების (დაწერტის) ზონა.

სიგრძე 10, ხოლო დიამეტრი 2,2 მ-ის ტოლია. დნობისა და კონვერტირების ზონის შუაში, 5 სმ დიამეტრის მქონე 13 ქმინია ჩაყენებული.

ვორკრას სახელწოდებით ცნობილი მეორე ტიპის დნობა-კონვერტირების რეაქტორი (სურ. II.18., იხ. აგრეთვე სურათები III.17. და III.18.) პორიზონტალური ტიპის ღუმელია, რომელსაც ნალისებრი (Ω) ფორმა აქვს. კაშიმ ღუმელის ძირზე იტვირთება, ხოლო Ω -ის ერთ ფეხში, სადაც კონვერტირების რეაქციები ვითარდება, ქმინებია ჩამაგრებული. ლითონის ნაღობი ამ ფეხის ზედა ნაწილში გროვდება და დაქანებული კედლის ზერელიდან გამოდის. ვორკრას რეაქტორშიც ნაღობის სამი ფენა ფორმირდება – წიღის, შტეინისა და ლითონის ფენები. მეორე ფეხში წიღის გასუფთავების (დაწურვის) პროცესი მიმდინარეობს (წიდიდან შტეინისა და ლითონის ნაღობების ნაწილაკები იღუქება). ამ ფეხის ზედა ნაწილიდან საყარი წიდა უწყვეტად გადმოედინება. აირების გასვლა ღუმელიდან კონვერტირების ზონის ზეით განლაგებული ლიობიდან (ყელიდან) ხდება. აირი მდიდარია SO_2 -ით და იგი მტვრისგან გასუფთავების შემდეგ გოგირდმჟავას წარმოების საამქროში მიემართება. ვორკრას ტიპის რეაქტორი დღე-ღამეში 70ტ-მდე ნედლეულს ამუშავებს.

დნობის პროცესი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნაერთიდან ლითონის სხვა ლითონით აღდგენის რეაქციის განსახორციელებლად. მაგალითად, თხევადი ლითონის ქლორიდისა და თხევადი ლითონის ურთიერთქმედებისას (რეაქცია ვგზოთერმულია) ქლორიდან ლითონი აღდგება. ეს პროცესი პერიოდული მოქმედებისაა. პროცესის დამთავრების შემდეგ ნაღობი ცივდება და გაციელებული მასისგან აღდგენილი ლითონი ცალკეედება.

თავი 2. ნედლეულიდან შერაბი ლითონების ამოღების ჰიდრომეტალურგული პროცესები

ჰიდრომეტალურგის ტიპური პროცესებია გამოტუტვა და დალექვა.

გამოტუტვა, გადასამუშავებელი ნედლეულის კომპონენტების ხსნარში (ხშირად წყალში) შერჩევით გახსნას ითვალისწინებს. გამოტუტვის შედეგადაც, ისევე, როგორც დნობის დროს, ორი გამოყოფი ფაზა – ლითონშემცველი ხსნარი და ფუჭი ქანის მყარი ნარჩენი წარმოიქმნება. ნედლეულიდან ლითონის გამოსატუტვად გამოიყენება ქიმიური რეაგენტები, რომელთა მემყოობითაც ლითონები წყალში ხსნად მარილებში გადადის; მაგალითად, სპილენძის გამოტუტვა მაღლიდან, რომელიც წყალში უხსნად მინერალ მალაქიტს ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) შეიცავს, გოგირდმჟავას გამოყენებით ხორციელდება.

ხსნარებიდან დალექვა ლითონების წყალში უხსნად ნაერთებში გადაყვანას ეფუძნება, რაც ადვილად შეიძლება განხორციელდეს ლითონის იონების ატომებამდე აღდგენით.

ელექტროლიტური მეთოდით გამოილექვა, რომელიც ელექტროლიტურ აბაზანებში მოთავსებულ ხსნარში მუდმივი დენის გატარებით ტარდება, როგორც წესი, ლითონის მჭიდრო კომპაქტური ფენის მიღებას უზრუნველყოფს.

ლითონების დაკემენტებით დალექვა ერთი ლითონის მეორე ლითონით ჩანაცვლებას ემყარება. მაგალითად, სპილენძი გამოილექება რკინით.

ჰიდროლიზით დალექვის დროს ლითონების ხსნადი მარილების წყალთან ურთიერთქმედებით წარმოიქმნება ძნელად ხსნადი ჰიდრატები და ტუტე მარილები.

ქიმიური დალექვის პროცესში ხსნარზე შესაბამისი რეაგენტების დამატებით ლითონის ძნელად ხსნადი მარილები წარმოიქმნება.

გამოტუტვისა და დალექვის პროცესების ძირითადი ოპერაციებია: პულპის შესქელება, ხსნარის გამჭვირვალება (გაკამკამება), მყარი ნარჩენის გარეცხვა და მისი ფილტრაცია.

2.1. გამოტუტვა

ნედლეულის გამოტუტვის პროცესში ფორმირდება ლითონშემცველი ხსნარი, საიდანაც შემდგომში სხვადასხვა მეთოდით ლითონის დალექვა ხდება. გამოტუტვა კომპონენტების შერჩევით გახსნას ითვალისწინებს. როგორც წესი, გამოტუტვის დროს მხოლოდ ამოსაღები ლითონი იხსნება ხსნარში, ხოლო ფუჭი ქანი უხსნადი ნარჩენის სახით რჩება.

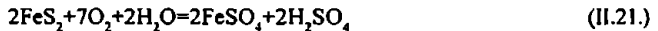
უმეტეს შემთხვევაში გამოტუტვა მაშინ გამოიყენება, როცა პირომეტალურგიული ხერხით ლითონის ნედლეულიდან ამოღება რიგი მიზეზების გამო გაძნელებულია, ან გამოტუტვით ლითონის ამოღება ადვილად ხორციელდება, ანდა ნედლეულის ხარისხი იმდენად დაბალია (ნედლეული ღარიბია ლითონით), რომ სხვა ხერხთან შედარებით, ნელი, მაგრამ იაფი პირომეტალურგიული ხერხით ნედლეულის გადაამუშავება ეკონომიკურად უფრო გამართლებულია.

მდნობისა და კონცენტრატების გამოტუტვის დროს წყლის გარდა რეაგენტებიანი წყალხსნარებიც გამოიყენება. რეაგენტების სახით მჟავა, ტუტე და მარილი იხმარება. რეაგენტი უნდა აკმაყოფილებდეს რიგ მოთხოვნებს, რომელთა შორის მთავარია მისი დაბალი ღირებულება. გარდა ამისა, გამხსნელი რეაგენტი უნდა გამოირჩეოდეს ამოსაღები ლითონის სელექტიური (შერჩევითი) გამოტუტვის უნარით, რეაგენტაციის შესაძლებლობით, პროცესის ჩასატარებელ აპარატებზე შეზღუდული კოროზიული ზემოქმედებით და ამასთან ერთად იგი ხელმისაწვდომიც უნდა იყოს.

გამხსნელი რეაგენტის სახით ყველაზე ფართოდ გოგირდმჟავა გამოიყენება. იგი გამოირჩევა სიიაფით, ძლიერი მოქმედებით და მისი არასელექტიურობის დაბალანსების შესაძლებლობით. საკმაოდ კარგ გამხსნელად ითვლება აზოტმჟავა და მარილმჟავაც, მაგრამ მაღალი აგრესიულობის (აპარატურა სწრაფად გამოდის წყობიდან) გამო მათი გამოყენება შეზღუდულია. გარდა ამისა, ეს გამხსნელი რეაგენტები არასელექტიური გამოტუტვის უნარითა და სიძვირით გამოირჩევა.

ზოგჯერ გამხსნელი რეაგენტის სახით ამიაკი გამოიყენება. მასში სელექტიურად იხსნება ისეთი ლითონები, როგორცაა სპილენძი, ნიკელი და კობალტი. ამიაკი პრაქტიკულად კოროზიულ ზემოქმედებას არ ახდენს ფოლადისგან დამზადებულ აპარატურაზე. ამიაკი ძვირადღირებულ რეაგენტს წარმოადგებს და ამიტომ მისი რეგენერაცია და ხელმეორედ გამოტუტვის პროცესში გამოყენება აუცილებელ პირობად იქცა.

წყლის (რომელშიც ჰაერია გახსნილი) და პირიტის (FeS_2) შემცველი ქანის ურთიერთქმედების შედეგად თანდათანობით რკინის სულფატი და გოგირდმჟავა წარმოიქმნება:



თანგადის შემდგომი დამატებით რკინის სულფატი ნელი დე-თანგვით გადადის სამვალენტიანი რკინის სულფატში, რომელიც სპილენძის რიგ სულფიდებს ხსნად სულფატებად გარდაქმნის და ამით მათ გახსნას უწყობს ხელს, თუმცა, იგი ძირითადი გამხსნელის როლს არ ასრულებს:



ვინაიდან სამვალენტიანი რკინის სულფატი წყალხსნარში ჰიდროლიზს განიცდის, მას დამოუკიდებლად თავისი როლის შესრულება არ ძალუძს და ამიტომ მისი მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით ხსნარი გოგირდმჟავითი შემეყვებას საჭიროებს. ამ რეაგენტების სულფიდურ მინერალებზე ერთობლივი ზემოქმედებისას, $Fe_2(SO_4)_3$ სულფიდების და-თანგვის უზრუნველყოფს, ხოლო გოგირდმჟავა სულფიდების ძირითადი გამხსნელის როლს ასრულებს.

სპილენძის სულფიდური მადნების გოგირდმჟავას ხსნარებით გამოტუტვის პროცესის ინტენსივობის მიზნით ბოლო დროს ფართოდ გამოიყენებას ჰოულობს ბუნებაში გავრცელებული სხვადასხვა სახის ბაქტერიები.

გამომტუტავი (გამხსნელი) ხსნარი, რომელიც მხოლოდ მჟავას შეიცავს, ოქსიდური მინერალების უმეტესი ნაწილის კარგი გამხსნელია. თუ ოქსიდურ მინერალებთან ერთად ნედლეულში პირიტიც (FeS_2) შედის, მაშინ გამომტუტავ ხსნარს დიდი რაოდენობით მჟავა უნდა დაემატოს. გოგირდმჟავასა და სამვალენტიანი რკინის სულფატის გაზავებულ ხსნარში, თითქმის ყველა სახის ოქსიდი და სულფიდი იხსნება, მაგრამ მათი ხსნადობის სიჩქარე ზოგ შემთხვევაში საკმაოდ დაბალია (1%-ს შეადგენს თვეში). ხსნარში ქლორისა და ნატრიუმის ჰიპოქლორატის შეტანით მინერალების გახსნის სიჩქარე მისაღებ ზღვრამდე იზრდება.

პირომეტალურგიაში გამოტუტვის პროცესი ხშირად ხსნარში გახსნილი აირადი რეაგენტის მონაწილეობით მიმდინარეობს. არებიდან ყველაზე ფართოდ ენაგზადი გამოიყენება. ხსნარის წყლის ფაზაში გახსნილი ენაგზადის რაოდენობა დამოკიდებულია ხსნარით კონტაქტში მყოფი ენაგზადის წნევაზე. არადი რეაგენტის წნევის გადღებებით მისი ხსნადობა იზრდება. გარდა წნევისა, აირის ხსნადობაზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურაც. დასაწყისში ტემპერატურის ზრდა აირის

ხსნადობას ამცირებს. აირის მინიმალური ხსნადობა 74–100°C-ის ზღვრებში შეინიშნება. ტემპერატურის შემდგომი მომატება პროცესის წნევის ქვეშ ჩატარების პირობებში (წყლის ფაზის აორთქლების თავიდან აცილების მიზნით), შეკეთრად ზრდის აირის ხსნადობას. აირის ხსნადობაზე გავლენას ახდენს ხსნარის შემადგენლობაც. ხსნარში შემავალი მარლების მაღალი კონცენტრაცია აირის ხსნადობას ამცირებს.

ხსნარში გახსნილი ჟანგბადი ამოსაღებ ლითონსა და რკინას ოქსიდამდე ჟანგავს. ამასთან, ამოსაღები ლითონის წარმოქმნილი ოქსიდი, რკინის ოქსიდთან შედარებით, ხსნართან ურთიერთქმედების უფრო დიდი აქტიურობით გამოირჩევა.

გამომტუტავი ხსნარი მასალის გახსნის მაქსიმალური შერჩევით უნდა გამოირჩეოდეს, რათა ამოსაღები ლითონი სრულად გადავიდეს ხსნარში, ხოლო ფუჭი ქანი უხსნადი მყარი ნარჩენის სახით დარჩეს. ხსნადობის გაზრდა სხვადასხვა გზებით შეიძლება განხორციელდეს. ერთ შემთხვევაში ისეთი გამხსნელის შერჩევა ხდება, რომელშიც ამოსაღები ლითონი უფრო სწრაფად იხსნება, ვიდრე ნედლეულის დანარჩენი ნაწილი. ასეთი პირობების შექმნა შესაძლებელია აგრეთვე ნედლეულის წინასწარი თერმული დამუშავებით, რომლის დროსაც, მაგალითად, სულფიდური ნედლეულის გამოწვით, სულფიდები წყალში ხსნად სულფატებში გადადიან, ან ოქსიდური მასალის აღდგენით გამოწვით ამოსაღები ლითონი აღდგება, ხოლო რკინა ისევ ოქსიდის სახით რჩება. ასეთი შემადგენლობის ნაწილის გამოტუტვის დროს აღდგენილი ლითონი უფრო სწრაფად იხსნება, ვიდრე რკინის ოქსიდი. ხსნადობის ცვლილებაზე დიდ გავლენას ახდენს აგრეთვე შერჩეული ხსნარის კონცენტრაცია და ტემპერატურა. გამოტუტვის კონკრეტულ პირობებში ეს ორი მახასიათებელი დიდ როლს თამაშობს ამოსაღები ლითონისა და ფუჭი ქანის ხსნადობათა სხვაობის გაზრდაში.

ამოსაღები ელემენტების ხსნარში მაქსიმალური სიჭკარით გახსნის პირობების უზრუნველყოფა ეკონომიკური თვალსაზრისითაც ძალზე მნიშვნელოვანია. გახსნის სიჭკარე ძირითადად დამოკიდებულია გამოტუტვის პროცესის ისეთ მაკონტროლებზე, როგორიცაა ხსნარის კონცენტრაცია და ტემპერატურა, ხსნარის არევა და გადასამუშავებელი ნედლეულის გრანულომეტრული შემადგენლობა. რაც უფრო დაქუცმაცებულია მასალა, მით უფრო დიდაა მასალისა და ხსნარის საკონტაქტო არე და, აქედან გამომდინარე, მით უფრო მაღალია მასალის ხსნარში გახსნის სიჭკარე. მაგალითად, 60 მეშ-ამდე (მეში – ინგლისურად – mesh – ცხავის ზერელი – მათეულისგან წნულ საცერში ზერელების რიცხვი ერთ სიგრძეზე დიუმზე (25,4 მმ) – მიღებულია საცრის ზერელების ზომის ერთეულად) დაქუცმაცებული სპილენძის სულფიდი 6 საათში გამოიტუტება, 6 მმ-იანი ზომის სულფიდის მარცვლები 5 დღეში იხსნება, ხოლო 15 სმ ზომის ნაჭრების გახსნას ხუთი წელიწადი დასჭირდება.

გამოტუტვის ბოლოში გახსნის პროცესის სიჭკარე საგრძნობლად ვარდება, რაც ხსნარში ამოსაღები ლითონის კონცენტრაციის შემცირებასთან, გამხსნელი (გამომტუტავი) რეაგენტის შესუსტებასა (განსაკუთრებით პერიოდული მოქმედება პროცესებში) და ნახევრად შესუსტებული გამხსნელის (რომელიც გამოტუტვის შედეგად ფუჭ ქანში წარმოქმნილ ჰაჟაწინა „ჯიბებში“ გროვდება) ლითონურ ნაერთში შეღწევის დაბალ სიჭკარესთან არის დაკავშირებული. გამოტუტვის სიჭკარეზე მოქმედებს აგრეთვე პულპის (მყარისა და სითხის ნარევი) სიმკვრივე და მყარსა და სითხეს შორის კონტაქტის ზანგრძლივობა.

გამოტუტვის პროცესები პირობეტალურგიული ხერხის პარალელურად მრავალი წლის განმავლობაში თუთიის ნედლეულის გადამუშავებაში გამოიყენება. ალუმინის ნედლეულის მეტალურგიული გადამუშავების პირველი ეტაპი გამოტუტვით იწყება, ხოლო ურანის მადნების გადამუშავებაში, თითქმის ბოლომდე პიდრომეტალურგია გამოიყენება.

ალუმინის ნედლეულის გადამუშავებაში აღრინდელი, კარგად დახვეწილი პროცესები გამოიყენება, ხოლო ურანის ნედლეულის გადამუშავება შედარებით ახალგაზრდად მეთოდებით ხორციელდება. ზოგიერთ გამოტუტვა ძალზე ლარიბი ნედლეულის გადასამუშავებლად გამოიყენება. შედეგად იმდენად გაზავეებული ხსნარები მიიღება (მაგალითად ურანისა და სპილენძის პიდრომეტალურგიაში), რომ ასეთი ხსნარებიდან ლითონის დაღვევა არამიზანშეწონილი ხდება. ამიტომ ამ შემთხვევაში დაღვევის წინ აუცილებელია ხსნარებში ლითონის კონცენტრაციის გაზრდა, რაც კონცენტრირების პროცესებით ხორციელდება. კონცენტრირების ეტაპი ნედლეულის გადამუშავების მთლიან ციკლში საკმაოდ დიდ ადგილს იკავებს. თუთიის ნედლეულის გამოტუტვით მიღებული ხსნარებიდან თუთია

შედარებით სუფთა ლითონის სახით იღებება. ნალექის გადნობისა და ნაღობიდან ზოდების ჩამოსმის ოპერაციების ჩატარების შედეგად კომერციული ლითონური თოთხა მიიღება. ალუმინის ნედლეულის პირობებულად გადამუშავების ეტაპზე კი ალუმინი სუფთა ქიმიური ნაერთის სახით იღებება ხსნარიდან და მხოლოდ შემდეგ ეტაპებზე ნაერთის პირობებულად გადამუშავებით ლითონური პროდუქტი მიიღება. რაც შეეხება ურანს, იგი ხსნარებიდან კრისტალური ფორმის ნაერთის სახით იღებება. ნალექის (ქიმიური ნაერთის) როგი პროცესებით (ქიმიური, პირობებულად გადამუშავებული) შემდგომი გადამუშავების შედეგად ლითონური ურანი მიიღება.

ნედლეულიდან აქტიური ლითონების გამოტუტვით ამოღება მარტო ნედლეულის შერჩევითი (სელექტიური) გახსნის შესაძლებლობებით არ არის განპირობებული. არსებობს სხვა მიზეზებიც, რის გამოც ამ ლითონების პირობებულად გადამუშავებული ხერხით ამოღება არაპრაქტიკული და ძვირადღირებული ხდება. მიზეზები ოთხი გარემოებიდან გამომდინარეობს. პირველი – გამოტუტვის პროცესში გამოშვებულ კონცენტრატში შემავალი მავნე მინარეულები ამოსაღებ ლითონთან ერთად მთლიანად დღდახსნარში გადადის. შერჩევითი დალექვით მინარეულები ადვილად ცალკეულდება ლითონშემცველი ხსნარისგან; მეორე – დაბალი ხარისხის ნედლეულის (ამოსაღებ ლითონს მეთოდი პროცენტის ოდენობით შეიცავს) გამოტუტვა ვაცილებით იაფი ჯდება, ვიდრე მისი გადამუშავება პირობებულად გადამუშავებული ხერხით; მესამე – ზოგიერთი ლითონის მდიდარი ოქსიდური მადნიდან ლითონის ნახშირბადით აღდგენა მაღალ ტემპერატურაზე შეუძლებელი ხდება (ოქსიდისა და ნახშირბადის ურთიერთმოქმედების დროს არა ლითონი, არამედ კარბიდი წარმოიქმნება); მეოთხე – ზოგიერთი ლითონის ოქსიდის დნობის ტემპერატურა იმდენად მაღალია, რომ მისი გადნობა ღუმელში შეუძლებელია.

აქტიური ლითონების გამოტუტვის დროს, როგორც მთავა, ასევე ტუტე გამხსნელები გამოიყენება. ტუტე გამხსნელების სახით, როგორც წესი, ნატრიუმის პიდროოქსიდი ან ნატრიუმის კარბონატი გამოიყენება.

ტუტე გამხსნელები, უპირატესად, მაშინ გამოიყენება, როცა ამოსაღები ლითონების ოქსიდები ტუტე ფუჭ ქანთან არის ასოცირებული. ამ შემთხვევაში მთავა გამხსნელის გამოიყენება, მისი დიდი ხარჯის გამო, ეკონომიკურად გაუმართლებელია. ამ სახის ნედლეულის მთავათი გამოტუტვისას მთავა ერთდროულად ფუჭი ქანის განეიტრალებაში და ლითონის ოქსიდის გახსნაში იხარჯება.

გამოტუტვის პროცესები გამოიყენება მაღალი და დაბალი ხარისხის მადნების, კონცენტრატების, ნაშვის და შტეინის გადამამუშავებლად.

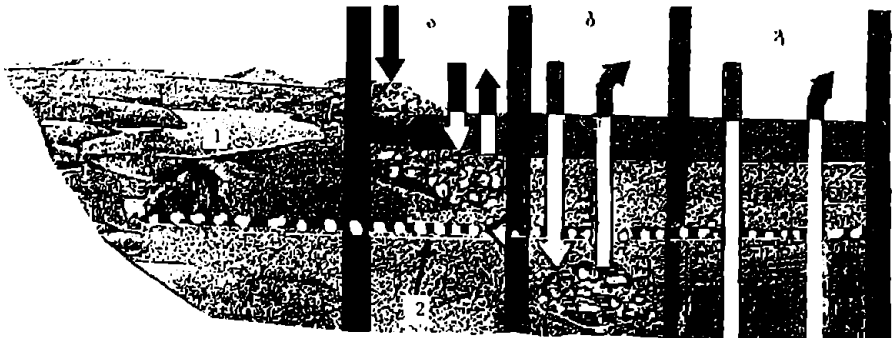
გამოტუტვის პროცესის ეფექტიანობის გაზრდის მიზნით, დაბალი ხარისხის მადნების გადამამუშავება დიდ მასშტაბებში უნდა ჩატარდეს (ლითონი საკმაო რაოდენობით უნდა იქნას ამოღებული ნედლეულიდან). დიდი რაოდენობით ნედლეულის გადამამუშავება, შესაბამისად, გამხსნელი რეაგენტის დიდ რაოდენობას საჭიროებს. ამიტომ ამ შემთხვევაში გამხსნელის ღირებულება რაც შეიძლება დაბალი უნდა იყოს.

მაღალი ხარისხის ნედლეულში (მადანი, კონცენტრატი, ნაშვი, შტეინი) ლითონი შედარებით მცირე რაოდენობის ფუჭ ქანთან არის ასოცირებული და მასალის საერთო რაოდენობა ამ შემთხვევაში საგრძობლად მცირდება. ნაკლები რაოდენობის მასალა შესაბამისად გამხსნელის ნაკლებ რაოდენობას საჭიროებს და ამიტომ გამხსნელი რეაგენტის ღირებულება მნიშვნელოვან ფაქტორს აღარ წარმოადგენს.

გამოტუტვა სხვადასხვა მეთოდით ტარდება. მეიოლის შერჩევა დამოკიდებულია გადამამუშავებულ ხარეებზე, ამოსაღები ლითონის ხსნარში გახსნის სიძნელეზე და დასამამუშავებელი ნედლეულის რაოდენობაზე. მეტალურგიულ პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გავრცელებულია მიწისქვეშ (ადგილზე) მადნის ან მისი ნაყარი მასის გამოტუტვა, გროვის გამოტუტვა, ატმოსფერულ წნევაზე კოდში გამოტუტვა და წნევის ქვეშ ავტოკლავეებში გამოტუტვა.

2.1.1. ადგილზე გამოტუტვა

მიწის ქვეშ (ადგილზე) გამოტუტვა გამოიყენება იმ ადგილებში, სადაც გამოსატუტე არე გარემორტყმულია წყალგუმტარი მავარი ქანით. მიწის ქვეშ გამოტუტვა, როგორც ბუნებრივი პროცესი, მიმდინარეობს სპილენძის სულფიდური მადნების ყველა მაღაროში, რომლის ექსპლუატა-



სურ. 11.10. ადგილზე გამოტუტვა.

1. მდინარე; 2. მიწისქვეშა ვანდინირე წყლები ა. — ნაყარი ნარჩენები და საბადო-მიწისქვეშა წყლების ზეითი არის ვანდავებული; ბ — საბადო-მიწისქვეშა წყლების ქვეითი არის ვანდავებული (მიწის ზედაპირთან ახლოს); გ — ღრმა საბადო. უნიშნო ვერტიკალური ხსნარის დინებას იმპაროილებებს აღნიშნავენ.

რება შახტური ხერხით ხორციელდება. გარდა ამისა, მიწის ქვეშ გამოტუტვა ნამუშევარ (მიტოვებულ) ან კონსერვაციაში მყოფ შახტებში შეიძლება ჩატარდეს ხელნერად ნარჩენი მადნებიდან და ჩამონგრეულ ქანებიდან სპილენძის ამოსაღებად. გამხსნელის მადნის ქანამდე ადვილად შეღწევის მიზნით ჭაბურღილები კეთდება (სურ. 11.19.). გამოტუტვა მდინარის წყლით, გამოტუტვის ნაბრუნე ხსნარებით ან მალაროს წყლებით შეიძლება ჩატარდეს. პროცესი ძალზე ნელა მიმდინარეობს და თეობითა და წლობით გრძელდება. მიწისქვეშა გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარი (სპილენძის 2,5 გ/ლ-მდე შემცველობით) გვირაბებიდან მიწის ზედაპირზე ამოიტუმბება და საგუბარში გროვდება. ხსნარის საგუბარში დაყოვნების შემდეგ მისგან შლამი იღვეება, რომელიც უკან ბრუნდება შახტში, ხოლო განცალკევებული ხსნარი სალექარ კოდებში გადაიტუმბება, სადაც ხსნარიდან ლითონის დაღვევა ხდება. ლითონის ნალექისგან განცალკევებული ხსნარი მიწისქვეშა გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება.

ღარიბი მადნების მიწის ქვეშ გამოტუტვა სხვა ყველა მეთოდებთან შედარებით იაფი და მომგებიანია. ამ მეთოდით მიღებული სპილენძის ღირებულება ღირითადად განისაზღვრება ჭაბურღილების გაბურღვაზე, ხსნარების გადატუმბვასა და ხსნარებიდან სპილენძის დაღვევაზე გაღებული ხარჯებით.

2.1.2. გროვის გამოტუტვა

გროვის გამოტუტვის მეთოდი ერთ ღროს მადნის სხედასხვა ეტაპზე გადაშეგების ნარჩენი ფუჭი ქანიდან ან მადნიდან (რომელიც ფლოტაციურ გამდიდრებას არ ექვემდებარებოდა) ლითონის ამოღების მიზნით გამოიყენებოდა. ამჟამად ამ მეთოდით ფართოდ სარგებლობენ ახალადმოჩენილი საბადოების ღარიბი მადნების დიდ მასშტაბებში გადასამუშავებლად.

მადანი თავსდება ბეტონის დაქანებულ მოედანზე, რომელიც პლასტიკატი ან საცეცხლი წებოთი არის დაფარული. მადნის რამდენიმე შექერებულ გროვას ზევიდან ესხურება გამხსნელი ხსნარი, რომელიც გროვის ფენებში გაჟონვით ჩადის გროვის ძირში და იქიდან სადრენაჟო მილის საშუალებით საგუბარში ჩადინება. საგუბარშიდან დედახსნარი, ამოსაღები ლითონის გამოყოფის მიზნით დაღვევის უბანზე გადაიტუმბება. ლითონის დაღვევის შედეგად დარჩენილი ლითონგამოცილილი სუსტი ხსნარი რეგენერაციის შემდეგ მეორე საგუბარში გროვდება, საიდანაც გროვის გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება. სურათზე (11.20.) ნარჩენებია სპილენძის ნედლეულის სხედასხვა მეთოდით გამოტუტვა.



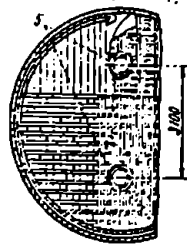
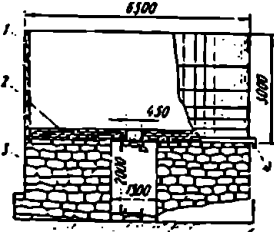
სურ. II.20. საღებნის ნედლეულის გამოტუტვის მეთოდები.

1 ადგილზე გამოტუტვა — ტარდება დიდ მასშტაბებში წარმოების წარჩინებისა და დაბალი ხარისხის ოქსიდური და სულფიდური მადნებისა და ღრმულეებში გადასამუშავებლად; ციკლის ხანგრძლივობა (მასალის დამატარების გარეშე) წლებით განსაზღვრება. 2. გროვის გამოტუტვა — ტარდება ფორიანი ოქსიდური მადნების გადასამუშავებლად; ციკლის ხანგრძლივობა თვეობით განსაზღვრება. 3. კოდში გამოტუტვა — ტარდება დაქუცმაცებული ოქსიდური მადნის გადასამუშავებლად. ციკლის ხანგრძლივობა დღეებით განსაზღვრება.

2.1.3. კოდებში გამოტუტვა

კოდში გამოტუტვის პროცესი ორი, ერთმანეთისგან განსხვავებული ხერხით ხორციელდება. პირველი, რომელიც პერკოლაციის სახელწოდებით არის ცნობილი, უძრავ მარცვლოვან მასალაში ხსნარის გაფრთხილ გამოტუტვას ითვალისწინებს. პერკოლაცია თავისი არსით გროვა გამოტუტვას უახლოვდება და უზარმაზარი ბეტონის კოდების გამოყენებით, ათას ტონობით ფორიანი მადნის გადაამუშავებს უზრუნველყოფს. მეორე ხერხი, რომელიც წმინდად დაქუცმაცებული მასალის გამოტუტვად გამოიყენება მყარისა და თხევადის ურთიერთქმედების პირობების გაუმჯობესების მიზნით. ხსნარის უწყვეტი არევით ტარდება. არევით გამოტუტვის მეთოდით, უფრო შშირად, წერილად ჩაწინწკლული, მკვრივი სტრუქტურის მქონე მინერალური მადნების გადასამუშავებლად იხმარება. ამ ტიპის მადანი პლრომეტალურგიული გადაამუშავების წინ ძვირადღირებულ წმინდა დაქუცმაცებას სჭიროებს.

პერკოლაცია (მადნის ქვიშის მარცვლების სისხო 9-10 მმ-ის ფარგლებშია) ძირითადად



მაღალი ხარისხის ფორიანი მადნების (მადანი ხსნადი ფორმით 1-2% ამოსაღებ ლითონს უნდა შეიცავდეს) გადასამუშავებლად გამოიყენება. გამოტუტვის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება შიგნიდან ტყვიით ან ასფალტით ამოვებული ბეტონის კოდი. კოდი აღჭურვილია ცამატყურა ფილტრის ძირით, რომელიც ადვილდებს ხსნარის დამატების, გადმოღობისა და წყლით ჩარევის ოპერაციების ჩატარებას. პერკოლაციით გამოტუტვის კოდი მრგვალი (სურ. II.21.) ან სწორკუთხა ფორმისაა. კოდის სიმაღლე 2-4 მ, ხოლო დიამეტრი 6-15 მ შეადგენს (წარმოების მასშტაბებზეა დამოკიდებული).

სწორკუთხა კოდი, რომლის სიგანე 33, ხოლო სიგრძე 45 მ-ია, იტევს 10000-12000 ტ მადნის ქვიშას, რომელიც კონვეიერის საშუალებით ჩაიტვირთება კოდში, ხოლო გამოტუტვის შემდეგ მყარი ნარჩენი ჩამოიანი ექსკავატორით ან გრეუერის აწწით გადმოიტვირთება კოდიდან.

პერკოლაციით გამოტუტვა, ძირითადად, პერიოდული მოქმედების პროცესია. მასალის ჩაიტვირთვისა და გადმოტვირთვის ოპერაციების დროს კოდში გამოტუტვის პროცესი შეწყვეტილია. კოდის უზარმაზარი ზომების გამო ამ ოპერაციების ჩასატარებლად საკმარის დიდი დრო იხარჯება. ამიტომ აუცილებელი ხდება რამდენიმე სათადარიგო (დამატებითი) კოდის ჩართვა ტექნოლოგიურ პროცესში.

ხსნარების წინაღობის დინების პრინციპით გამოტუტვის დროს ნდელი მასალა (ახლად შემოსული მადანი) თავდაპირველად სუსტი ხსნარით (ხსნარით, რომელიც მანამდე ხანგრძლივად

სურ. II.21. პერკოლაციით

(გაფრთხილ) გამოტუტვის კოდი.
1 კორპუსი 2. ცამატყურა
ძარი 3. საბრეკელი 4. ხსნარების
გამოსაშვები ინჟინა 5. გამომასუქები

გამოიყენებოდა მადნის გამოტუტვის პროცესში) განიცდის გამოტუტვას. ამ ეტაპზე ფორმირდება ლითონშემცველი დედანსნარი, რომელიც დაღეპვის საამქროში გადაიტუმბება. ძლიერი ხსნარით (ახლად დამზადებული ხსნარით) დაუმუშავებს კი განიცდის მადანი (გამოტუტვის მთლიანი ციკლის ბოლო ეტაპზე), რომელიც მანამდე რამდენიმე დღის განმავლობაში სხვადასხვა სიმაგრის ხსნარში გამოიტუტებოდა. ამ ბოლო ეტაპზე გამოტუტვის შედეგად მიღებული უხსნადი მყარი ნარჩენი გარეცხვის შემდეგ გადაიყრება. გამოტუტვის ამ პრინციპით ხსნარების ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობა იქნება. ერთი მხრივ, სუსტ ხსნარში ჩარჩენილი მტუტევი რეაგენტის ბოლომდე გამოყენების მიზნით ხსნარი ურთიერთქმედებს ახალ მადანთან, რომელიც ადვილად ხსნად ნაერთებს შეიცავს. მეორე მხრივ, ახალი, ყველაზე ძლიერი ხსნარი ურთიერთქმედებს რამდენიმე დღის განმავლობაში თანდათანობით გაძლიერებულ ხსნარებში დასველებულ, მადნის ნაკლებად ხსნად ნაწილთან და მასში ჩარჩენილ ლითონის ნაერთს ხსნის.

დედახსნარებიდან ლითონური ნაერთების დაღეპვის შემდეგ, ნახშიარი (მწირი) ხსნარები საჭირო რაოდენობის წყლითა და მჟავით შეზავებას განიცდის და ისევ გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება. გამოტუტვის მთლიანი ციკლი 5-დან 9 დღემდე გრძელდება. ლითონის გამოსავლიანობა 87-93% შეადგენს.

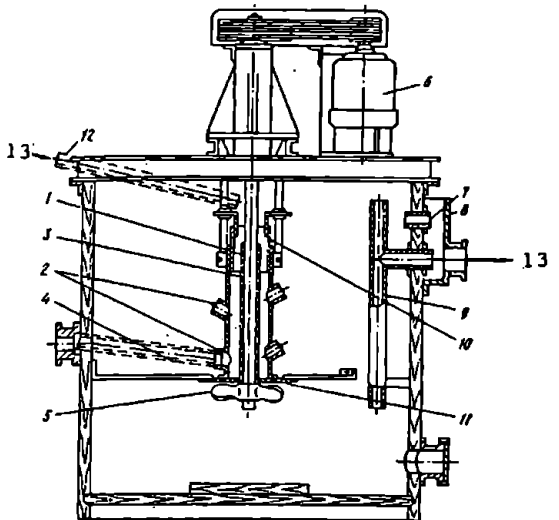
ხსნარის არეკით გამოტუტვა მაღალი ხარისხის მადნების გადასამუშავებლად გამოიყენება. მადანში ამოსადები ლითონის მინერალები იმდენად წყრილმარცვლოვანი და გაფანტულია, რომ აუცილებელი ხდება მადნის გულმოდგინედ დამსხვრევა და დაქუცმაცება.

არეკით გამოტუტვის პროცესში მოქმედების პრინციპის მიხედვით გამოიყენება: პნევმო-შექანი-კური და პნევმატიკური შემრევი კოლები.

პირველი ტიპის კოლებს განეკუთვნება საკრებელი კოლები (ამღვრევი კოდი) და პროპელერი-ანი კოლები. საკრებელი კოდი მარტივი ტიპის აპარატს წარმოადგენს, იგი პულპის დაგროვებისა და მის შეტივტივებულ მდგომარეობაში შესაკაეებლად გამოიყენება. ასეთი ტიპის კოლში პულპის არევა ვერტიკალურ ღილეზე დასმული მარტივი ჯვარედით ხორციელდება.

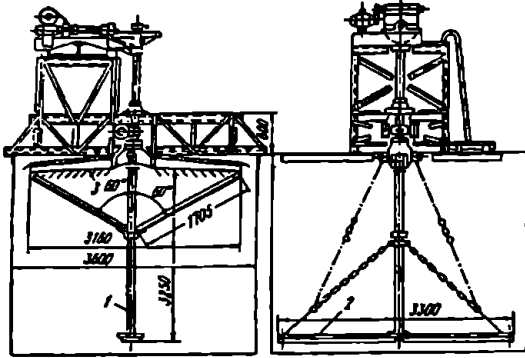
კოდი შემრევი პროპელერით (სურ.

II.22.) წარმოადგენს აპარატს, რომლის ცენტრში განლაგებულია მილი (დიფუზორი), რომელსაც საციკულაციო მილყელები გააჩნია. მილში გადის პროპელერიანი ღილე, იგი ელექტროძრავის მეშვეობით ტრიალებს. აპარატის მუშაობის დროს საციკულაციო მილყელებიდან პროპელერი იწოვს პულპას მილის ძირისკენ, რის შედეგადაც შემოწოვი ძაბრი წარმოიქმნება. ძაბრში შემოწოვა აგრეთვე პერის დიდი მასა პატარა-პატარა ბუშტულების სახით, რაც პულპის ინტენსიურ აერაციას უზრუნველყოფს. მბრუნავი პროპელერი ცენტრალური მილიდან ჩამომავალ პულპას უკუაგდებს და მას შეტივტივებულ მდგომარეობაში აკავებს. ზევით კენ ამავალი პულპა გვერდითი მილყელუბის მეშვეობით ისევ ცენტრალურ მილში შეიწოვება. ამრიგად, პულპის უწყვეტი ცირკულაცია ხორციელდება აპარატში. პროპელერიანი კოდი აერაციისა და პულპის არევის მაღალი ინტენსიურობით გამოირჩევა. ელექტროენერგიის მაღალი ხარჯვის გამო ამ ტიპის კოდის გამოყენება სპირად შეზღუდულია.



სურ. II.22. კოდი შემრევი პროპელერით.

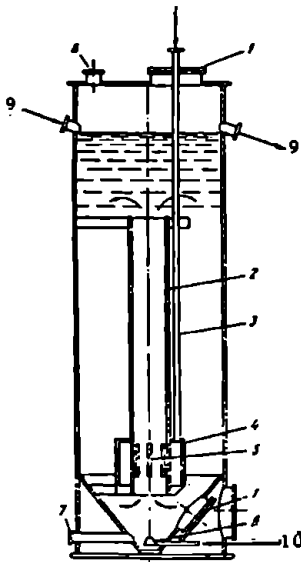
1. მილი (დიფუზორი); 2. მილყელა; 3. ვერტიკალური ღილე; 4. შილი; 5. პროპელერი; 6. ელექტროძრავა; 7. მტუტევი; 8. ჩამოსასხმელი ჯიბე; 9. გადმოსატვირთი მილი; 10. მიძრავი საყელო; 11. დამტეულია დისკი; 12. ხიხნა; 13. პულპა.



სურ. 11.23. პულპის გამოტუტვის კოდი ცენტრალური აეროლიფტი.

1 აეროლიფტი; 2 შემრევი სახვეტი.

აპარატის ფსკერზე დამტკარი პულპის მყარი ნაწილაკები სავარცხლისებრი შემრევი მეშვეობით ცენტრისკენ გადაადგილდება, საიდანაც აეროლიფტის მილით შეისრუტება. აეროლიფტით აზიდული პულპა მბრუნავ მანაწილებელ ღარებში გადადის და მათ ძირში განლაგებული ხვრელებიდან კოდის ზედაპირზე ნაწილდება. მყარი ნაწილაკები ისევე აპარატის ფსკერზე ილექება და აეროლიფტის მილისკენ მიიხეცება. აპარატის ასეთი მოწყობილობის მეშვეობით პულპის უწყვეტ ცირკულაცია მყარდება. აპარატის დაბალი სიმაღლითა და პულპის კარგი აერაციით გამოირჩევა. აპარატის ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ კოდში თანდათან გროვდება მსხვილმარცვლოვანი მძიმე ნაწილაკები, რის გამოც აუცილებელი ხდება აპარატის პერიოდული გაწურება და მისი გასუფთავება.



სურ. 11.24. ბარეკა კოდა.

1 აპარატის გასარემონტებელი ღოჯა; 2 აეროლიფტი; 3 შეკუმშული პერანგის მძმწიდი მდია; 4. საპაერთი პერანგა; 5. ვანაქრები (საკეთურება); 6. დასაურავთორა; 7. აპარატის დასაც-ლეული შტუკურა; 8. გამწოვი ვენტრ-ლაიკაბ მალეკლა; 9. პულპა; 10. პაერა.

პნეუმო-შექანიკური შემრევი აპარატი შედგება ცენტრალური აეროლიფტისა (პულპის შემწოვი მოწყობილობა — ცირკულატორი) და სავარცხლისებრი შემრევისგან (სურ. 11.23.).

აპარატი შედგება ცილინდრული ფორმის კოდისგან, რომელსაც ბრტყე-ლი ძირი გააჩნია. კოდის ცენტრში ჩაყენებულია აეროლიფტის მილი, მის ქვე-და ბოლოში სავარცხლისებრი შემრევაა მოთავსებული. აეროლიფტის მილში ზევიდან შეყვანილია მილი, რომელმაც შეკუმშული ჰაერი შეიბრუნა. აეროლიფ-ტის ზედა ბოლოდან გამოსულია ორი მანაწილებელი ღარი ხვრელებიანი ძირ-ით. ღარები კოდის პერიფერიის მიმართ ოდნავ დაქანებულია. ცენტრალური მი-ლის ნელი ბრუნვით (3-6 ბრ/წთ)

არევით გამოტუტვის პროცესში ყველაზე ფართოდ გამოყენება აპარატი, რომელიც პნეუმატკური შემრევი მოწყობი-ლობით არის აღჭურვილი. იგი პარეკა კოდის სახელწოდებ-ითაა ცნობილი (სურ. 11.24.). პარეკა ცილინდრული ფორმის მაღალი კოდა, რომელსაც კონუსური ძირი გააჩნია. როგორც წესი, კოდის სიმაღლე 3-4 მეტრ აღემატება მის დიამეტრს.

კოდის ცენტრში განლაგებულია აეროლიფტი (2), რომელიც საკმაოდ დიდი დიამეტრის მქონე ღია ბოლოებიან მილს წარმოადგენს. კოდის ქვედა ნაწილში ჩაყენებულია საპაერთი პერანგა (4). მილის (3) საშუალებით პერანგში შეკუმშული ჰაერი შედის. შემდეგ ჰაერი ნაკეთურების (5) საშუალებით ცალკეული ბუშტულების სახით შედის მილში (2). მილში მყოფი პულპის პაერთან შერევით პაერისა და პულპის ნარევი წარმოიქმნება. ნარევის სიმკვრივე პულპის სიმკვრივეზე ნაკ-ლებია, რის გამოც ნარევი ზევითკენ მიიწევს და მილის (2) ზედა ნაპირიდან გადმოსისხმება. უფრო მკვრივი პულპა, რომელიც არ შეიცავს პაერის ბუშტულებს, მილში ქვემოდან შედის აპარატის ასეთი მოწყობის მეშვეობით პულპა უწყვეტ ცირ-კულაციას განიცდის. არევის რეჟიმის დარღვევის შემთხვევა-ში (მაგალითად, პაერის მიწოდების შეწყვეტის შემთხვევაში)

აპარატის ქვედა ნაწილი შეიძლება ჩაიჭედოს დაღეჭილი მყარი ნაწილაკებით. მათ ამოსაყრელად გამოიყენება დისპერგატორი (6). დისპერგატორის მეშვეობით კონუსური ძირიდან (საჭიროების შემთხვევაში) შესაძლებელია შეკუმშული ჰაერის შეხერვა.

ჰაერის ზარგი პაჩუკაში აპარატის 100 მ³ მუშა მოცულობაზე 1-დან 3 მ³/წთ შეადგენს. ჰაერის წნევა დამოკიდებულია აპარატის სიმაღლესა და პულპის სიმკვრივეზე და, როგორც წესი, იგი 200–400 კპაა. ზღვრებში იცვლება. პაჩუკა კოდი ხის მასალისგან ან ფოლადისგან მზადდება (კოდი შიგნადად ხშირად ამოგებულია კოროზიულად მდგრადი მასალით).

პაჩუკა ტიპის აპარატის უპირატესობა ისაა, რომ მისი საშუალებით ძალზე შესქელებული პულპების (50–60% მყარის შემცველობით) გადამუშავება შეიძლება. იგი მარტივი მოწყობილობით გამოირჩევა (არ გააჩნია მოძრავი ნაწილები) და პულპის ინტენსიურ არევის უზრუნველყოფს.

არევით გამოტუტვის პროცესი შეიძლება ჩატარდეს როგორც პერიოდულ რეჟიმში, ცალკეული კოდების გამოყენებით, ასევე ხსნარების წინაღობიან უწყვეტ ნაქაღებში (პერკოლაციით გამოტუტვის პროცესის მსგავსად), სადაც რამდენიმე კოდი გამოიყენება და უხსნადი შლამის ნარჩენი წყლით ირეცხება. როგორც წესი, შლამი სასქელებელ (სალექარ) კოდში ირიცხება და ფილტრაციის შემდეგ გადაიყვება, ზოლო დედანხსნარი დეკანტაციის (დეკანტაცია – პულპის შესქელების დროს სასქელებელ კოდის გადასაშვებიდან გაკაპამებული ხსნარის გადმოსხმას ითვალისწინებს) და ფილტრაციის შემდეგ დაღეჭვის სააქროში იგზავნება. დედანხსნარიდან ლითონების დაღეჭვის შემდეგ ნარჩენი ხსნარი ისევ გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება.

2.1.4. წნევის ქვეშე გამოტუტვა

წნევის ქვეშე გამოტუტვა ორ მიზანს ისახავს – დაქარდეს მდნიდან ამოსაღები კომპონენტის ხსნარში გახსნა და გაუმჯობესდეს მყარის ხსნადობის ხარისხი, რომელიც, უკეთეს შემთხვევაში, ჩვეულებრივ ატმოსფერულ წნევაზე დაბალია.

წნევის ქვეშე გამოტუტვის პროცესის ჩასატარებლად დახურული ტიპის კოდი, ანუ ავტოკლავი გამოიყენება. ავტოკლავში მაღალი ტემპერატურის შექმნა შეიძლება, რაც აგრეთვე აჩქარებს გამოტუტვის პროცესს. ლითონური ნაერთების გახსნის დაქარებაში ხშირად მნიშვნელოვან როლს თამაშობს აირადი რეაგენტი, მაგალითად, ჟანგბადი. ჟანგბადის რაოდენობა ხსნარში დამოკიდებულია ხსნარის ზედაპირზე განვითარებული აირის წნევაზე. რაც უფრო მაღალია აირის წნევა, მით უფრო მეტია აირის რაოდენობა ხსნარში. ასეთ პირობებში ხსნარში მყარის გახსნის სიჩქარე იზრდება. ისეთი მასალა, როგორცაა სულფიდი, რომელიც ღია კოდის პირობებში უხსნადობით განიჭრება, იმ შემთხვევაში ხდება ხსნადი, თუ ავტოკლავში განვითარებული წნევა საკმარისი იქნება ჟანგბადის მნიშვნელოვანი რაოდენობით ხსნარში დაჭირხნისათვის. სულფიდების ავტოკლავში გამოტუტვის დროს მათი წინასწარი გამოწევა და ხსნად ფორმამი (ოქსიდურ ფორმამი) გადაყვანა აღარ არის აუცილებელი.

მაღალი წნევის ავტოკლავი განსაკუთრებულ სიმგრესა და კოროზიულ მდგრადობას საჭიროებს. ამიტომ იგი უფანგავი ფოლადის ან ტიტანისგან მზადდება. ავტოკლავი შიგნიდან ამოგებულია შუშის მასალით, ტყვიით ან სპეციალური აგურით და აღჭურვილია შემრევი მოწყობილობით. სითბოს შეყვანის ან არინების მიზნით ავტოკლავში შესაბამისად ჩაყენებულია სახურებელი ან საციკებელი.

პრაქტიკაში გამოიყენება როგორც ვერტიკალური, ასევე პორიზონტალური ტიპის ავტოკლავები. ორივე ტიპის ავტოკლავი რამდენჯერმე გრძელა (4–5-ჯერ) საკუთარ დიამეტრზე. სულფიდური კონცენტრატების გამოსატუტვი ავტოკლავი ოთხი კამერისგან შედგება და აღჭურვილია შემრევი მოწყობილობით. ოპტიმალური ტემპერატურის შეკაების მიზნით ამ ტიპის ავტოკლავში შეყვანილია საციკებელი კლავინილა.

გამოტუტვის პროცესი ტარდება რიგში ჩაყენებულ რამდენიმე ავტოკლავში. გამოტუტვის პროცესში, როგორც წესი, ნედლეულში შუმაგალი ლითონური ნაწილის 95% (90 წუთის განმავლობაში) ხსნარში გადადის. დედანხსნარი უხსნადი ნარჩენისგან სასქელებელ კოდებში ცალკელება და დაღეჭვის სააქროში იგზავნება.

2.1.5. ბაქტერიული გამოტუტვა.

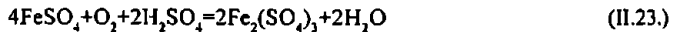
ავტოკლაური გამოტუტვის მსგავსად, ბაქტერიული გამოტუტვის დროსაც სულფიდური მინერალების დაჟანგვა ჟანგბადის მეშვეობით ხდება, მაგრამ ამ შემთხვევაში დაჟანგვის მისაღები სიჩქარე არა ტემპერატურისა და წნევის გაზრდით, არამედ პულსაში მიკროორგანიზმების (ბაქტერიების) შეცვლით ვითარდება. მიკროორგანიზმებში შემავალი ფერმენტები ჟანგვით პროცესში ბიოკატალიზატორის როლს ასრულებს.

ბაქტერიების მეტალურგიული თვისებები მე-20 საუკუნის დასაწყისში აშშ-ში აღმოაჩინეს. იუტის შტატში სპილენძის საბადოების მფლობელებმა გადაწყვიტეს უკვე მთლიანად გამოყენებული სპილენძის მალაროს წყლით დატბორვა. ორი წლის შემდეგ მალაროდან ამოტუმბულ წყალში, მოულოდნელად რამდენიმე ათასი ტონა სპილენძი აღმოაჩინეს. შემდეგ შეცნეიერებმა დაადგინეს, რომ მრავალრიცხოვან ბაქტერიებს შორის არის ისეთებიც, რომლებიც ზოგიერთი ლითონის გოგირდოვან ნაერთებს (მათ შორის სპილენძის) შთანთქავენ. ასეთ ბაქტერიებს კემოლიტოტროფები შეარქვეს, რაც ქართულად „ქეის შთანთქმელებს“ ნიშნავს.

ნივთიერების ასაგებად ბაქტერიებისთვის საჭიროა ატმოსფერული ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი, ხოლო ჟანგვითი პროცესის დროს გამოყოფილი ენერგია მათ ცხოველქმედებას (ნივთიერებათა ცვლას) ხმარდება.

მჟანგავი ბაქტერია მნიშვნელოვნად ზრდის გამოტუტვის სიჩქარეს სპილენძის სულფიდური მადნების გოგირდმჟავითი დამუშავების დროს.

ბაქტერიებს შორის ეფექტურობით გამოირჩევა თიოდამჟანგველი თიობაცილები (Thio – გოგირდშემცველი ქიმიური ნაერთი, უფრო ზუსტად, ნაერთი, რომელშიც ჟანგბადი გოგირდითაა ჩანაცვლებული, Theione, ბერძ., გოგირდი). ისინი ნივთიერების ცვლისთვის საჭირო ენერგიას იღებენ რეაქციიდან, რომელიც გოგირდის დაჟანგვით სულფატების მიღებას ითვლისწინებს; ასევე ფერადამჟანგველი (ფერო, ლათ. Ferrum – რკინა) თიობაცილები და გოგირდამჟანგველი ფერობაცილები, რომლებიც ააქტიურებს ორვალენტიანი რკინის სამვალენტიან რკინამდე დაჟანგვის რეაქციას:

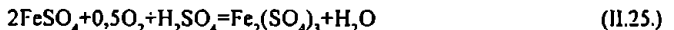


ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესში სულფიდების დაჟანგვის შექანიზმი საკმაოდ რთულია. თვლიან, რომ ფერადამჟანგველი თიობაცილების მონაწილეობა სულფიდის დაჟანგვაში შეიძლება იყოს პირდაპირი და არაპირდაპირი. პირველ შემთხვევაში სულფიდის ზედაპირზე დამატრებულ ბაქტერიებს ელექტრონები სულფიდიდან ჟანგბადზე გადააქვთ და უშუალოდ იღებენ მონაწილეობას ჟანგვით პროცესებში. მიმდინარე ქიმიური პროცესი გამოისახება რეაქციით (II.22.)

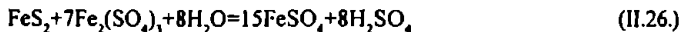
ჟანგვის შუალედური პროდუქტების სახით წარმოიქმნება ელემენტური გოგირდი, რომელიც ბაქტერიების არსებულ გარემოში ჟანგბადით იჟანგება და გოგირდმჟავას წარმოქმნის:



მეორე შემთხვევაში ბაქტერიების როლი, ორვალენტიანი რკინის სულფატის სამვალენტიანი რკინის სულფატამდე ჟანგვის რეაქციის დაჩქარებაში მდგომარეობს:



ჩვეულებრივი ტემპერატურებისა და ჟანგბადის წნევის პირობებში ბაქტერიების გარეშე ჟანგვის რეაქცია (II.25.) ძალზე ნელა მიმდინარეობს. რეაქციის (II.25.) შედეგად წარმოქმნილი სამვალენტიანი რკინის სულფატი ურთიერთქმედებს (ბაქტერიების მონაწილეობის გარეშე) სულფიდებთან და მათ სულფატებად ჟანგავს, მსგავსად რეაქციისა, რომელიც პირიტის ჟანგვის დროს მიმდინარეობს:



ამდგავარი რეაქციების სიჩქარე საკმაოდ მაღალია. აქედან გამომდინარე, სულფიდების დაჟანგვაში ბაქტერიების მონაწილეობა მხოლოდ სამვალენტიანი რკინის სულფატის რეგენერაციასთანაა დაკავშირებული. დადგენილია, რომ ბაქტერიების გამოყენებით სამვალენტიანი რკინის სულფატი 100–120 ჯერ მეტი რაოდენობით წარმოიქმნება, ვიდრე ბაქტერიების გარეშე. ბაქტერიული გამოტუტვა,

ბაქტერიების ცხოველქმედების ხელსაყრელ პირობებში (პულპის აერაცია პაერთ, ტემპერატურა 28-35°C, pH 1,7-2,4) უნდა მიმდინარეობდეს.

2.2. დალექვა

დალექვის პროცესი გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარიდან (რომელიც ამოსაღებ ლითონს შეიცავს) ლითონური ნაწილის გამოყოფასა და მის მყარ მდგომარეობაში გადაყვანას ითვალისწინებს.

პრაქტიკაში ძირითადად დალექვის ორი ხერხი გამოიყენება – ელექტროლიტური (უხსნადი ანოდებით) და ქიმიური.

ელექტროლიტური დალექვა ატმოსფერული წნევის პირობებში ტარდება, ხოლო ქიმიური დალექვის პროცესი, როგორც ატმოსფერულ, ასევე გაზრდილი წნევისა და მაღალი ტემპერატურების პირობებში ხორციელდება. თუ რომელიმე მეთოდში დედახსნარიდან ლითონის შერჩევითი დალექვა არ ხერხდება და ძირითად ლითონებთან ერთად მანარევი ლითონებიც გამოილექება, მაშინ აუცილებელია ხსნარის წინასწარი გასუფთავება. ლითონების სელექტიური გამოლექვის შესაძლებლობის შემთხვევაში ხსნარი წინასწარ გასუფთავებას არ საჭიროებს.

შედარებით ახალი მეთოდი, რომელიც ფართო გავრცელებას პოულობს ხსნარების გადაშუშებაში, გამხსნელით ექსტრაქციისა და ელექტროლიტური დალექვის კომბინაციას ითვალისწინებს. ექსტრაქციის პროცესში ხსნარის მინარევებისგან გასუფთავებასთან ერთად ხსნარიდან ლითონი გაცილებით მცირე მოცულობის თხევად ექსტრაქტში გადადის, ხოლო ექსტრაქტშიდან (ექსტრაქტიდან) იგი ისევ მცირე მოცულობის წყალხსნარებში კონცენტრირდება. ლითონით კონცენტრირებული წყალხსნარი ელექტროლიტურ დალექვას ექვემდებარება.

გამხსნელით ექსტრაქციის მსგავს კიდევ ერთ მეთოდში, სადაც აბსორბციის პროცესი გამოიყენება, დედახსნარიდან ამოსაღები ლითონი აქტივირებული ნახშირით გამოიყოფა.

დედახსნარიდან ლითონების ელექტროლიტური დალექვის პროცესი განხილულია ნედლეულიდან ფერადი ლითონების ამოღების ელექტროლიტურ პროცესში (ნაწ. II, თავი 3).

ქიმიური დალექვის პროცესში ამოსაღები ლითონი უხსნადი მყარი ნაერთის სახით ფორმირდება და ცალკეედება ხსნარისაგან. თუ ქიმიური მეთოდი სელექტიური გამოლექვის საშუალებას იძლევა, მაშინ დედახსნარი წინასწარ გასუფთავებას არ საჭიროებს.

ქიმიური გამოლექვა, ძირითადად, ამა თუ იმ დანაშატი რეაგენტის ხსნართან ურთიერთქმედებით ხორციელდება. დამხმარე მასალების სახით ლითონი, ქიმიური ნაერთი, აირი ან სითბო გამოიყენება. გამოლექვის შედეგად მიიღება ლითონის ან ლითონური ნაერთის ნალექი. ლითონური ნალექი, ლითონის აღდგენის მიზნით, შემდგომ გადაშუშავებას საჭიროებს.

ქიმიური გამოლექვის პროცესები, ძირითადად, ატმოსფერულ წნევაზე ტარდება. ზოგჯერ დალექვის რეაქციის დაჩქარების მიზნით პროცესი გაზრდილ წნევაზე და მაღალ ტემპერატურაზე ხორციელდება.

ექსტრაქციის (დაექსტრატების) სახელწოდებით ცნობილი დალექვის პროცესი ხსნარში გახსნილი ლითონის სხვა უფრო აქტიური (უფრო ელექტროუარყოფითი) ლითონით გამოთქვების რეაქციის უწყარვება.

დაექსტრატების პროცესში ერთი ლითონის მეორე ლითონით ჩანაცვლების რეაქცია ვითარდება. ხსნარზე დამატებული აქტიური ლითონი ხსნარიდან ამოსაღებ ნაკლებად აქტიური ლითონის იონებს ლითონამდე აღადგენს. აღდგენილი ლითონი ხსნარიდან გამოილექება, ხოლო მის ნაცვლად ხსნარში აქტიური ლითონი გაიხსნება.

დალექვის ეს მეთოდი დიდ მასშტაბებში გამოიყენება სპილენძის მადნის გროვის გამოტუტვის შედეგად მიღებული გაზაფხული ხსნარების (სპილენძი მხოლოდ $\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$ გ/ლ ოდენობითაა ხსნარში) გადასამუშავებლად. ამ პროცესში აქტიური ლითონის სახით რკინა ან ფოლადის ჯართი გამოიყენება, რომელიც კოლში თავსდება და დედახსნარის გამავალ ნაკადთან ურთიერთქმედებს. ჩანაცვლების რეაქციის შედეგად ხსნარიდან სპილენძი გამოიყოფა, ხოლო რკინა ხსნარში იხსნება. რკინის ჯართზე დალექილი (დაექსტრატებული) სპილენძი პერიოდულად ჩამოირეცხება. ნარევი წყლიდან სპილენძი ფილტრაციით ცალკეედება. დალექვის შედეგად მიღებული გალარბებული ხსნარი გამოტუტვის

პროცესს უბრუნდება. დაღვევის მთლიანი ტექნოლოგიური პროცესი საკმაოდ იაფი ჯდება და ძირითადი დანახარავები რკინის ჯართის შექმნაზეა გათვალისწინებული.

დაცემენტებით დაღვევა ამოსაღები ლითონით მდიდარი ხსნარების გასუფთავებისა და ამ ხსნარებიდან ლითონების გამოლევის მიზნითაც გამოიყენება. მაგალითად, ხსნარიდან, რომელშიც გოგირდის დაბალი შემცველობის ნიკელ-სპილენძის შტეინია (63%Ni, 28%Cu) გახსნილი, სპილენძი სელექტიურად გამოილევა იმ შემთხვევაში, თუ ხსნარს ფხვნილის სახით ნიკელი დამატება.

დაცემენტების პროცესი შემდეგ კოდებში ტარდება. გამოლეული სპილენძი ხსნარის ფილტრაციით ცალკედება, ხოლო ნიკელის ამოღების მიზნით, ნიკელშემცველი ხსნარი ელექტროლიტური პროცესის საშუალებით გადასუფთავდება.

დაცემენტებით ხსნარებიდან გამოილევა აგრეთვე ოქრო და ვერცხლი. მათი ხსნარში ჩანაცვლება ფხვნილისებრი თუთიით ხდება.

წყალბადით გამოლევის პროცესში ხსნარში გახსნილი ამოსაღები ლითონის ნაერთი ლითონამდე აღდგება და მყარი პროდუქტის სახით ხსნარიდან გამოიყოფა. აღდგენილი ლითონი საკმაოდ მაღალი ხარისხისაა და რაფინირებას არ საჭიროებს.

პროცესი მაღალი ტემპერატურისა და გაზრდილი წნევის პირობებში ტარდება. გარდა ამისა, გამოლევის პროცესის გასაადვილებლად ხსნარში ლითონის სადელი შეაქვთ. პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება ავტოკლავი, რომელიც პერიოდულ რეჟიმში მუშაობს და თანმიმდევრულად (ერთი მეორეს მიყოლებით) იტვირთება ხსნარით მანამ, სანამ სადღეზე ლითონის ნალექი განსაზღვრულ ზომებს მიაღწევს, რის შედეგადაც დაღვევის ციკლი მთავრდება და ავტოკლავიდან ნამუშევარი ხსნარი და ლითონური ნალექი გამოიტვირთება. მაგალითად, ლითონური ნიკელის ხსნარიდან გამოსაღებლად ნიკელის ამონიუმის ხსნარი გამოიყენება, რომელიც წყალბადის წნევის (3100კპა) ქვეშ 204°C-მდე ხურდება ავტოკლავში და რომელსაც სადელის სახით ნიკელის ფხვნილი ემატება. ხსნარის რამდენიმე ჩანატვირთიდან აღდგენილი ლითონი მანამ განიცდის დაღვევას, სანამ ფხვნილისებრი ნაწილაკები განსაზღვრულ სიღრმეს მიაღწევს. ციკლის დამთავრების შემდეგ ავტოკლავი ცარიელდება და ახალი ხსნარითა და სადელით იტვირთება შემდგომი ციკლის ჩასატარებლად.

დაღვევის მეთოდას, რომელიც წყალბადის სულფიდისა (გოგირდოვანი წყალბადი) და ამოსაღები ლითონის ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს ხსნარში, პროდუქტის სახით ლითონის სულფიდს იძლევა. პროცესი ტარდება ავტოკლავში, რომელიც ძლიერი შემრევი მოწყობილობით არის აღჭურვილი. მაღალი სისუფთავის აირადი წყალბადის სულფიდის შეტანით ავტოკლავში წნევა (1035კპა-ს) ვითარდება. ლითონშემცველი ხსნარი ავტოკლავში 120°C-მდე ხურდება. წყალბადის სულფიდის ადგილად ურთიერთქმედებს ნიკელთან, სპილენძთან, ტყეიასთან და თუთიასთან და მათ სულფიდებს წარმოქმნის. ამ მეთოდშიც სადელი გამოიყენება (სულფიდური ფხვნილის სახით). პროცესი პერიოდული მოქმედებისაა.

ხსნარის აორთქლებით დაღვევის პროცესში, ხსნარი მასში შეყვანილი წყლის ორთქლის მეშვეობით ხურდება. ეს მეთოდი ზოგიერთი ხსნარების დაღვევის მიზნით გამოიყენება. მაგალითად, ამიაკის შემცველ ლედახსნარის გახურებისას მასში შემავალი კომპლექსური ქიმიური ნაერთის აორთქლების შედეგად ამიაკით შეკავებული ლითონის ორენი თავისუფლდება და ხსნარში შემავალ სხვა იონებთან მათი ურთიერთქმედებით ლითონის ახალი მყარი ნაერთი გამოილევა.

პროცესი ტარდება ორთქლით გახურებულ, ცილინდრულ, მრავალფარკლიან კოშკში, რომელშიც ლედახსნარის ნაკადი ქვეითკენ ჩადინება, ხოლო გახურებული ორთქლი საწინააღმდეგო მიმართულებით (ზევითკენ) მიემართება. ძირის ჩამავალი ხსნარი თანდათან დარბობდება ამიაკით და ხსნარიდან ლითონი ახალი ქიმიური ნაერთის სახით გამოილევა. კოშკიდან წარმავალი ორთქლი ამიაკის გამოყოფის მიზნით კონდენსირდება, ხოლო კოშკის ძირში დაგროვილი ლამი ფილტრდება და ნალექის სახით ცალკეედება. დაღვევის ეს პროცესი უწყვეტ რეჟიმში ხორციელდება.

ქაშური დაღვევა შეესაბამება ჩატარებს ხსნარის PH-ის შეცვლითა და ქიმიური ნაერთის ხსნარზე დამატებით. ასეთ პირობებში ფორმირდება ახალი უხსნადი ნაერთები, ან ხსნარიდან გამოილეწება ნაერთები, რომლებიც მუჟა წყალხსნარში იხსნება, ხოლო ტუტე ხსნარში უხსნადი რჩება.

რკინა, როგორც წესი, ხსნარიდან დაჟანგვით გამოილევა ხსნარის აერაციით ან ხსნარზე ქიმიური ნაერთის დამატებით. დაჟანგვით ორვალენტიანი რკინა სამვალენტთან რკინაში გადადის და

მხოლოდ ამის შემდეგ ხდება მისი გამოლეკვა ხსნარადან ჰიდროოქსიდის სახით. ხსნარის აერაციის და არევის პირობებში, PH-ის გაზრდილი და ხსნარზე კირის დაბატებით ჰიდროოქსიდის სახით ისეთი ლითონები გამოილეკება სელექტიურად, როგორცაა რკინა, სპილენძი, კობალტი და ნიკელი. რკინა 3,5 PH-ზე ილეკება, სპილენძი – 5,8-ზე, კობალტი – 8,3-ზე, ბოლოს, ნიკელი – 9,4-ზე.

დალეკვის პროცესი, როგორც გოგირდშეკვამის, ასევე ნატრიუმის კარბონატიანი ხსნარების გადასამუშავებლად გამოიყენება. ორივე შემთხვევაში ქიმიური დალეკვა დამხმარე რეაგენტის საშუალებით ხორციელდება. რეაგენტის ხსნართან ურთიერთქმედებისას განსაზღვრულ PH-ზე უსხვადი ნაერთი წარმოიქმნება. ლითონის გამოსავალიანობა ძალზე მაღალია (100%-ს უახლოვდება). დალეკვი ლითონის შემცველობა 72–85%-ის ზღვრებშია. სუფთა ლითონის მიღების მიზნით აუცილებელია ნალექის შედგომა გადამუშავება.

დაბალი ხარისხის მადნის ნელლულის მჟაური გამოტუტვის (განხვეებით კარბონატული გამოტუტვისგან) შედეგად, როგორც წესი, ლითონით ძალზე ღარიბი (გაზავეული) ხსნარები მიიღება (მაგალითად, ურანის ნელლულის გადამუშავების დროს). ამიტომ დალეკვის ოპერაციების ჩატარების წინ, ლითონით ღარიბი დედახსნარი ლითონით გამდიდრებას, ანუ კონცენტრაციას საჭიროებს (კონცენტრაციის პროცესში ხსნარი ზოგიერთი მინარევისგანაც სუფთავდება). კონცენტრირების პროცესის შედეგად ხსნარში ლითონის შემცველობა იზრდება (მაგალითად, 1,0 გ/ლ-დან 10–40 გ/ლ-მდე).

გოგირდშეკვამიანი ღარიბი დედახსნარების (ლითონშემცველი წყალხსნარების) კონცენტრირება ორი მეთოდით შეიძლება განხორციელდეს – თხევადი ექსტრაქციით და იონმიმოცვლით.

პრაქტიკაში თხევადი ექსტრაქციის პროცესი უფრო ხშირად გამოიყენება.

ფართო გაგებით, ექსტრაქცია (აბოლება) ნივთიერების თხევად ფაზაში შერჩევითი ამოღების პროცესია. ნებისმიერი ექსტრაქციის პროცესისათვის მთავარია, რომ გამხსნელი („ამომღები“) თხევად მდგომარეობაში იმყოფებოდეს. რაც შეეხება ნარევეს, რომელიც ექსტრაქციას ექვემდებარება, იგი აირად, თხევად ან მყარ მდგომარეობაში შეიძლება იყოს.

სითხით აირის ექსტრაქცია აბსორბციის სახელწოდებით არის ცნობილი. მყარი ნივთიერებების სითხით ექსტრაქცია კი გამოტუტვაა, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიაში.

და ბოლოს, გახსნილი ნივთიერების ექსტრაქცია ერთი თხევადი ფაზიდან მეორეში, თხევადი ექსტრაქციის სახელს ატარებს. სითხე, საიდანაც გახსნილი ნივთიერების ექსტრაქცია ხდება, როგორც წესი, წყლიანი ფაზისგან (წყალხსნარისგან) შედგება, ხოლო სითხე, ანუ ექსტრაქტენტი, რომლის დახმარებითაც ნივთიერების ექსტრაქცია (აბოლება) ხორციელდება, ხშირად ორგანული წარმოშობის სითხეს წარმოადგენს. ორგანული ექსტრაქტენტი ერთ შემთხვევაში მხოლოდ სუფთა გამხსნელის სახით არის წარმოდგენილი, ხოლო ზოგჯერ მასში შედის აგრეთვე რეაგენტი (კომპონენტი, რომელიც ქიმიურად ურთიერთქმედებს ამოსალბ ნივთიერებასთან) და გამზავებელი (ნივთიერება, რომელიც ექსტრაქტენტის სიბლანტეს ამცირებს). წყლიანი ფაზა და ექსტრაქტენტი ერთმანეთთან შეურეელობით უნდა გამოირჩეოდეს.

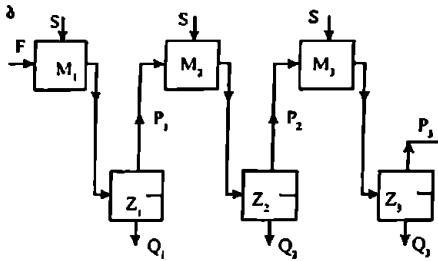
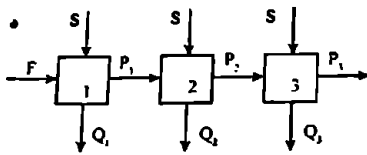
ზოგადად, თხევადი ექსტრაქციის პროცესი შეიძლება დაიყოს სამ სტადიად:

– მასიურ წყლიან ფაზაში ექსტრაქცირებადი ნივთიერების გადატანა დისპერსიული ფაზის (ექსტრაქტენტის) წვეთების ზედაპირისკენ;

– ექსტრაქტენტისა და გახსნილი ნივთიერების ურთიერთქმედება ფაზების გაყოფის საზღვარზე;

– ექსტრაქცირებული ნივთიერების შესვლა დისპერსიული ფაზის (ექსტრაქტენტის) წვეთებში.

პროცესის მალიმიტირებელ სტადიას გახსნილი ნივთიერების მასიურ წყლიან ფაზაში დიფუზია [(ლათინ. diffusio – გაერეკლება, მიმოღვრა) – გარე ძალების მოქმედების გარეშე ნივთიერებების ურთიერთშეღწევა, რომელიც იონების, ატომების, მოლეკულების ან უფრო მსხვილი ნაწილაკების მოძრაობითაა გამოწვეული] წარმოადგენს. ამიტომ თხევადი ექსტრაქციის პროცესი სითხეების ინტენსიური არევის პირობებში უნდა ტარდებოდეს. არევა მნიშვნელოვნად აჩქარებს წყლიან ფაზაში ნივთიერების დიფუზურ გადატანას დისპერსიული ფაზის წვეთების ზედაპირისკენ. ექსტრაქციის სიჭარბე დიდად არის დამოკიდებული დისპერსიული ფაზის ზომებზე: წვეთების პატარა ზომები საექტრაქციო წონასწორობის სწრაფ დამყარებას უწყობს ხელს.



სურ. II.25. თხევადი ექსტრაქციის განხორციელების სქემა: ა — პერიოდული პროცესი; ბ — უწყვეტ პროცესი.

ნება აპარატიდან.

თხევადი ექსტრაქციის უწყვეტ პროცესში ფაზების შერევა და დაწვდომა სხვადასხვა აპარატებში (ან აპარატის ნაწილებში) ხორციელდება (სურ. II.25.ბ). საწყისი ხსნარისა და ექსტრაქტის მასების შერევა M_1 , M_2 და M_3 შემრევებში ხორციელდება, ხოლო ფაზების გაყოფა Z_1 , Z_2 და Z_3 საწდომებში ხდება.

თხევადი ექსტრაქციის ხერხი, რომელიც მეტალურგიულ პრაქტიკაში (კერძოდ, ურანის მეტალურგიაში) გამოიყენება დედანსნარებიდან ლითონის გამოლევის წინ გამოიყენება, ირი საფეხურისგან შედგება.

პირველ საფეხურზე თვით ექსტრაქციის პროცესი ტარდება, ხოლო მეორე საფეხურზე ექსტრაქტიდან სასარგებლო ლითონების ამოღება ხდება.

ექსტრაქციის საფეხურზე ორგანული გამხსნელი (ექსტრაქტენტი) ურთიერთქმედებს ლითონის შეყვებულ დედანსნართან (სითხეები ერთმანეთში შეურევადია), შედეგად დედანსნარის ლითონის შემდეგნი ექსტრაქტენტში გადადის.

მეორე საფეხურზე ექსტრაქტი (ლითონით გაძლიერებული ექსტრაქტენტი) შერჩეულ წყალხსნართან ურთიერთქმედებს და ლითონი ექსტრაქტიდან ისევ წყალხსნარში გადადის. ეინაიდან ექსტრაქტისა და შერჩეული წყალხსნარის მოცულობა ბევრად ნაკლებია, ვიდრე საწყისი დედანსნარისა, საბოლოოდ ლითონი გაცილებით მცირე მოცულობაში გროვდება და მისი კონცენტრაცია ხსნარში შესაბამისად იზრდება. უწყვეტი თხევადი ექსტრაქციით ლითონის ამოღება 100%-ს უახლოვდება.

თანამშრომელმა სოხოსკოვსკიმ პროცესის, რომელიც მყარი და თხევადი ფაზების გაყოფის საზღვარზე მიმდინარეობს. უფრო ზუსტად, იონმიმოცვლა ერთსახელიანი (ერთნაირნიშნის) იონების შეტყვადი ურთიერთგაცვლაა, რომელიც ხსნარსა და მასთან კონტაქტში მყოფ მყარ უხსნად ნივთიერებას შორის მიმდინარეობს. მყარი ნივთიერება, რომელიც იონმიმოცვლას ახორციელებს, იონიტის სახელწოდებით არის ცნობილი.

იონიტი მაღალმოლეკულური უხსნადი მყარი ნივთიერებაა. იგი შედგება იონოგენური (აქტიური) ჯგუფებისგან, რომლებიც იონიტს იონამოცვლის უნარს ანიჭებს. იონმიმოცვლა იონიტის ერთადერთი ფუნქციაა, რომელსაც იგი ამჟღავნებს.

იონამოცვლის უნარით მრავალი ბუნებრივი და ხელოვნური ნაერთი განირჩევა. მათ შორის პრაქტიკული მნიშვნელობის მიხედვით პირველ ადგილზეა ფისებისა და ნანსიერის ფუბებზე წარმოქმ-

თხევადი ექსტრაქციის პროცესი შეიძლება ჩატარდეს როგორც პერიოდულ, ასევე უწყვეტ რეჟიმში. პერიოდული ექსტრაქციის სქემა წარმოდგენილია II.25 ა სურათზე. ექსტრაქტენტი (S) ირევა მასიურ წყლიან ფაზასთან (F), საიდანაც გახსნილი ნივთიერება ექსტრაქციას ექვემდებარება. წყლიან ფაზასა და ექსტრაქტენტს შორის წონასწორობის დამყარებისა და მათი გაყოფის შემდეგ რაფინატის (ექსტრაქტირებული წყლიანი ფაზის ნარჩენი) ფაზა (P_1) ხელშეწყობს მუშაობა ექსტრაქტენტით. მიღებული რაფინატის ახალი ფაზა (P_2) კიდევ ერთხელ მუშაობს ექსტრაქტენტით. ამ ოპერაციების რამდენჯერმე ჩატარების შემდეგ ბოლო აპარატიდან მიღებული რაფინატი (P_3), ექსტრაქტენტისგან სუფთავდება.

ფაზების შერევა და მათი გაყოფა ერთ აპარატში პერიოდული რეჟიმის დიდ ნაკლს წარმოადგენს. საწყისი ხსნარისა და ექსტრაქტენტის მომდევნო პორციების შეტანა აქ არ შეიძლება მანამ, სანამ წინა ექსტრაქტიაზე მიღებული ფაზები არ განიღვე-

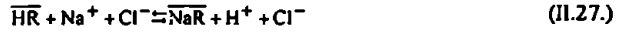
ნილი სინტეტიკური ფისები - იონ-მიმოცვლის ფისები.

იონმიმოცვლითი ფისების მაკრო-მოლეკულა პოლიმერული მოლეკულეების მოქნილ-ხლართული დახეობისაგანაა შედგარი. მოლეკულების ნახშირბადიან ჯაჭვებს გააჩნიათ კემბრები - ზიღები, რომლებიც ფისის მატრიცას (კარკას) წარმოქმნის (სურ. II.26).

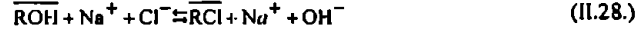
მატრიცა თან ზიღავს მასზე უძრავად დამაგრებულ დამუხტულ ჯგუფებს - ფიქსირებულ იონებს. ფიქსირებული იონების მუხტი ფისის შიგნით განაწილებული, მოპირდაპირე მუხტის მქონე მოძრავი იონებით, ანუ ე.წ. საწინააღმდეგო იონებით ნეიტრალდება.

ერთმანეთთან შეკრული ფიქსირებული და საწინააღმდეგო იონები იონოგენურ ჯგუფებს წარმოქმნის. საწინააღმდეგო იონების ძვრადობა ხელს უწყობს საწინააღმდეგო იონების მიმოცვლის რეაქციაში შესვლას ხსნარის იონებთან, რომლებიც იგივე ნიშნის მუხტს ატარებს. იონიტის მატრიცა უარყოფითი ფიქსირებული იონებით - პოლიანონს წარმოადგენს, ხოლო მატრიცა დადებითი ფიქსირებული იონებით-პოლიკათიონს. თუ ფიქსირებული იონი უარყოფით მუხტს ატარებს, მაშინ იონიტი კათიონების მიმოცვლის უნარით განიზრგება და იგი კათიონიტის სახელით არის ცნობილი, ხოლო თუ ფიქსირებული იონის მუხტი დადებითია, მაშინ იონიტს ანიონების მიმოცვლის უნარი გააჩნია და იგი ანიონიტს წარმოადგენს.

ელექტროლიტურ ხსნარებთან კონტაქტის დროს კათიონიტები მათ სტრუქტურაში მყოფ საწინააღმდეგო იონს, მაგალითად, კათიონ H⁺-ს, ხსნარში შემავალი სხვა კათიონის ექვივალენტურ რაოდენობაზე ცვლის:



ანალოგურად, ელექტროლიტურ ხსნარებთან კონტაქტის დროს ანიონიტები მათ სტრუქტურაში მყოფ საწინააღმდეგო იონს, მაგალითად, ანიონ OH⁻-ს, ხსნარში შემავალ სხვა ანიონის ექვივალენტურ რაოდენობაზე ცვლის:



ამ განტოლებებში R-ით წარმოდგენილია იონიტის კარკასი, იონიტის ფაზა კი ზანითაა აღნიშნული.

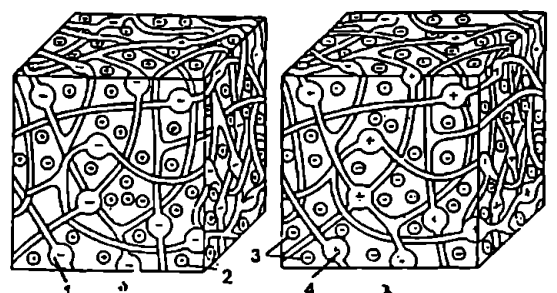
იონმიმოცვლა შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ იონოგენური ჯგუფების დისოცირებული მდგომარეობის პირობებში.

იონმიმოცვლითი ფისები H⁺-სა და OH⁻-ის საწინააღმდეგო იონების შემცველი იონოგენური ჯგუფების დისოციაციის ხარისხის მიხედვით იყოფა ძლიერ ან სუსტმჟავურ კათიონიტებად და ძლიერ ან სუსტტუტე ანიონიტებად.

მაგალითად, ისეთი იონოგენური ჯგუფები, როგორცაა - SO₃H ან PO₃H₂, წყალხსნარებში, პრაქტიკულად, მთლიანად დისოცირდება, ამიტომ ამ ჯგუფების შემცველი კათიონიტები ძლიერმჟავა კათიონიტებს წარმოადგენს.

ასეთ მჟავაში შემავალი კათიონიტების კათიონების მიმოცვლის უნარი pH-ის ფართო ინტერვალში, ანუ მჟავა, ნეიტრალურ და ტუტე გარემოში მელაენდება. პირიქით, კათიონიტები, რომლებიც სუსტდისოცირებად კარბოქსილურ ჯგუფებს (COOH) შეიცავს, სუსტმჟავიანებს განეკუთვნება. მათი იონმიმოცვლითი უნარი მხოლოდ ტუტე გარემოში მელაენდება.

ძლიერტუტე ანიონიტები ანიონების მიმოცვლის უნარს, როგორც მჟავა, ასევე ტუტე გარემოში ამჟღავნებს; იონოგენური ჯგუფების სახით მათში შედის ადვილად დისოცირებადი მეთოხეული ამონიუმის ჯგუფები, ან - პირილინების ტუტეები ან - მათი მარილები.



სურ. II.26. კათიონიტის (ა) და ანიონიტის (ბ) სივრცობრივი მოდელები.

14. მატრიცა ფიქსირებული იონებით; 2,3. საწინააღმდეგო იონებით.

სუსტტუტე ანიონიტების შემადგენლობაში შედის პირველადი, მეორადი და მესამეული ამინო-ვაკუფები, ან პირიონის ვაკუფები. ამ ანიონიტების გამოყენება მხოლოდ მთავა გარემოში შეიძლება. იონიზაციული ფისების სინთეზი ორგანული ნაერთების მონომერული მოლეკულების პოლიმერიზაციის რეაქციების მეშვეობით ხორციელდება. იონოგენური ვაკუფი საწყისი მონომერში, ან უკვე დამზადებულ მატრიცაში შეაქეთ. ფართოდაა გავრცელებული იონიზაციული ფისები მკაფიოდ გამოხატული ფიზიკური ფორმებით – მაკროფორიანი ფისები. მათ მისაღებად პოლიმერიზაციის პროცესში, რეაქციულ მასაში რომელიმე ინერტული ორგანული გამოსხვლი (უმაღლესი ნახშირწყალბადები ან სპირტები) შეაქეთ. გამოსხვლი წაიტაცება მასით, ხოლო შემდეგ სიერცობრივი თანაპოლიმერიდან აქროლით განიღვენება. იონიზაციული ფისები, როგორც წესი, სწორი სვერული ფორმის გრანულების სახით მზადდება. გრანულების ზომები 0,5–3 მმ შეადგენს.

ექსტრაქციის პროცესის მსგავსად, იონიზაციული პროცესიც ორი საფეხურისგან შედგება და დედახსნარიდან ლითონების უფრო მცირე მოცულობის ხსნარში გადაყვანას ითვალისწინებს. პირველ საფეხურზე ლითონი დედახსნარიდან იონიზაციული რეაქციის შედეგად იონიზირებული ფისებზე გადადის. მეორე საფეხურზე კი ლითონი უარყოფითი იონიანი ძლიერი ხსნარით (მარილწყლით) ჩამოირეცება ფისებიდან. ნარევი ხსნარი, რომელშიც ლითონი გადადის, მოცულობით გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე დედახსნარი, ამიტომ ნარევი ხსნარში ლითონის კონცენტრაცია გაზრდილია. ჩამორეცების შემდეგ ლითონისგან თავისუფალი ფისები ხელმეორედ გამოიყენება იონიზაციული პროცესში. ექსტრაქციის პროცესის მსგავსად, იონიზაციული პროცესიც უწყვეტი მოქმედებისა და ლითონის გამოსულიანობა აქაც 100%-ს უახლოვდება.

დალექვის კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც ნატრიუმის კიდროოქსიდის ხსნარში ოქსიდური მადნების წნევის ქვეშ გამოტუტვის შედეგად მიღებულ გაკამკამებული ხსნარების დასალექად გამოიყენება, ხსნარის დაშლას ითვალისწინებს. შემდეგ კოლდ მთათესებულ ხსნარში ხსნარიდან გამოსალექი ნიეთიერებისგან დამზადებული კრისტალური სადელი შეაქეთ. სადელი ხელს უწყობს ხსნარიდან ნიეთიერების გამოლექვას და მის ფორმირებას:



მიღებული სამიქდრატინი ლითონი საკაოდ სუფთაა. ხსნარის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი ნატრიუმის კიდროოქსიდი იფილტრება და გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება. გამოლექვის პროცესში ხსნარის ტემპერატურა 25–50°C-ს შეადგენს. ამ ტემპერატურების ზღვრებში ფორმირდება მარცვლოანი პროლექტი, რომელიც ფილტრაციის პირობებს აკმაყოფილებს.

თავი 3. ნელეუქსიდან შირადი ლითონების აპოლუგის ელექტროლიტური პროცესები

ელექტროლიტური (ელექტროქიმიური) პროცესი (ელექტროლიზი) ლითონების სხვადასხვა ნახვარპროლექტიდან ამოღების, ლითონების დაყოფისა და მისი გასუფთავების ერთერთი ეფექტური და ფართოდ გავრცელებული მეთოდი. მისი უპირატესობა ისაა, რომ იგი უწყვეტი პროცესის დიდ მასშტაბებში ჩატარების საშუალებას იძლევა.

ელექტროლიტური დალექვისა და ელექტროლიტური რაფინირების პროცესები ლითონების იონების ერთობლივი განმუხტვის მოვლენებს ეფუძნება.

ელექტროლიზი ხორციელდება მკარულ ელექტროწრედში, სადაც ელექტროენერგიის წყაროდან შემოსული მუდმივი დენი მიეწოდება ელექტროლიტის ხსნართან კონტაქტში მყოფ ელექტროდს (ანოდს). ანოდისგან ხსნარის გავლით ელდენი გადადის ელექტროლიტის ხსნართან კონტაქტში მყოფ მეორე ელექტროდზე (კათოდზე), საიდანაც ელდენი ისევ ელექტროენერგიის წყაროს უბრუნდება. ელექტროლიტის ელექტროგამტარობა განპირობებულია მასში დადებითი და უარყოფითი ელექტროდით დამუხტული იონების ან ნაწილაკების არსებობით. დადებითად დამუხტული ნაწილაკები – კათიონები – კათოდისკენ მიემართება (გარედან მოედებული მუდმივი ელექტრული ძაბვის მოქმედების შედეგად), ხოლო უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები – ანიონები – ანოდისკენ გადაადგილდება. კათიონებისა და ანიონების მიძრაობით ელდენი ელექტროლიტის ხსნარს გადაეცემა. ელექტროლიტის ხსნარის

სახით (კარგად უნდა ატარებდეს ელენეს) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყალხსნარი, არაწყალხსნარი და აგრეთვე მარილის ნაღობები. ელექტროლები, როგორც მყარი, ასევე თხევადი სახით გამოიყენება. თუ ელექტროლიზი ნახევარპროდუქტიდან (ელექტროლიტური ხსნარებიდან) ლითონის ამოღების მიზნით ტარდება (ამ პროცესს ელექტროლიზით ლითონის მიღებას უწოდებენ), მაშინ უხსნადი (ანოდი არ იხსნება ელექტროლიტში) ანოდი გამოიყენება და ლითონი ელექტროლიტის ხსნარიდან გადაის კათოდზე (ხსნარში მყოფი ლითონის ნაერთი იშლება ხსნარზე მოდებული ძაბვით და წარმოქმნილი ლითონის იონი-კათონი კათოდზე განიშუბტება). ლითონის გასუფთავების დროს კი (ასეთ პროცესს ელექტროლიზით ლითონის რაფინირებას უწოდებენ) გასასუფთავებელი ლითონისგან დამზადებული ხსნადი ანოდი გამოიყენება, რომელიც ხსნარში იხსნება და იონური მდგომარეობიდან კათოდზე განიშუბტება.

ამა თუ იმ ლითონის კათონის კათოდზე განმუხტვის ან მისი ანოდზე იონურ მდგომარეობაში გადასვლის შესახებ ზოგადი მსჯელობა ძაბვითა მწკრივის (ელექტროქიმიური მწკრივი) მიხედვით შეიძლება (ცხრილი II.1.)

ცხრილი II.1.

ლითონების ძაბვითა მწკრივი (სტანდარტული პოტენციალები, 25°C-ზე) ვოლტებში

Li/Li ⁺	-3,045	Al/Al ³⁺	-1,660	In/In ⁺	-0,250	Cu/Cu ⁺	+0,520
Cs/Cs ⁺	-2,920	Mn/Mn ²⁺	-1,150	Ni/Ni ²⁺	-0,250	Rh/Rn ⁺	+0,600
Rb/Rb ⁺	-2,920	Zn/Zn ²⁺	-0,763	Sn/Sn ²⁺	-0,136	Te/Te ⁺	+0,720
K/K ⁺	-2,922	Cr/Cr ³⁺	-0,740	Pb/Pb ²⁺	-0,126	2Hg/Hg ₂ ²⁺	+0,789
Ba/Ba ²⁺	-2,900	Cr/Cr ³⁺	-0,560	Fe/Fe ²⁺	-0,036	Ag/Ag ⁺	+0,799
Sr/Sr ²⁺	-2,890	Ga/Ga ³⁺	-0,550	H ₂ /H ⁺	-0,000	Rh/Rh ⁺	+0,800
Ca/Ca ²⁺	-2,870	Fe/Fe ²⁺	-0,440	Sn/Sn ²⁺	+0,010	Hg/Hg ²⁺	+0,854
Na/Na ⁺	-2,712	Cd/Cd ²⁺	-0,403	Sb/Sb ³⁺	+0,212	Pd/Pd ²⁺	+0,987
La/La ³⁺	-2,370	In/In ⁺	-0,340	Bi/Bi ³⁺	+0,226	Pt/Pt ²⁺	+1,200
Mg/Mg ²⁺	-2,370	Te/Te ⁺	-0,336	As/As ³⁺	+0,247	Au/Au ⁺	+1,500
Be/Be ²⁺	-1,850	Co/Co ²⁺	-0,277	Cu/Cu ²⁺	+0,337	Au/Au ⁺	+1,580
Ti/Ti ²⁺	-1,750			Co/Co ²⁺	+0,450		

ძაბვითა მწკრივის მიხედვით (ცხრილი II.1.), რაც უფრო დადებითია კათონი, მით უფრო მეტია მისი კათოდზე განმუხტვის შესაძლებლობა და ესე იგი, მით უფრო ნაკლებია შესაბამისი ლითონის ანოდური გახსნის შესაძლებლობა.

კათონების განმუხტვა ან ანოდური გახსნა უბრალო პროცესს კი არ წარმოადგენს, არამედ ფაქტობრივად ელექტროდული პროცესია, რომელიც რთულ ელექტროქიმიურ მოვლენასთანა დაკავშირებული. ელექტროდულ პროცესში შედის ყველა ის ცვლილება, რომელიც წონასწოროლიდან განსხვავებულ პოტენციალზე დროის განმავლობაში მიმდინარეობს. ელექტროდული პროცესი რამდენიმე სტადიად შეიძლება დაიყოს:

1. ხსნარის სიღრმეიდან იონის გადაადგილება და მისი ელექტროდის ზედაპირიდან იმ მანძილით დამორბეულ არეში შესვლა, საიდანაც იონის აღდგენის ან დაჟანგვის ელექტროქიმიური რეაქცია შეიძლება განვითარდეს.

ეს სტადია ძირითადად დიფუზიის ხარჯზე ხორციელდება; დიფუზია ხსნარის მოცულობასა და ელექტროდის ზედაპირთან მახლობელ არეში გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციების სხვაობის შედეგად ეითარდება; ელექტროქიმიურ რეაქციაში მონაწილეობის გამო ხსნარში გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია ელექტროდის ზედაპირთან ნაკლებია.

ელექტროდის ზედაპირთან მორეაგირე იონების მახლობლის (ერთერთი აუცილებელი სტადიაა ელექტროდულ პროცესში) გარეშე ელექტროდული პროცესი არ მიმდინარეობს (ელექტროდის ზედაპირის იონებით მომარაგება ელექტროდული პროცესის სელის პირობას წარმოადგენს);

2. თვით ელექტროქიმიური რეაქცია, რომლის შედეგადაც საბოლოოდ იონი მუხტს იცვლის; კათოდზე ელექტრონები ელექტროდიდან იონზე გადაის და ადადგენს მას, ხოლო ანოდზე იონი უარყოფით მუხტს გასცემს და იჟანგება;

3. ახალი ნივთიერების სახით ელექტროლიზის საბოლოო პროდუქტის წარმოქმნა. თუ პროდუქტი აირია (მაგალითად, წყალბადი), მაშინ ბოლო სტადიაზე წარმოიქმნება ჯერ მოლეკულები ატომებიდან,

ბოლო შემდეგ აირის ბუმბუტები, რომლებიც ელექტროდის ზედაპირიდან განიღვებნება. იმ შემთხვევაში, თუ ელექტროლიზის პროდუქტი მყარი ნივთიერებაა (მაგალითად ალდენილი ლითონი), მაშინ ბოლო სტადიაზე მისი კრისტალური გისოსის წარმოქმნა ხდება. თუ ერთდროულად ორი ან უფრო მეტი კათიონი განიუხტება, მაშინ მყარი ხსნარები ან ინტერმეტალური ნაერთები წარმოიქმნება. და ბოლოს, თუ პროცესის პროდუქტი იონია, რომელიც ხსნარში რჩება (მაგალითად Fe^{2+} -ის Fe^{3+} -მდე ალდენის დროს), მაშინ ბოლო სტადიაზე ეს იონი მისი წარმოქმნის ადგილიდან (ელექტროდის ზედაპირიდან) ხსნარის სიღრმეში განიღვებნება.

პირველი ორი სტადიიდან ყველაზე ნელი სტადიის სიჩქარე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს მთლიანი ელექტროდული პროცესის სიჩქარეზე. ამიტომ თუ ელექტროქიმიური რეაქციის სიჩქარე დიფუზიის სიჩქარეზე დაბალია, მაშინ ელექტროდული პროცესის საერთო სიჩქარე, ძირითადად, ელექტროქიმიური რეაქციის სიჩქარით განისაზღვრება. ნელი დიფუზიის შემთხვევაში კი, პირიქით, პროცესის სიჩქარე დიფუზიის სიჩქარით განისაზღვრება.

ამა თუ იმ ლითონური ნაერთიდან ელექტროლიზით ლითონის ამოღება (მიღება) როგორც მაღალ ტემპერატურაზე (გამდნარი მარილებიდან), ასევე დაბალ ტემპერატურებზე (წყალხსნარებიდან) ხორციელდება.

ელექტროლიტური დნობის დროს ნივთიერებების განცალკევება ელექტროქიმიური პროცესების შედეგად ხორციელდება. ამ გზით იწარმოება მრავალი მსუბუქი ლითონი, კერძოდ, მაგნიუმის ქლორიდიდან მაგნიუმი. გამდნარი მაგნიუმის ქლორიდი დისოცირებულია მაგნიუმისა და ქლორის იონებად. ნაღვობში ელდენის გატარების შემთხვევაში უარყოფით ელექტროდზე (კათოდზე) მაგნიუმი ალდება:



პროცესის ტემპერატურა მაგნიუმის დნობის წერტილზე მაღალია. მაგნიუმი თხევად მდგომარეობაში გამოიყოფა, იგი არ იხსნება $MgCl_2$ -ში, მასზე უფრო დაბალი კუთრი წონა გააჩნია და ამიტომ ნაღვობის ზედაპირზე ამოტივტივდება. მაგნიუმის თხევადი ფენა ადვილად ცალკეედება მაგნიუმის ქლორიდის ნაღვობისგან. ელექტროლიტის გამდნარ მდგომარეობაში შეკავებისა და ნაღვობში სარეაქციო ტემპერატურის შენარჩუნებისთვის უწყვეტ რეჟიმში მიმდინარე ელექტროლიტური პროცესი სითბოს გარეგან მიწოდებასაც საჭიროებს.

დაბალ ტემპერატურაზე წყალხსნარში მიმდინარე ელექტროლიტური პროცესი ფართოდ გამოიყენება ხსნარებიდან ლითონების ამოსაღებად (დასალექად). ხსნარი, რომელიც ელექტროლიზს ექვემდებარება, ფაქტობრივად ელექტროლიტს წარმოადგენს. თუ მას შესაბამისი სიდიდის მუდმივი დენის ძაბვა ე.წ. დაშლის ძაბვა მოეძება, იგი დაიშლება. ხსნარში შემავალ ყოველ ლითონურ ნაერთს განსაზღვრული დაშლის ძაბვა გააჩნია (ცხრილი II.2.)

ცხრილი II.2.

ნაერთის დაშლის ძაბვა

ელექტროლიტი	დაშლის ძაბვა, ვოლ.	ელექტროლიტი	დაშლის ძაბვა, ვოლ.
ფოთის სულფატი	2,55	ამონიუმის ქიდროქსიდი	1,74
თუთიის ბრომიდი	1,80	გოგირდმჟავა	1,67
ნიკელის სულფატი	2,09	აზოტმჟავა	1,69
ნიკელის ქლორიდი	1,85	ფოსფორმჟავა	1,70
ტყეის ნიტრატი	1,52	მონოქლორმჟავა	1,72
კადმიუმის სულფატი	2,03	დიქლორმჟავა	1,66
კადმიუმის ნიტრატი	1,98	ქლორმჟავა	1,65
კობალტის სულფატი	1,92	ძმარმჟავა	1,57
კობალტის ქლორიდი	1,78	სამქლორმჟავა	1,51
სპილენძის სულფატი	1,49	პიდროქლორმჟავა	1,31
ვერცხლის სულფატი	0,80	მეთანმჟავა	0,95
ვერცხლის ნიტრატი	0,70	იოდმჟავა (HI)	0,52
ნატრიუმის ქიდროქსიდი	1,69	პიდრობრომმჟავა	0,94
კალიუმის ქიდროქსიდი	1,67		

სხვადასხვა ხასის ელექტროლიტებისთვის ძაბვის სიდიდეები სხვადასხვაა. ძაბვის ცვლილება დამოკიდებულია აგრეთვე ხსნარის კონცენტრაციაზე, ელექტროდის შემადგენლობაზე, ელექტროლიზური

აბაზანის ზომებზე, ხსნარის ტექნურაზე და ხსნარში შეტანილ რეაგენტზე, რომელიც აბაზანის მუშაობაზე ახდენს ზეგავლენას. თუ ხსნარში რამდენიმე ლითონია გახსნილი, მაშინ კათოდზე პირველად ის ლითონი გამოილეკება, რომლის ნაერთიც ყველაზე დაბალ ძაბვაზე იშლება. დანარჩენი ლითონები კი ხსნარში გახსნილ მდგომარეობაში რჩება მანამ, სანამ ძაბვა საკმაოდ არ გაიზარდება და მათ ნაერთებსაც არ დაშლის. მაგალითად, სპილენძის სულფატის წყალხსნარის დაშლის ძაბვა 1,49 ვოლტს შეადგენს, ხოლო თუთიის სულფატი 2,55 ვოლტზე იშლება. ამიტომ სპილენძისა და თუთიის სულფატების ნარევი ხსნარიდან 1,49 ვოლტზე მხოლოდ სპილენძი გამოილეკება კათოდზე.

ელექტრონენერჯის ხარჯი საკმაოდ დიდ ზეგავლენას ახდენს ქარხნის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. ამიტომ ელექტრონენერჯის დაზოგვასა და მისი ხარჯის შემცირებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ელექტროდებზე მოკლე ჩართებისა და დენის გაპარვის შემოწმების მიზნით ელექტროლიზირების (ელექტროლიზის აბაზანა) ელექტროწრფი მუდმივი კონტროლის ქვეშ იმყოფება.

ელექტროლიზის პროცესის პარამეტრებისა და მაჩვენებლების განმსაზღვრელ ძირითად მახასიათებლებში შედის დენის სიმჭიდროვე, გამოსავალი დენის მიხედვით, ძაბვა აბაზანაზე და ელექტრონენერჯის კუთრი ხარჯი.

დენის სიმჭიდროვე ელექტროლიზის ყველაზე მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს. იგი გამოისახება ამპერებში ელექტროდის ზედაპირის ერთეულზე ($D = I/S$). მეტალურგიაში დენის სიმჭიდროვე გამოისახება ამპერებში კათოდის 1 მ² ფართობზე.

ფარადეის კანონის თანახმად, გამოლეკილი ლითონის რაოდენობა დროისა და ამპერაჟის ფუნქციას წარმოადგენს. ამ კანონის მიხედვით, 96500 კულონი (ამპერი x წამებზე) ელექტრობა გამოლეკავს ლითონის ექვივალენტურ წონას (ატომური წონა გაყოფილი ელენტობაზე) გრამებში. თუმცა, რეალურად კათოდზე თეორიულ რაოდენობაზე ნაკლები ლითონი ილეკება. ეს იმით აიხსნება, რომ ელდენის ნაწილი თანმდევ ელექტროქიმიურ პროცესებზე და დენის გაპარვაზე მოდის (იხარჯება).

ძირითად ელექტროქიმიურ პროცესზე დენის გამოყენების ხარისხი, ანუ გამოსავალი, დენის მიხედვით, ფერადი ლითონების ელექტრომეტალურგის პრაქტიკაში, ძირითადად, დენის მიხედვით კათოდურ გამოსავალს უკავშირდება, ეინაიდან კათოდზე გამოყოფილი ლითონური მასა სასაქონლო პროდუქციის საბოლოო გამოსავლიანობას განსაზღვრავს. დენის მიხედვით ლითონის თეორიული კათოდური გამოსავალი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\eta_{\text{კათ.}} = D_{\text{ლ}} + D_{\text{კ}} \quad (II.31.)$$

სადაც $D_{\text{ლ}}$ – ლითონის კათოდების განმუხტვისათვის საჭირო დენის სიმჭიდროვეა; $D_{\text{კ}}$ – დენის სიმჭიდროვე კათოდზე.

გამოსავალი, დენის მიხედვით შეიძლება გამოისახოს როგორც ერთეულებში, ასევე – პროცენტებში. ქარხნულ პირობებში გამოსავალი დენის მიხედვით განისაზღვრება (მრავალი ფაქტორის ზეგავლენის გათვალისწინებით) შემდეგი გამოსახულებით:

$$\eta = (P_{\text{კ}} + P_{\text{კათ.}})100 = (P_{\text{კ}}/qI\tau)100\% \quad (II.32.)$$

$P_{\text{კ}}$ – ლითონის კათოდური ნალექის პრაქტიკული მასა;

$P_{\text{კათ.}}$ – ლითონის კათოდური ნალექის თეორიული მასა (გამოთვლილი ფარადეის კანონით);

I – დენის ძალა, ამპ;

τ – ელექტროლიზის პროცესის ხანგრძლივობა, სთ;

q – ლითონის ელექტროქიმიური ექვივალენტი, გ/ამპ.სთ.

პრაქტიკაში η -ზე (გამოსავალი, დენის მიხედვით) ყველაზე დიდ გავლენას მოკლე ჩართვა და დენის გაპარვა ახდენს.

პროცესის შეცვლა პირობებში მიმდინარეობისას, ანუ მისი უსასრულოდ დაბალი სიჩქარის დროს ანოდსა და კათოდს შორის თეორიული ძაბვა ნულისკენ ისწრაფის. ეს იმით აიხსნება, რომ ანოდისა და კათოდის საპირისპირო ნიშნის პოტენციალების აპოლოტური სიდიდეები პრაქტიკულად ტოლია. პროცესის სასრული სიჩქარით ჩატარების დროს აბაზანაზე მოდებული ძაბვა პროცესის სიჩქარის პროპორციულად იწყებს ზრდას. ამასთან, ელდენი კონცენტრული პოლარიზაციისა (რომელიც ანოდისა და კათოდის მახლობელ ფენებში ლითონის კონცენტრაციის სხვაობის გამო წარმოიქმნება)

და ელექტროლიტის წინაღობის გადალახვაზე იხარჯება. ელდენის ნაწილი იხარჯება აგრეთვე დენმიმცემი სისტემის ოპური წინაღობის გადალახვაზეც. ვინაიდან ელექტროლიტის პროცესში ელექტრონერგიის ხარჯი აბაზანაზე მოდებულ ძაბვაზე დამოკიდებული, აუცილებელია აბაზანაზე ფაქტობრივი ძაბვის შემცირება. ძაბვის შემცირება შესაძლებელია ელექტროლიტისა და დენმიმცემი სისტემის წინაღობების შემცირებითა და კონცენტრული პოლარიზაციის დაწვევით.

ელექტროლიტის წინაღობაზე (ელექტროგამტარობაზე) განსაკუთრებულ ზეგავლენას ახდენს ელექტროლიტის ტემპერატურა. ხსნარის ტემპერატურის გაზრდით მისი წინააღობა მცირდება (ელექტროგამტარობა მატულობს ხსნარის იონების ძერადობის გაზრდის შედეგად) და ამასთან ერთად შესაბამისად მცირდება აბაზანაზე ფაქტობრივი ძაბვა. ტემპერატურის გაზრდით ეცემა აგრეთვე ელექტროლიტში შემავალი ნერთების დაშლის ძაბვაც. ტემპერატურის აწვეის მიზნით ხსნარის (ელექტროლიტის) გადამეტებული გახურება არამიზანშეწონილია. ხსნარის გასახურებლად საკმაოდ დიდი ენერჯია იხარჯება და ზოგჯერ მან შეიძლება ელექტრონერგიის დანაზოგებს გადააჭარბოს. ჭარბი ტემპერატურა კათოდზე გამოლექილი ანოდუქტის ხარისხსაც აუარესებს (კათოდზე ლითონი არათანაბარი, დაქბილული ფენების სახით ილექება). გარდა ამისა, ხსნარის გადახურებით კათოდზე მინარეების გამოლექვისა და ხსნარის აორთქლების საშიშროებაც იქმნება.

ელექტროლიტური პროცესი სელექტიური გამოლექვის საშუალებას იმ შემთხვევაში იძლევა, თუ ელექტროლიტზე მოდებული ძაბვა მხოლოდ ამოსაღები ლითონის ნერთის დაშლისა და ამ ლითონის კათოდზე გამოლექვის პირობას აკმაყოფილებს. წინააღდეგ შემთხვევაში (თუ ძაბვა საკმარისი აღმოჩნდება ხსნარში შემავალი სხვა მინარევი ლითონების ნერთების დასაშლელადაც) მინარევი ლითონებიც გადავლენ კათოდზე და გააჭუჭყიანებენ ძირითადი ლითონის ნალექს. ამ შემთხვევაში გამოსალექი ლითონის გაჭუჭყიანების თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელი ხდება ელექტროლიტის პროცესამდე დედახსნარიდან მინარევი ლითონების განდევნა (ხსნარის გასუფთავება). როგორც წესი, ხსნარის წინასწარი გასუფთავება სელექტიური ქიმიური დალექვის გზით ხორციელდება. გასუფთავებული ხსნარი ფილტრაციის შემდეგ ძირითადი ლითონის გამოლექვის მიზნით ელექტროლიტით გადამუშავდება. ძირითადი ლითონის გამოლექვის შემდეგ გადარიბებული ხსნარი გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება.

მუდმივი დენის კვების ელექტროსისტემაში ელექტროლიტური აბაზანები გაერთიანებული ბლოკებში (ბლოკში 5–20 აბაზანა შედის), ხოლო ბლოკები – სერიებში (სერიაში, როგორც წესი, ორი ბლოკია გაერთიანებული). ბლოკები და სერიები ელექტროწრფეში ჩართულია თანამდევრულად, ხოლო ცალკეული აბაზანების ელექტროდები – პარალელურად. აბაზანებისა და ელექტროდების აბდავარი სისტემა „მულტიპლ“ სისტემის სახელწოდებით არის ცნობილი. ამ სქემის მიხედვით ყოველი ელექტროდი მუშაობს ბიპოლარულად, მისი ერთი მხარე ანოდს წარმოადგენს, ხოლო მეორე მხარე – კათოდს. ელექტროლიტური რაფინირებისგან განსხვავებით (სადაც ანოდები ხსნადა და აბაზანაში მათი რიცხვი ერთით ნაკლებია კათოდების რაოდენობაზე), ელექტროლიტური გამოლექვის პროცესში უხსნადი ანოდები გამოიყენება და აბაზანაში მათი რიცხვი ერთით მეტია კათოდების რაოდენობაზე. უხსნადი ანოდი, რომელიც ელექტროლიტური გამოლექვის პროცესში მხოლოდ დენის გადატანის როლს ასრულებს, როგორც წესი, ტყვისგან ან უყანგავი ფოლადისგან მზადდება. კათოდი, რომლებზედაც ხსნარიდან გამოლექილი ლითონი ილექება, შეიძლება დამზადდეს, როგორც გამოსალექი ლითონისგან, აგრეთვე სხვა რომელიმე ინერტულ ლითონისგანაც, რომლიდანაც ელექტროლიტის პროცესში დროულადრო ჩამოიფხვიკება ხსნარიდან გამოლექილი ლითონი. ზოგჯერ კათოდის ფართობის მაქსიმალურად გაზრდის მიზნით კათოდად ფოლადის „ბამბა“ გამოიყენება. ელექტროდების ფართობი (როგორც ანოდის, ასევე კათოდის) 0,9–1 მ² შეადგენს. აბაზანაში ელექტროდები ერთმანეთისგან 5 სმ-ის დაშორებითაა განლაგებული. აბაზანები, როგორც წესი, ხის მასალისგან ან ბეტონისგან მზადდება. ელექტროლიტი მაღალი მეტეიანობით გამოირჩევა და ამიტომ აბაზანა მიწვიდან ტყვიით, პლასტიკატით ან ასფალტით არის ამოვებული. თანამედროვე პრაქტიკაში მუშა-ბოჭვიანი მასალისგან დამზადებული აბაზანებიც გამოიყენება. თანამედროვე ტიპური აბაზანების ზომებია: სიგრძე – 3,4; სიგანე – 1–1,2 და სიღრმე 1 მ. აბაზანაში 29 კათოდი და 30 ანოდი განლაგებული.

თავი 4. შერადი ლითონების რაფინირების პროცესები

მადნის ნედლეულიდან ამოღებული ლითონი ვერ კიდევ არ წარმოადგენს მზა პროდუქტს. ნედლეულის მრავალსტადიური მეტალურგიული გადამამუშავების შედეგად უმეტეს შემთხვევაში მიიღება დაუხალასებელი ლითონი, რომელშიც მცირე რაოდენობითაა (1%-მდე) ჩარჩენილი მინარეები. მიუხედავად მინარეების მცირე რაოდენობისა, ზოგიერთი მათგან მინარეების ზემოქმედებით, ლითონის თვისებები (ჭედაობა, ელექტროგამტარობა, სიმყეფე, კოროზიული მდგომარეობა და სხვა) საგრძნობლად უარესდება. ამიტომ კომერციული ლითონის ხარისხის მისაღწევად საჭირო ხდება დაუხალასებელი ლითონის რაფინირება (გასუფთავება, მცირე რაოდენობის მინარეების განდევნა).

დადგენილია, რომ ლითონის სისუფთავის გაზრდა არა მარტო ლითონის ფიზიკურ კონსტანტებზე (მაგალითად, კუთრ წინაზე, დნობის ტემპერატურაზე, დუღილის ტემპერატურაზე, და სხვა) მოქმედებს, არამედ მის თვისებებზეც (მაგალითად, ელექტროგამტარობაზე, კოროზიულ მდგომარეობაზე და ა.შ.) ძლიერ გავლენას ახდენს. ლითონის სისუფთავის გაზრდასთან ერთად ზოგჯერ მულაენდება მისი ახალი თვისებები (მწურვადობა, პლასტიკურობა და სხვა), რომლებიც ლითონში შემავალი მინარეებით იზრდებოდა. ლითონის თვისებებზე მისი სისუფთავის ხარისხის გავლენის ნათელ მაგალითს აღუძინი წარმოადგენს. ალუმინის სისუფთავის გაზრდით მისი დნობის ტემპერატურა მატულობს. ლითონი, რომელიც 99,2% და 99,5%-Al შეიცავს, შესაბამისად 657-სა და 658°C-ზე დნება. უფრო სუფთა ლითონი, რომელიც 99,6% Al-ს, დნება 659,8°C-ზე, ხოლო ლითონი, რომელიც 99,996% Al შეიცავს, 660,24 °C-ზე დნება. სისუფთავე ასევე ძლიერად მოქმედებს ალუმინის დუღილის ტემპერატურაზე. ადრინდელი მანკებით, ალუმინის გასუფთავებასთან ერთად იზრდებოდა მისი დუღილის ტემპერატურაც. იმ მონაცემების მიხედვით, რომლებიც 1917 და 1925 წ.წ. უკავშირდება, ალუმინის დუღილის ტემპერატურა 1800°C შეადგენს, ხოლო 1934 წლის მონაცემებით – 2270°C-ის ტოლია. უფრო გვიანდელი მაჩვენებლებით (1936 წ.) კი ალუმინის დუღილის ტემპერატურა 2497°C-ს აღწევს. იგივე შეიძლება ითქვას როგორც სხვა ლითონებზე, როგორც „ბელბებზე“ (სპილენძი, ტყვია, კალა და სხვა), ასევე „ახლებზე“ (ტიტანი, ცირკონიუმი, ტანტალი, ნიობიუმი და სხვა.). ლითონების სისუფთავის ხარისხის გაზრდით ხშირად მულაენდება მათი გამოყვანების ახალი მიმართულებები.

ხშირად საწყისი ნედლეული ძირითად ლითონთან ერთად თანამდევი ელემენტების სახით კეთილშობილ ლითონებსაც (ოქრო, ვერცხლი, პლატინა) შეიცავს. ასეთი სახის ნედლეულის პირობებში გადამამუშავების დროს მასში შემაჯავლი კეთილშობილი ლითონების თითქმის მთლიანი რაოდენობა დაუხალასებელ ლითონში (ძირითად ლითონში) გადადის (კონცენტრირდება). ამიტომ ამ შემთხვევაში რაფინირება კეთილშობილი ლითონების თანაური ამოღების შესაძლებლობასაც უნდა ითვალისწინებდეს. აქედან გამომდინარე, რაფინირება ძირითადად ორ მიზანს ისახავს – მათგან მინარეების მოცილებასა და კეთილშობილი და სხვა მჟივრფასი ლითონების თანაურ ამოღებას.

დაუხალასებელი ლითონის (ნედლეულიდან ამოღებული ლითონი) რაოდენობა, ნედლეულის საწყის რაოდენობასთან შედარებით მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. მაგალითად, ერთ ტონა კონცენტრატში, რომელიც 22% სპილენძს შეიცავს, დაახლოებით 190 კგ დაუხალასებელი სპილენძი მიიღება. ამიტომ რაფინირების დროს შედარებით მცირე ზომის აგრეგატები გამოიყენება.

ნედლეულიდან ლითონების ამოღებისა და მათი რაფინირების პროცესები, როგორც წესი, ცალ-ცალკე განიხილება და ხშირად (განსაკუთრებით დასავლეთის ქვეყნებში) ნედლეულის გადამამუშავებისა და რაფინირების ქარხნები დიდი მანძილითაა დაშორებული ერთმანეთისგან. ასეთ შემთხვევაში ნედლეულის გადამამუშავებული მეტალურგიული ქარხნის საბოლოო პროდუქტს დაუხალასებელი ლითონი წარმოადგენს, რომელიც ზოდების სახით საზღვარსა და გასასუფთავებლად რაფინირების ქარხანაში იგზავნება.

უფრო მეტალურგიაში ტექნიკური სისუფთავის ლითონის (ტექნიკური სისუფთავის ლითონურ პროდუქტში, როგორც წესი, ლითონის შემცველობა – 99,99–99,999%-ს არ აღემატება) მიღების მიზნით ძირითადად რაფინირების სამი სახეობა (ზერზი) გამოიყენება – ცეცხლოვანი რაფინირება, ელექტროლიტური რაფინირება და ქიმიური რაფინირება. რაფინირების ზერზის შერჩევა დამოკიდებულია გასასუფთავებელ ლითონში შემავალი მინარეების სახეობაზე და მათ რაოდენობაზე.

რაც შეეხება გასუფთავების ზოგიერთ მეთოდს, რომელიც მხოლოდ განსაკუთრებული სისუფთავის (ზესუფთა) ლითონების (ტექნიკური სისუფთავის ლითონებისაგან განსხვავებით, განსაკუთრებული სისუფთავის ლითონები უფრო ნაკლები რაოდენობით იწარმოება, მათი გამოყენების სფეროება: ატომური ენერგეტიკა, რაკეტული ტექნიკა, რადიოტექნიკა, მიკროელექტრონიკა და სხვა) მისაღებად გამოიყენება, ამ წიგნში არ განიხილება. გასუფთავების ეს მეთოდი (ზონური დნობა, მაღალძაბვანი ელექტროლიზი, გასუფთავება ელექტროსტატიკური და მაგნიტური ველებით, გასუფთავება ლიფეზით და თერმოდეფეზით) განხილულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

4.1. ცეცხლოვანი რაფინირება

ცეცხლოვანი რაფინირება ნედლეულის დნობის ან შტეინის კონვერტირების შედეგად მიღებული დაუხალასებელი ლითონის გასასუფთავებლად გამოიყენება და, უმეტეს შემთხვევაში, იგი მთლიანი მეტალურგიული ციკლის ბოლო ეტაპს წარმოადგენს.

ცეცხლოვანი რაფინირებით შედარებით სუფთა ლითონი მიიღება და მისი ხარისხი, როგორც წესი, აკმაყოფილებს კომერციული პროდუქტის მოთხოვნებს.

უფრო მაღალი სისუფთავის პროდუქტის მიღების შემთხვევაში ცეცხლოვანი რაფინირება გამოიყენება, როგორც დაუხალასებელი ლითონის წინასწარი გასუფთავების პროცესი, რომელიც რაფინირების საბოლოო ეტაპის (უფრო ღრმა გასუფთავების პროცესი) წინ ტარდება. ყველა შემთხვევაში ცეცხლოვანი რაფინირება, როგორც წესი, პერიოდული მოქმედების პროცესია.

4.1.1. რაფინირება სელექტიური თანვეით

ცეცხლოვანი რაფინირების სელექტიური თანვეის მეთოდი მცირე რაოდენობის მანე მინარეების მოცილების მიზნით გამოიყენება. იგი დაუხალასებელი ლითონისა და ჰაერის თანგაბლის ან სხვა მანეგავი რეაგენტის ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს.

თანვეითი რაფინირების არსი ისაა, რომ მინარეები, რომლებიც თანგაბლთან უფრო დიდი ნათესაური კავშირით გამოირჩევა, ვიდრე გასასუფთავებელი ლითონი, აქტიურად ითანგება. დათანგვის შედეგად წარმოქმნილი მინარეების ოქსიდები გამძნარ ლითონებში არ იხსნება და ან წილის სახით ამოტივტივდება გამძნარი ლითონის ზედაპირზე და ადვილად განიღვებება, ანდა ადვილად აქროლად მდგომარეობაში გადადის და აირის სახით ცალკეედება გამძნარი ლითონის მასისგან.

ცეცხლოვანი რაფინირების ამ მეთოდით დაუხალასებელი ლითონიდან თანმდევი კეთილშობილი ლითონების (ოქრო, ვერცხლი) გამოყოფა, მათი თანგვის დაბალი ხარისხის გამო, შეუძლებელია. ამიტომ კეთილშობილი ლითონების თანაური ამოღება რაფინირების მომდევნო ეტაპზე (უფრო ღრმა გასუფთავების ეტაპზე) ხორციელდება.

სელექტიური თანგვის პროცესი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება არააქტიური ლითონების გასასუფთავებლად, აქტიური ლითონების რაფინირებაში გამოუსადეგარია. აქტიური ლითონები ადვილად ურთიერთქმედებს თანგაბლთან და მინარეებთან ერთად ოქსიდურ ფორმაში გადადის.

ცეცხლოვანი რაფინირების სელექტიური თანგვის პროცესი მცირე ზომისა და მტკიცე კონსტრუქციის ამრეკ ლუმებში ტარდება (რაც დაუხალასებელი ლითონის მცირე რაოდენობითა და მისი დიდი კუთრი წონით არის განპირობებული). მინარეების თანგვა დაუხალასებელი ლითონის ნაღობში აირადი თანგბლის (ან ჰაერის) ან სხვა მანეგავი რეაგენტის შეტანით ხორციელდება. მაგალითად, ზურხალასებელი სპილენძის რაფინირების დროს გამოიყენება ჩვეულებრივი ამრეკლი ლუმელი, რომელიც მხოლოდ 400 ტ-მდე სპილენძის ნაღობს იტევს. ჰაერის ან ორთქლის შებერვა ნაღობში ჩაშვებული ფოლადის მილების საშუალებით ხორციელდება. შებერვა (გაქრევა) ნაღობის არევისა და მინარეების დათანგვის უზრუნველყოფს. პროცესის ჩატარების შედეგად წარმოქმნილი წილა და ოქსიდების აქროლი, რომლებიც ლითონის ნაღობისაგან ცალკეედება, საკმაო რაოდენობით შეიცავს სასარგებლო ელემენტებს, ამიტომ წილა და აქროლი მათგან სასარგებლო ელემენტების ამოღების მიზნით სპეციალურ გადამუშავებას საჭიროებს.

თუ რაფინირების საამქრო დნობისა და კონვერტირების საამქროების მიმდებარე ტერიტორიაზე განლაგებული, მაშინ მიზანშეწონილი ხდება ცხელი თხევადი ლითონის ერთი ოპერაციიდან მეორეზე

სწრაფად გადატანა და მისი პირდაპირ ლუმენში ჩაშვება (ასეთ პირობებში ლითონის გადამუშავების პროცესის ხანგრძლივობა სავარაუდოდ მცირდება). თუ ნედლეულის გადამუშავების ქარხანას რაფინირების სააქრო არ გააჩნია, მაშინ დაუხალასებელი ლითონი ნაშხალი ფილების სახით ჩამოსხმება და რაფინირების ქარხანაში იგზავნება.

4.1.2. რაფინირება დროსირებით

დროსირების სახელწოდებით ცნობილი მეთოდი ნაღობის გაციელებით მინარეების უხსნად ფორმაში გადასვლას ითვალისწინებს. ნაღობის ტემპერატურის დაწვეისას მინარეები უხსნადი ნაერთების სახით გამოიყოფა ნაღობიდან და მის ზედაპირზე ხორკლიანი დროსის (გერმან. - ქაუი) სახით გროვდება.

დროსირება ტყვიის გასასუფთავებლად გამოიყენება. პროცესი რკინის ან ფოლადის ფირფიტისგან შედუღებით დამზადებულ ნახევარსფერულ თაღია კონტინერში (ციცხეში) ტარდება. ციციხე 50-დან 300 ტ-მდე ტყვიის ნაღობს იტევს და ქვევიდან ხურდება. ტყვიის ნაღობის საწყისი ტემპერატურა (ნაღობის გაციეების პროცესის დაწყებამდე) 590-600°C არ აღემატება. დროსირების პროცესის დასაქარებლად ნაღობი შექანიკური ტრიალას მეშეუბით ან პაერის შებერვით ირევა. გაციეების შედეგად წარმოქმნილი დროსი, რომელიც ტყვიის ნაღობის ზედაპირზე გროვდება, გაყენთილია თხევადი ტყვიით. დროსით წატაცებული ტყვიის ციციხეში დაბრუნების მიზნით ნაღობის ზედაპირიდან დროსი ციციხეზე შეყენებულ პერფორირებულ ჯამზე გადმოიღება, საიდანაც დროსიდან გაფონილი ტყვია ისევ ციციხეში ჩაედინება. განცალკევებული დროსი ტყვიის ნედლეულის დნობის პროცესს უზრუნდება. დროსირება პერიოდული პროცესია.

4.1.3. რაფინირება დისტილაციით

ფრაქციული დისტილაციით (გამოხდით) რაფინირების პროცესი დუდილის ტემპერატურაზე სითხის (ნაღობის) აორთქლებას ითვალისწინებს და ხსნარში ან ნაღობში შემავალი განსხვავებული ორთქლის წნევის მქონე კომპონენტების ერთმანეთისგან განცალკევების საშუალებას იძლევა. რაფინირების (და აგრეთვე დაყოფის) ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს წონასწორობაში მყოფი სითხისა და ორთქლის შემადგენლობების სხვაობა. რაც უფრო მეტად განსხვავდება წონასწორობაში მყოფი სითხე და ორთქლი თავისი შემადგენლობით ერთმანეთისგან, მით უფრო ადვილად ხორციელდება ლითონების გასუფთავება ან მათი დაყოფა.

დისტილაციით გასუფთავება მაშინ უფრო მიზანშეწონილია, როცა მინარეების დუდილის ტემპერატურა გასასუფთავებელი ლითონის დუდილის ტემპერატურაზე ნაკლებია. ასეთ შემთხვევაში დისტილაციის პროცესი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე შეიძლება ჩატარდეს, რაც შეამცირებს მინარეებთან ერთად გასასუფთავებელი ლითონის აორთქლებას. დისტილაციის პროცესების სხვადასხვა ტემპერატურაზე ჩატარებით სხვადასხვა სახის მინარეების მოცილება შეიძლება.

ფრაქციული დისტილაციის ან რექტიფიკაციის [(გვიანდელი ლათინ. Rectificatio - გამოსწორება, გასწორება; Rectus-გან - პირდაპირი, სწორი და fa - ვაკეთებ) - რამდენიმე კომპონენტისგან შემდგარი სითხის ნარევის გაყოფის ხერხი, რომელიც სითხის მრავალჯერად აორთქლებას და მის კონდენსაციას, ანდა ერთჯერად აორთქლებასა და კომპონენტების მრავალჯერად აორთქლებას კონდენსაციის ემყარება] პროცესი (ფართოდ გამოიყენება მაღალი ხარისხის სპეციალური დანიშნულების თუთიის მისილბად და აგრეთვე ტიტანის ტეტრაქლორიდის გასასუფთავებლად), რომელიც უწყვეტი მოქმედებისა, ვერტიკალურ კოშკებში (სექტებში) ტარდება. კოშკების მთელ სიგრძეზე ჩალაგებულია სილიციუმის კარბიდისგან დამზადებული სწორკუთხა ფორმის თეფშები, რომლებიც ლითონის ნაღობის შესაკავებლად არის გამიზნული. ნაღობის სიმაღლე თეფშიდან გასასვლელი ხერხელის გარშემო მდებარე ზღუდარით რეგულირდება. ერთი თეფშიდან გადმოსული ნაღობი ქვედა მომდევნო თეფშით უმაღლე კავდება. თეფშიდან თეფშზე ჩამავალი ნაღობის ნაკადი ზიგზაგური ტრაექტორიით მიედინება.

რაფინირების პროცესი დაუხალასებელი ლითონის ნაღობის პირველ კოშკში გავლით იწყება. ნაღობის თეფშიდან თეფშზე გადასვლისას ნაღობიდან აქტიურად ორთქლდება ის მინარეები, რომელთა დუდილის ტემპერატურა კოშკში დაყარებულ ტემპერატურაზე დაბალია. კოშკის ქვედა

ბოლოში ჩასული ლითონის ნაღობი გამოდის კომკიდან და შუა პროექტის სახით გროვდება, ხოლო ნაღობიდან აორთქლებული ორთქლი კომკის ზედა ბოლოდან გადის კონდენსატორში, სადაც სითხის სახით კონდენსირდება. ორთქლიდან დაკონდენსირებული სითხე (ნაღობი) კონდენსატორიდან მეორე კომკში გადადის, სადაც უფრო დაბალ ტემპერატურაზე დისტილაციის პროცესი შეორდება. კომკში დაახლოებით დღე-ღამეში 25 ტ ლითონის რაფინირება შეიძლება.

4.1.4. რაფინირება სუბლიმაციით

სუბლიმაციის (აქროლის) სახელწოდებით ცნობილი ცეცხლოვანი რაფინირების მეთოდი მყარი ნივთიერების პირდაპირ ორთქლის მდგომარეობაში (დნობისა და თხევადი ფაზის წარმოქმნის გარეშე) გადასვლას ითვალისწინებს. მყარ მდგომარეობაში ნივთიერების აქროლი (სუბლიმაცია) შესაძლებელია მაშინ, როცა ნივთიერებას მისი დნობის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურებზე საკმაოდ მაღალი ორთქლის დრეკადობა (წონასწორული წნევა) გააჩნია. სუბლიმაციის პროცესში მყარ ლითონში შემავალი ადვილად აქროლადი მინარევები ორთქლის სახით განადგურდება განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, ხოლო მწველად აქროლადი მინარევები ლითონში რჩება.

ლითონების სუბლიმაციით რაფინირება და დაყოფა შეუძარებიან დაბალ ტემპერატურაზე ტარდება, რაც ამ მეთოდის უპირატესობას წარმოადგენს. სუბლიმაციის ნაკლი კი ისაა, რომ პროცესის მსვლელობის დროს გასასუფთავებელი ლითონის ზედაპირულ ფენებში თანდათან იზრდება არააქროლადი მინარევების კონცენტრაცია, რაც აქროლის პროცესს საგრძნობლად ანელებს. მინარევების კონცენტრაციის გათანაბრება არ შეიძლება მოხდეს მხოლოდ დიფუზიით, რომელიც მყარ ფაზებში ძალზე შენელებულია. გარდა ამისა, ზედაპირულ ფენებში ნაკლებად აქროლადი მინარევების კონცენტრაციის (აქტივობის) გადიდებით იზრდება მათი ორთქლის წნევა, რომელმაც შეიძლება გასასუფთავებელი ლითონის წონასწორული წნევის ზღვრებს მაღლწიოს. ასეთ პირობებში ნაკლებად აქროლადი მინარევების სუბლიმაცია დაიწყება და ლითონის აქროლის გატუტყუანების საშიშროება შეიქმნება. აქედან გამომდინარე, სუბლიმაციის პროცესის გამოყენება მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, თუ გასასუფთავებელი ლითონი ნაკლებად აქროლად მინარევებს შეიცავს და თვითონ ადვილად აქროლდება. სუბლიმაციის პროცესი, როგორც წესი, ვაკუუმში ან ნეიტრალური აირის ატმოსფეროში ტარდება.

4.1.5. რაფინირება ლიკვაციით

ცეცხლოვანი რაფინირება ლიკვაციით (ლათინ. - liquatio - გათხლება, დნობა), სეგრეგაციით (გვიანდელი ლათინ. - segregatio - გამოყოფა), ჭიბური ზემოქმედების გარეშე ლითონის ნაღობის ფენებზე დაყოფასა და მათ განცალკევებას ითვალისწინებს. ლიკვაცია განპირობებულია იმით, რომ სუფთა ლითონიდან განსხვავებით, მინარევებიანი ლითონი (ან ლითონების შენადნობი) კრისტალიზაციას არა ერთ რომელიმე ტემპერატურაზე, არამედ ტემპერატურების ინტერვალში განიცდის. ნაღობის ტემპერატურის ცვლილებით, ერთი ლითონის მეორე ლითონში პროცენტული ხსნადობა იცვლება ისე, რომ ნაღობის ტემპერატურის ვარდნისას ძირითად ლითონში ლითონური მინარევის ხსნადობა მცირდება და მინარევი ნაწილობრივ ცალკეედება თხევადი ფენის სახით.

ლიკვაციის პროცესი პერიოდული რეჟიმით ტარდება ორკამერიან ამრეკლ ლუმელში, რომელიც ქვანახშირით ხურდება. ლუმელში შექმნილი აღმდგენი ატმოსფერო ლითონის დაქანგვას გამოორიქსავს გასასუფთავებელი ლითონის ზოდენს (ერთგვაროვანი პირველ, უმთხურე დიდ კამერაში იტერათება და დნობას ექვემდებარება. პომპეგური (ერთგვაროვანი, ერთფაზიანი) ნაღობის ფორმირების შემდეგ იგი გასასუფთავებელი ლითონისა და მისი ძირითადი ლითონური მინარევის ევტექტიკასთან (ბერძ. eutekios - ადვილად მდნობი) მახსოვებულ ტემპერატურამდე ცივდება. ტემპერატურის ვარდნის შემდეგ მინარევი ლითონის ხსნადობა საგრძნობლად კლებულობს და იგი თხევადი ფენის სახით ცალკეედება ძირითადი ლითონის ნაღობიდან და ლუმელის ძირში გროვდება, ხოლო ძირითადი ლითონის ზედა ფენა მეორე კამერაში გადაადინდება, სადაც მისი დნადობის გაზრდის მიზნით უფრო მაღალ ტემპერატურამდე ხურდება. გადასურებული ლითონის ნაღობი ადვილად გადმოედინება ლუმელიდან. პირველ კამერაში ჩარჩენილი მინარევი ლითონის ნაღობი კი ლუმელის ქვედა ნაწილდან გადმოედინება.

4.2. ელექტროლიტური რაფინირება

ელექტროლიტური რაფინირება მეტალურგიული ციკლის ბოლო ეტაპია, სადაც ზოგჯერ ერთდროულად ორი პროცესი ხორციელდება – ლითონის ღრმა გასუფთავება და მასში კონცენტრირებული კეთილშობილი და სხვა ძვირფასი ლითონების თანაური ამოღება.

ელექტროლიტური რაფინირების პროცესი შეიძლება ჩატარდეს როგორც დაბალ ტემპერატურაზე (სპილენძის რაფინირება) – წყალხსნარიანი ელექტროლიტის გამოყენებით, ასევე მაღალ ტემპერატურაზე (ალუმინის რაფინირება) – მარილების ნაღობის ელექტროლიტის გამოყენებით.

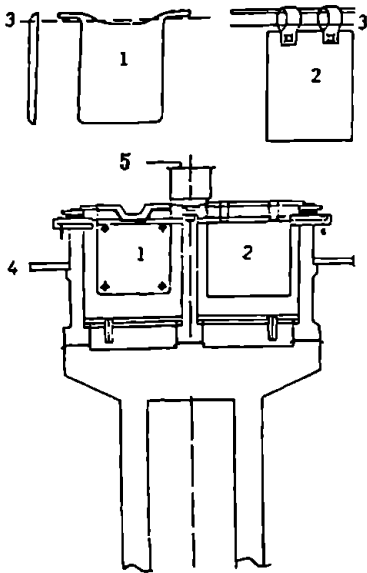
4.2.1. ელექტროლიტური რაფინირება წყალხსნარებში

წყალხსნარში მიმდინარე ელექტროლიტური რაფინირების (ან ლითონების ამოღების) პროცესები არ არის შეზღუდული ლითონების აქროლის ან აორთქლების ფაქტორებით. წყალხსნარებიდან ლითონების ელექტროლიტური ამოღების პროცესისგან განსხვავებით, ლითონების ელექტროლიტური რაფინირების პროცესში გამოიყენება ხსნადი ანოდეები, რომლებიც გასასუფთავებელი გამდნარი ლითონის ბოყეებში ჩამოსხმით შზადდება, ხოლო კათოდეად იგივე ლითონებისგან (სუფთა ლითონისგან) დამზადებული თხელი ფირფიტები გამოიყენება. წყალხსნარის ელექტროლიტში ჩაკიდებული ანოდებისა და კათოდების აბაზანის მუდმივი დენის წრედში ჩართვით ანოდზე ლითონის ელექტროქიმიური გახსნა, ელექტროლიტით კათიონების გადატანა და კათოდზე ლითონის გამოლექვა ხორციელდება, ხოლო ლითონს თან გამოყოფილი მინარევები ძირითადად შლამსა (აბაზანის ფსკერზე დალექილი მყარი მასა) და ელექტროლიტს შორის ნაწილდება. შლამში კონცენტრირდება კეთილშობილი და სხვა ძვირფასი ლითონები, ხოლო ელექტროლიტის პროცესში გამოყენებული ელექტროლიტის ნაწილი ზოგიერთ ქარხანაში ხშირად ქიმიური ნაერთების (სპილენძის შაბიამანი, ნიკელის აჯასპი) მისაღებად გამოიყენება.

ელექტროლიტური რაფინირების პროცესში ანოდების არასრული ქიმიური გახსნის შედეგად, როგორც წესი, წარმოიქმნება აგრეთვე ანოდური ნარჩენები. ელექტროლიტში მოთავსებულ ორ ელექტროდს შორის არსებულ ელექტროველში დადებითად დამუხტული იონები (კათიონები) კათოდისკენ მიგრირებს, ხოლო უარყოფითად დამუხტული იონები (ანიონები) ანოდისკენ ისწრაფვის. ანოდის გახსნის შედეგად წარმოქმნილი ლითონის კათიონები ელექტროლიტიდან კათოდზე გადასვლისას თავიანთი მუხტის გაქვმის შედეგად ნეიტრალდება და ლითონის ატომების სახით კათოდზე ილექება. მინარევები, რომლებიც ძაბვითა მწკრივში (ცხრილი II.1.) გასასუფთავებელ ლითონზე (მაგალითად სპილენძის რაფინირების დროს) უფრო მაღლა დგას, ლითონთან ერთად ხსნარში გადადის დადებითად დამუხტული იონების სახით, ხოლო გასასუფთავებელ ლითონზე უფრო დაბლა მდგარი მინარევები ხსნარში არ იხსნება და მყარი ნაწილაკების სახით ეშვება აბაზანის ფსკერზე (ფსკერზე შლამის სახით გროვდება). ასეთ მინარევებს განეკუთვნება ოქრო, ვერცხლი, პლატინის ჯგუფის ლითონები, სელენიდეები, ტელურიდეები და სხვა ზოგიერთი ლითონები.

ხსნარში გადასულ მინარევებს შორის გამოირჩევა ანთიმონი, დარიშხანი და ბისმუტი. მათი დიდი რაოდენობით ხსნარში დავრთვების შემთხვევაში აუცილებელია ხსნარის გადმოტუმბვა აბაზანიდან, მისი გასუფთავება მინარევების და გასუფთავების შემდეგ ხსნარის ისევ აბაზანაში ჩაშვება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ელექტროლიტის პროცესი მოიშლება და კათოდზე გამოლექილი ლითონი გაჭუჭყიანდება (ხსნარში გახსნილი მინარევები ლითონთან ერთად კათოდზე გადავა). ძვირფასი ლითონების შემცველი შლამი კი დროდადრო ამოიღება აბაზანის ფსკერიდან და ელემენტების ამოღების მიზნით გადაამუშავდება. თუ ელექტროლიტი ძნელად მოსაცილებელ მინარევებს შეიცავს, მაშინ ელექტროლიტის პროცესი დიაფრაგმებით გამოყოფილ განყოფილებებთან აბაზანებში ტარდება, სადაც გაჭუჭყიანებული ელექტროლიტი ანოდის განყოფილებიდან გადამოიღებება და გასუფთავების შემდეგ კათოდის განყოფილებაში გადაიტუმბება.

ანოდიდან კათოდისკენ ლითონების იონების ელექტრომიგრაციის სიჩქარე ძალზე ნელია. იონების ძერადობის გაზრდას ხელს უწყობს ელექტროლიტის ხსნარის არევა, რაც სხვადასხვა მოწყობილობების საშუალებით ხორციელდება.



სტანდარტული ელექტროლიზის აბაზანა (ელექტროლიზირი) ღია პრეტყელობიანი სწორკუთხა კოდს წარმოადგენს. აბაზანა ბუტონისგან ან სის მასალისგან მზადდება. იგი შიგნიდან ამოკვეთულია (დაფარულია) ტყვიის საფარით, ფისით, ასფალტით ან პლასტიკატით. კოროზიულად მდგრადი ამონაგი იკავს აბაზანას მყავას ან სხვა კოროზიული ნაერთის ზემოქმედებისგან (ელექტროლიტი, როგორც წესი, გოგირდმყავასა და ზოგჯერ ფთორმყავას შეიცავს).

გასასუფთავებელი ლითონის ანოდები, რომლებიც დაუხალასებელი ლითონის ცუცხლოვანი რაფინირების შემდეგ ბოყეებში თხვევადი ნადნობის ჩამოსხმით მიიღება, საკმაოდ დიდი ზომებითა და სიმძიმით (135-280 კგ) გამოირჩევა. ანოდის ზედაპირი სწორი და საკმაოდ გოკლე უნდა იყოს (ყოველგვარი შეეროდების გარეშე), რათა აბაზანაში ჩაკიდებული ელექტროდები (ანოდები და კათოდები) ერთმანეთს არ შეეხოს და ელექტროლიზის პროცესში მოკლე ჩართვა არ მოხდეს. ჩამოსხმულ ანოდს ზედა გვერდებზე აბაზანაში ჩასაყიდებელი კაუჭები გაანინა, რომლებიც ერთდროულად დენის გასატარებლადაც არის გამიზნული (აბაზანაში ჩაკიდებული ერთი კაუჭი პირდაპირ დენის მიმწოდებელ საღტეხზე ჩამოდებული).

სურ. 11.27. მულტიბლის შეეროების სისტემის ელექტროლიზირში საყიდებელი ანოდის და კათოდის ფორმა.

1 ანოდი 2 კათოდი 3. ელექტროლიტის დინე; 4. ხსნარის გადმოსასვლელი; 5. ელექტროლიზირში ხსნარის ჩასაყეები მოწყობილობა.

კათოდი სუფთა ლითონისგან მზადდება და მისი ფართობი ანოდთან შედარებით გაზრდილია (გვერდები და ქვედა ბოლო 2,5-5 სმ-ით გრძელია). კათოდი ანოდთან შედარებით ბევრად თხელია (რამდენიმე მილიმეტრის სისქისაა) და ამიტომ დიდი სიზისტით უნდა გამოირჩეოდეს, რათა არ გაიფუნოს და არ მოხდეს მოკლე ჩართვა ელექტროლიზის პროცესში. კათოდის ერთ ბოლოში დამაგრებულ მარყეებში გაყრილია ლითონის დერი, რომელიც კათოდს აკაეებს და

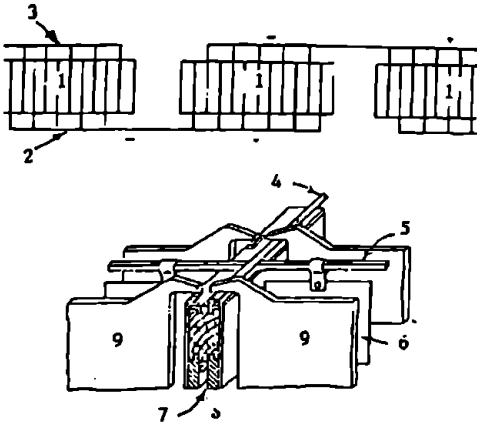
ამაე დროს მულტიბლის სისტემის ელექტროსალტესთან ურთიერთქმედებს (სურ. 11.27.).

ელექტროდები (ანოდები და კათოდები) ელექტროლიზირის ჩარჩოზეა განლაგებული. ელექტროლიტური რაფინირების პროცესში კათოდების რაოდენობა ყოველთვის ერთით მეტია ანოდების რაოდენობაზე, რაც ხელს უწყობს ანოდების თანაბრად გახსნას ელექტროლიტში.

ელექტროლიზირში (აბაზანაში) ჩაკიდებულ ანოდებს შორის მანძილი 8-14 სმ ზღერებშია. ანოდებს შორის და აბაზანის ჩარჩოს ორივე ბოლოში კათოდებია ჩაკიდებული.

ელექტროლიტური რაფინირების პროცესშიც ყველაზე გაერცელებული ვოლტერის მულტიბლის ელექტრომერების სისტემა გამოიყენება (სურ. 11.28.). ელექტროწყაროდან მუდმივი დენი აბაზანის ერთ მხარეზე დამაგრებულ სპილენძის საღტეს მიეწოდება; საღტეზე ყოველი ანოდის ერთი კაუჭია ჩამოღებული. კაუჭიდან დენი ანოდების გაყოლი ქვეითი ელექტროლიტის ხსნარისაკენ მიემართება და მისი გაყოლი კათოდებზე გადადის. კათოდებიდან კი დენი გადადის მათ შემაკაებულ დეროებზე, რომელთა ერთი ბოლო ჩამოღებულია აბაზანის მეორე მხარეზე (ანოდების კაუჭების ჩამოსადები საღტეს მიპირდაპირე მხარეზე) დამაგრებულ სპილენძის საღტეზე, რომლიდანაც დენით იკეება მეორე აბაზანის ანოდები. მეორე აბაზანაში დენის ნაკადის სელა მეორდება.

ელექტროლიტი, რომელიც ანოდებსა და კათოდებს შორის დენს ატარებს და ანოდთან კათოდზე სუფთა ლითონის იონების გადასვლის სატრანსპორტო არეს ქნის, როგორც წესი, მტავანსნარებისგან შედგება. ელექტროლიზით რაფინირების პროცესში ელექტროლიტის ნაწილი აბაზანიდან პერიოდულად გამოყენას ექმნება; და ელექტროლიტის ხსნარში ძირითად ლითონებთან ერთად გადასული მინარეებისგან სუფთავდება. ელექტროლიტის გასუფთავება სელექტიური (შერჩევითი) დაცეპენტების ან ქიმიური დაცეპენტის მეოდების გამოყენებით ხორციელდება.



სურ. 11.28. მულტიპლის ელექტროშეერთების სისტემა ელექტროლიტური რაფინირების პროცესში.
 ა. ანოდებისა და კათოდების განლაგება მულტიპლის შეერთების სისტემის აბაზანებში ბ. ელდენის დინება მულტიპლის შეერთების სისტემის აბაზანებში.

1 აბაზანა; 2 კათოდის სალტე; 3 ანოდის სალტე; 4. ხაშუთხეყდის ფორმის ელექტროდისა და კათოდის დერო; 5. კათოდა; 7. ბორტი სვერითა ირრეე აბაზანასთვის; 8. სალტეეუბა; 9. ანოდა; 10. კათოდა; 11. ელექტროლიტა; 12. ანოდა.

ელექტროლიტით ლითონების რაფინირების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს დენის სიმჭიდროვე წარმოადგენს. საერთოდ, რაც უფრო დაბალია გამოყენებული დენის სიმჭიდროვე რაფინირების პროცესში, მით უფრო მაღალია რაფინირებული ლითონის ხარისხი და უფრო ნაკლები ელექტროენერგია იხარჯება. მაგრამ დენის დაბალი სიმძლავრის პირობებში ლითონის რაფინირების სიჩქარე (ლითონის წარმოების სიჩქარე) იმდენად ეცემა, რომ აუცილებელი ხდება ქარხნის უზარამზარი ნაგებობის აგება და მრავალრიცხოვანი დანადგარ-მოწყობილობების საშორტაო საშუალების ჩატარება, რაც ღირ კაპიტალდაზანდებსაბთან არის დაკავშირებული. ამიტომ პრაქტიკაში ელექტროლიტის პროცესი რაფინირებული ლითონური პროდუქტის დასაშვები ხარისხისა და ოპტიმალური დენის სიმჭიდროვის ურთიერთშერჩევით ტარდება.

ელექტროლიტის პროცესში კათოდები ყოველ 14-15 დღეში ერთხელ ახლით იცვლება, ხოლო ანოდების შეცვლა 28-30 დღეში ერთხელ ხდება (აბაზანაში ერთი წვება ანოდები ორ წვება კათოდებს „ემსახურება“). ანოდები ელექტროლიტის ხსნარში ბოლომდე არ იხსნება, მათი საწყისი წონის 8-15% ნარჩენების სახით რჩება. ანოდური ნარჩენები ირეცხება და როგორც ვართო, უბრუნდება ანოდების ჩამოსხმის სააქროს. კათოდები შეიძლება გაიქერქოს და პირდაპირ მოშხმარებელს მიუწოდოს შენადნობების დასამზადებლად ან გადნეს და ჩამოიხსას ზოდების, ღეროების ან ბრტყელი ნამზადის სახით.

ღაფრაგამიანი აბაზანა გამოიყენება იმ შემთხვევაში, რაცა გასასუფთავებელი ლითონი ძაბეთა მწკრივში საკმაოდ ახლოს დგას მასში შემავალ მინარეებთან. ღაფრაგამიანი კამერები ხის ჩარჩოზე დაკრული ტილოებთან ყუთებიგან მზადდება. ანოდის კამერაში მყოფი ელექტროლიტი, რომელიც შეიცავს როგორც სუფთა ლითონს, ასევე მის მინარეებს, გადმოიღერება კამერიდან და მინარეებისგან გასუფთავების შემდეგ მასში დარჩენილ სუფთა ლითონთან ერთად კათოდის ღაფრაგამიან კამერაში გადაიტოვდება, საიდანაც სუფთა ლითონი ატომების სახით კათოდზე ილექება.

ვინაიდან ღაფრაგამიან აბაზანებში სიერციის ნაწილი კამერებით არის დაკავებული, ანოდებისა და კათოდების რაოდენობა შეიქირებულია და შესაბამისად 30 და 31 შეადგენს (ღაფრაგამის გარეშე სტანდარტული ზომის აბაზანაში 38 ანოდი და 39 კათოდი თავსდება). ამ ტიპის აბაზანებში მულტიპლის სისტემის ელექტროშეერთებები გამოიყენება. აქ ელექტროლიტის პროცესის ძირითადი ოპერაციები არ განსხვავდება ჩვეულებრივ აბაზანაში მიმდინარე პროცესებისგან.

4.2.2. ელექტროლიტურა რაფინირება მაღალ ტემპერატურაზე

მაღალ ტემპერატურაზე მამდინარე ელექტროლიტური რაფინირების პროცესი ისეთი აქტიური ლითონის გასასუფთავებლად გამოიყენება, როგორცაა ალუმინი. იმის გამო, რომ ალუმინი ადვილად იფანტება, მისი გასუფთავება ცეცხლოვანი რაფინირების ფანჯირით მეთოდით შეუძლებელია. ცეცხლოვანი რაფინირების დისტილაციური მეთოდის გამოყენება ალუმინისთვის, მისი დუღილის მაღალი ტემპერატურის გამო, მიუღებელია. წყალხსნარებში ელექტროლიტური რაფინირებით ალუმინის გასუფთავება ძალზე გართულებულია და პრაქტიკულად არამიზანშეწონილია. მეთოდი, რომელიც ალუმინის რაფინირებაში გამოიყენება, რამდენადაც გამოიყენება იმ პროცესისა, რომლის შემუშავებაც ეს აქტიური ლითონი ნახევარპროდუქტიდან ამოიღება (მიიღება), სახელდობრ, – გამდნარი ნარევი ფთორიდების ელექტროლიტში მაღალ ტემპერატურაზე. ელექტროლიტური რაფინირების ამ პროცესში ელექტროლიტის აბაზანის ფსკერზე მდებარე გასასუფთავებელი ლითონი, რომელიც გამდნარ ანოდს წარმოადგენს, ელექტროლიზირდება და ანოდური ნაწილიდან ფთორიდის შუალედური ფენის გავლით თავში მოქცეულ, მაღალი სისუფთავის ლითონის კათოდურ ფენაში გადადის. ვინაიდან ნახევარპროდუქტიდან ელექტროლიტით (მაღალ ტემპერატურაზე) ამოღებული ლითონის სისუფთავე საკმაოდ მაღალია, ელექტროლიტური რაფინირების შედეგად მიღებული ლითონის გასუფთავების ხარისხი შედარებით აბაღია და იგი მხოლოდ 0,45%-ს შეადგენს. მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარე რაფინირების ელექტროლიტური პროცესი სასარგებლო მინარევების თანაურ ამოღების არ ღირსეულობის წინებს. იგი გამოიყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა საჭირო ხდება კომერციულ ლითონზე უფრო მაღალი ხარისხის ლითონის მიღება. ამ მეთოდით რაფინირებული ლითონი (ალუმინი) ტექნიკის სტეციალურ დარგებში გამოიყენება.

ელექტროლიტის აბაზანა ფილაადისგან დამზადებულ თავლია ჭურჭელს წარმოადგენს. მისი ძირი, რომელიც გრაფიტისგან მზადდება, ანოდის როლს თამაშობს, ხოლო აბაზანის მოგრძო ნაწილში ჩამუშავებული გრაფიტის კათოდები დენგამტარი ფილაადის საღებებით არის შეკავებული.

ელექტროლიტის ნაწილი სხვადასხვა სიმკვრივის სამი განსაკუთრებული ფენისაგან შედგება. ნაწილის ექვლაზე მძიმე, ქვედა ფენა გასასუფთავებელი ლითონისგან შედგება. მის ზეითი მოქცეული ნაწილის შუალედური ფენა ფთორიდების ნარევეს შეიცავს, ხოლო ნაწილის თავში მოქცეული ფენა რაფინირებული ლითონისგან შედგება.

4.3. ქიმიური რაფინირება

ქიმიური გასუფთავების პროცესები მაშინ გამოიყენება, როცა რაფინირების სხვა მეთოდებით დაუხლასებელი ლითონის გასუფთავება გართულებულია. ქიმიური რაფინირება ლითონის გასუფთავებასთან ერთად სასარგებლო მინარევების თანაური ამოღების შესაძლებლობასაც იძლევა.

ფერად მტკაღურებაში ქიმიური რაფინირების ორი მეთოდი გავრცელებულია. პირველი აქროლისა და დისოციაციის პროცესებით სორციელდება, ხოლო მეორეში ლითონი წყალხსნარებში სელექტიური გამოტუტვისა და გამოლექვის შედეგად სუფთავდება.

პირველ მეთოდში გამოიყენება დამხმარე აირადი ნაერთი, რომელიც მხოლოდ გასასუფთავებელ ლითონთან ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს. ურთიერთქმედების პროცესში გასასუფთავებელი ლითონი უერთდება რა აირად ნაერთს, ორთქლის მდგომარეობაში გადადის და სარეაქციო ზონიდან აქროლით ცალკედება მინარევებისგან, რომლებიც რეაქციაში არ იღებს მონაწილეობას.

აქროლის შემდგომი დისოციაციით (დამლით) მინარევებსგან თავისუფალი ლითონი გამოეყოფა ნაერთს და ორთქლიდან კონდენსირდება სუფთა ლითონის სახით, ხოლო გამოთავისუფლებული აირადი ნაერთი ხელმეორედ გამოიყენება მამდინარე აქროლის რეაქციაში, როგორც ლითონის ორთქლის მდგომარეობაში გადაყვანილი რეაგენტი.

მეორე მეთოდში, ლითონის მინარევებისგან გასუფთავების მიზნით წყალხსნარებში სელექტიური გამოტუტვისა და ხსნარებიდან სელექტიური დალექვის პროცესები გამოიყენება.

გამატუტვის პროცესის წინ ხშირად გასასუფთავებელ ლითონს ადვილხსნადი ნაერთის ფორმაში გარდაქმნიან.

ამრიგად, ქიმიური რაფინირების ერთ მეთოდში აირადი ნაერთი სელექტიურად უერთდება გასასუფთავებელ ლითონს და აცალკევებს მას მინარეგებისგან, ხოლო მეორე მეთოდში გასასუფთავებელი ლითონი სელექტიურად გამოიტუტება წყალხსნარში. ერთ შემთხვევაში ლითონი ორთქლიდან გამოიყოფა, ხოლო მეორე შემთხვევაში იგი ხსნარიდან გამოილეკება.

ორივე მეთოდი დაუხალასებელი ლითონის წინასწარ დამუშავებას საჭიროებს, რათა ლითონი ადვილად შეიღეს რეაქციაში აირად ნაერთთან ან ადვილად გამოიტუტოს შერჩეულ წყალხსნარში.

ქიმიური რაფინირების აქროლის მეთოდი, ძირითადად, შენადნობიდან ლითონების განცალკევებისა და დაუხალასებელი ლითონის რაფინირების მიზნით გამოიყენება. აქროლის ფართოდ გავრცელებული პროცესი (განსაკუთრებით ნიკელის მეტალურგიაში) კარბონილური პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი. კარბონილი ქიმიური ნაერთია, რომელიც ლითონისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება. ამჟამად ცნობილია და შესწავლილია ნიკელის ($Ni(CO)_4$), რკინის ($Fe(CO)_5$) და კობალტის ($Co_2(CO)_8$) კარბონილები. სპილენძი კარბონილს არ წარმოქმნის.

კარბონილური პროცესი ლითონის რაფინირებისთვის გამოიყენება. გასუფთავებას ექვემდებარება ლითონური ნიკელი, რომელიც ნიკელის შტეინის გადაშეშვებით მიიღება. შტეინის ეანგეითი მეთოდით წინასწარი გამოწვის შედეგად, ჯერ სულფიდური ნიკელი ოქსიდურ ფორმაში გადადის და შემდეგ, წყალბადით მდიდარ წყლის ორთქლში დამუშავებით, ოქსიდი ლითონამდე აღდგება. აღდგენილი, ნახევრად სუფთა ლითონი მომდევნო ეტაპზე საორთქლებელ აპარატში გადადის, სადაც აირადი ნახშირბადის მონოოქსიდთან ურთიერთქმედებს (ოთახის ტემპერატურაზე ოდნავ უფრო მაღალ ტემპერატურასა და ატმოსფერულ წნევაზე) და კარბონილს წარმოქმნის. კარბონილი სარეაქციო ზონიდან ორთქლდება და უფრო მაღალი ტემპერატურის ზონაში შედის, სადაც იგი დისოცირდება (იშლება). დისოციაციის შედეგად ლითონური ნიკელის ორთქლი და აირადი ნახშირბადის მონოოქსიდი წარმოიქმნება. ორთქლიდან სუფთა ლითონი საორთქლებელ აპარატში წინასწარ შეტანილ ნიკელის ლითონურ გუნდებზე კონდენსირდება.

გამოტუტვისა და დალევის პროცესებით რაფინირებამდე საჭირო ხდება მასალის წინასწარი დამუშავება და მისი გადაყვანა ისეთ ფორმაში, რომელიც გადაიღებდა სუფთა ლითონის მიღების პროცესს. ამ ზერხით ორი სხვადასხვა ტიპის ნაერთი შეიძლება გადაშეშდეს. ერთი მათგანი ოქსიდია, რომელიც წინასწარ დნება ელექტროლუმში და დნობის შედეგად შენადნობს წარმოქმნის. შენადნობში თავს იყრის გასასუფთავებელი ლითონის ძირითადი ნაწილი. შემდგომ ეტაპზე შენადნობი მყავა ხსნარში გამოიტუტება; გამოტუტვის შედეგად მიღებული ღედახსნარიდან კი ქიმიური სელექტიური დალექით ლითონის ჰიდრატიული ნალექი მიიღება, რომელიც გახურების შემდეგ ოქსიდში გადადის. ოქსიდის ნახშირბადთან ურთიერთქმედებით, საბოლოოდ, რაფინირებული ლითონი მიიღება.

მეორე ტიპის მასალა, რომელიც წინასწარ დამუშავებას განიცდის, არსენიდებია (არსენიდი დარიშხანის ლითონთან ნაერთია). არსენიდების მახტური ტიპის ლუმში დნობით დარიშხანის დიდი ნაწილი განიდევენება და შტეინი და შპეიზი (ლითონების არსენიდების შექცეული შენადნობი) მიიღება. შტეინისა და შპეიზის შემდგომი გამოწვით მათში ჩარჩენილი გოგირდი და დარიშხანი კიდევ ერთხელ განიდევენება. გამოწვით მიღებული ნაწილის გოგირდმყავაში დამუშავების შედეგად ამოსალბი ლითონი წყალში ხსნადი სულფატების ფორმაში გადადის. სულფატების წყალში გადაყვანის შემდეგ მიღებული ხსნარიდან სელექტიური დალექით ლითონის ჰიდრატი გამოიყოფა, რომელიც, როგორც ზემოთ განხილულ შემთხვევაში, გახურებით ოქსიდში გადადის. ოქსიდის ნახშირბადით აღდგენის შედეგად გასასუფთავებული ლითონი მიიღება.

უზრავლი ლითონების წარმოება

თავი I სპილენძის მატალურება

სპილენძი გაცილებით უფრო მაღალი ელექტროგამტარობით და თბოგამტარობით გამოირჩევა, ვიდრე რკინა და მრავალი სხვა ლითონი. ელექტროტექნიკის განვითარებასთან ერთად სპილენძი იქცა ძირითად მასალად გამტარების, კაბელების, შინების, კონტაქტებისა და ელექტროდანადგარების ღრვამტარი ნაწილების წარმოებაში. მიღებული სპილენძის მთელი რაოდენობის 30%-ზე მეტი ელექტროტექნიკურ წარმოებაში იხარჯება.

სპილენძის მაღალი თბოგამტარობა განსაზღვრავს მის ფართო გამოყენებას სხვადასხვა თბომომცველების (გამსურებლების, მაქიერების, შიგაწვის ძრავების) დამზადების საქმეში.

სპილენძის მარილები, ძირითადად, სპილენძის კუპაროსი ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), გამოიყენება ქიმიურ, ტყევის, ბევვეულის, ხელოვნური აბრეშუმის წარმოებასა და სამღებრო საქმეში.

სპილენძისა და თუთიის შენადნობები შეადგენს ფართო ვაჯეუს, რომელიც თითბერის სახელწოდებით არის ცნობილი, მავალითად ტომასკი (90%Cu და 10%Zn), მუნელითონი (60%Cu, 30%Zn, კალა და ტყეია) და მრავალი სხვა შენადნობი, რომელიც 60-დან 90%-მდე სპილენძს შეიცავს.

ბრინჯაოს სხელწოდებით ცნობილი შენადნობი შედგება სპილენძისა და კალისაგან (შენადნობებში კალის შემცველობა 20%-მდე აღწევს). ბრინჯაო გაცილებით მტკიცეა სპილენძზე, ჭრით კარგად მუშავდება და მაღალი სანაშოსხმო თვისებებით გამოირჩევა. ბრინჯაოს მაღალი კოროზიული მდგრადობა განაპირობებს მის გამოყენებას წყალგამყვან და არხაზხების არმატურებსა და ქიმიურ მრეწველობაში. ბრინჯაო ხახუნის დაბალი კოეფიციენტი გამოირჩევა, ამიტომ იგი გამოიყენება საკისრის, ჭიანჭისა და ჭიათელოს სადებებისა და სხვა სახის დეტალების დასამზადებლად. კალა, რომელიც ბრინჯაოს შემადგენლობაში შედის, სპილენძზე ძვირია. ამიტომ ბრინჯაოს გათავებისა და დფეციტური კალის ეკონომიის მიზნით ბრინჯაოს შემადგენლობაში შემაველი კალის ნაწილი თუთიითა და ტყეით არის შეცვლილი.

სპილენძისა და ნიკელის შენადნობები შედარებით მცირე რაოდენობით გამოიყენება, მათ შორის მნიშვნელოვანია მელქიორი (80%Cu და 20%Ni) და მონელ-მეტალი (68%Ni, 28%Cu, სილიციუმი და რკინა). განსაკუთრებით მაღალი კოროზიული მდგრადობა, ამასთან მაღალი მექანიკური თვისებები და დამუშავების სიადვილე განაპირობებს მონელ-მეტალის გამოყენებას ისეთი დეტალების დამზადებაში, რომლებიც იხმარება ზუსტ მანქანათმშენებლობაში, ქირურგიულ ხელსაწყოებსა და წმინდა ქიმიურ ტექნოლოგიის აპარატურაში.

სპილენძის მისაღებ ნედლეულს სპილენძის მადნები და სპილენძისა და მისი შენადნობების საწარმოო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენები (მეორადი ნედლეული) წარმოადგენს. მეორადი ნედლეულიდან სპილენძის გამადნობას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია, ლითონის საერთო წარმოების 30%-ს მეორადი ნედლეულიდან მიღებული სპილენძი შეადგენს.

სპილენძის საშუალო შემცველობა ღუდამის ქერქში 0,01% შეადგენს. როგორც სხვა ლითონები, სპილენძიც წარმოქმნის სპილენძით გამდიდრებული ქანების ცალკეულ გროვებს, ანუ სპილენძის მადნებს. მადნებში სპილენძი ამა თუ იმ ბუნებრივი ქიმიური ნაერთების, ანუ მინერალების სახითაა წარმოდგენილი. სპილენძის მადნების მიზნადილი გროვები, რომლებიც სამრეწველო მნიშვნელობით გამოირჩევა, სპილენძის საბადოებს წარმოქმნის.

დაახლოებით 150 წლის წინათ სამრეწველო მადნებში სპილენძის შემცველობა 15-20% შეადგენდა. ამჟამად კი გადაშუშავებას ექვემდებარება მადნები, რომლებშიც სპილენძის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია. ცალკეულ შემთხვევაში მადანში სპილენძის შემცველობის რენტაბელური მინიმუმი (მადანში სპილენძის ის მინიმალური შემცველობა, რომლის მიხედვითაც მადანი ითვლება სამრეწველო ნედლეულად) მცირდება 0,6%-მდე და 0,5%-მდეც კი.

სპილენძის მსოფლიო მარაგების დაახლოებით 80% ჩილეს (მსოფლიო მარაგების მეოთხედს ფლობს), აყრიკის, აშშ-ისა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნების საბადოებზე მოდის. ჩილე ყოველწლიურად 1,2 მილიონ ტონა სპილენძს აწარმოებს.

ბუნებაში ცნობილი საილენძმშემცველი მინერალების რიცხვი 240-ზე მეტია, მაგრამ სამრეწველო მადნებში თავმოყრილია მხოლოდ 30–40 მინერალი. მინერალებში წარმოდგენილი საილენძის ნაერთების ბუნებიდან გამოიძინარე, გამოყოფილია საილენძის მადნების სამი ძირითადი ჯგუფი: სულფიდური, ოქსიდური და თეითნაბადი. თუმცა, არც ერთი საილენძის საბადო არ შედგება მხოლოდ ერთი საილენძმშემცველი მინერალისგან -- ყოველი საბადო რამდენიმე საილენძის მინერალის სხვადასხვა კომბინაციათა წარმოდგენილი.

თეითნაბადი საილენძის მადანი, როგორც ჩანს, წარმოადგენდა ამ ლითონის მოპოვებისა და გამოყენების პირველ წყაროს ადამიანისათვის. სწორედ ამ გზით დაიწყო საილენძის მოპოვება და გამოყენება საქართველოს ტერიტორიაზე 5 ათასი წლის წინათ.

პირველხარისხოვანი სამრეწველო მნიშვნელობა 10 მინერალს ენიჭება (ცხრ. III.1.). მათ შორის მხოლოდ ქალკოპირიტი და, ნაწილობრივ, სხვა სულფიდები პირველად, მაგატიური წარმოშობის. ყველა დანარჩენი მინერალი მეორადი გეოლოგიური გარდაქმნების შედეგად წარმოიქმნა.

ცხრილი III.1.

საილენძის მნიშვნელოვანი მინერალები

დასახელება	ქიმიური ფორმულა	საილენძის შემცველობა, %
ქალკოპირიტი (საილენძის კლასიდან; ბერძნ. ქალკონ-საილენძის+პირიტი)	CuFeS ₂	34,6
ბორნაიტი	Cu ₂ FeS ₃	55,6
ქალკოსი	Cu ₂ S	79,9
კოქსიტი	CuS	68,5
მალაქიტი (გამოიყენება როგორც დეკორატიული ქვა)	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57,4
აზურიტი	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	55,1
ქუპრიტი	Cu ₂ O	88,8
ტენორიტი (მელაკონიტი)	CuO	79,9
ქრისოკოლა	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36,2
თეითნაბადი საილენძი	Cu	99,9-მდე

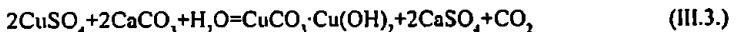
პირველადი მინერალების მადნის მასივის მიწის ზედაპირზე ამოსულის ადგილებში მიმდინარეობს მადნის მასივების ნგრევის ფიზიკური და ქიმიური პროცესები. ქალკოპირიტი, მაგალითად, იყენება და შედეგად წყალში ხსნადი საილენძისა და რკინის სულფატები წარმოიქმნება:



მასივის სიღრმეში სულფატური ხსნარების გაფრთხილება და მათი ქალკოპირიტთან ურთიერთქმედებით მეორადი სულფიდები წარმოიქმნება:



სულფატების მთის სხვა ქანებთან ურთიერთქმედებით, მაგალითად, კირქვასთან ურთიერთქმედებით საილენძის ოქსიდური მინერალები წარმოიქმნება:



მიწისქვეშა წყლების შედრეადობის სიღრმე საკმარისად მცირეა, რის გამოც პირველადი სულფიდების გარდაქმნა ნელა მიმდინარეობს; ამიტომ მთელი საილენძის 2/3-ზე მეტი ჯერ კიდევ პირველადი სულფიდების, (ძირითადად ქალკოპირიტის) სახით არის წარმოდგენილი ბუნებაში.

საილენძის მადნების ფუჭ ქანში შუდის პირიტი FeS₂, პიროტინი Fe₂S₃, კვარცი SiO₂, მაგნიუმისა და კალციუმის კარბონატები და სხვადასხვა სახის სილიკატები, რომლებშიც თავმოყრილია ალუმინის, კალციუმის, მაგნიუმისა და რკინის ოქსიდები.

პირიტი (FeS₂) რომელიც ყველაზე ხშირად სულფიდური მადნების საბადოებშია წარმოდგენილი, აგრეთვე ექვემდებარება ფანგავს, სულფატზაციასა და გამოტუტვას. პირიტის დაფანგვისა და საილენძის სულფატების გამოტუტვის შედეგად საბადოს ზედა ზონა, როგორც წესი, წარმოდგენილია ეწ. „რკინის ქელით“ (шеленная шликера), ანუ რკინის ოქსიდების ნაწილობით (ლექებით), რომლებიც

რკინის სულფატის ხსნარების ჰიდროლიზის შედეგად წარმოიქმნება „რკინის ქულის“ ზონა გამოირჩევა კუთლიზობილი ლითონების შექცევლობით. სპილენძის შექცევლობა მასში ძალზე მცირეა.

ისე რომ, სპილენძის ყველა ოქსიდური მინერალი, როგორც წესი, სპილენძის საბადოების ზედა პორიზონტებზეა განლაგებული. სიღრმეში კი ოქსიდებს სულფიდური მინერალები ცვლის – ჯერ სპილენძის მორალი სულფიდები, როგორცაა ქალკოზინი, კოველინი, ხოლო შემდეგ, დაბალ პორიზონტებში – პირველადი სულფიდები (ქალკოპირიტი, ბორნიტი და სხვა).

ბუნებაში ძირითადად ორი სახის სპილენძის სულფიდური მადანი მოიპოვება – მთლიანი კოლჩედანური, რომლის მასა ძირითადად სპილენძისა და რკინის სულფიდებისგან შედგება და ჩაწინკლული, რომელშიც სულფიდები კვარცხა და სილიკატურ ქანებშია ჩაწინკლული. ზოგჯერ ჩაწინკლული სულფიდები მიკროსკოპული ზომისაა. კოლჩედანურ მადანში სპილენძისა და გოგირდის რაოდენობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე ჩაწინკლულ მადანში (ცხრ. III.2.)

ცხრილი III.2.

სპილენძის მადნების საგარაუდო ქიმიური შემადგენლობა

მადანი	შემცველობა, %							
	Cu	Fe	S	Zn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
მთლიანი კოლჩედანური	2,5	39,4	45,6	1,7	5,3	2,4	0,4	0,5
	5,6	23,0	24,5	6,3	23,0	10	4,0	1,2
ჩაწინკლული ხელფიდური	1,5	8,5	9,0	—	52,6	10,8	2,2	0,7
ოქსიდური	2,1	1,0	0,1	—	68,0	16,0	0,7	0,7

ოქსიდური მადნები წარმოიქმნება სულფიდური მადნების (განსაკუთრებით ჩაწინკლული ტიპის მადნების) მინერალების დაეანგვის შედეგად, ამიტომ სპილენძის ოქსიდურ მადნებში რკინის მინარეების ძირითადი მასა წარმოდგენილია ოქსიდების, კარბონატებისა და სილიკატების სახით.

სპილენძის სულფიდური და ოქსიდური მადნები ზოგჯერ თანმდევი ელემენტების სახით მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს სხვა ფერად ლითონებს (თუთია, ტყვია, ნიკელი, მალიბდენი). ხშირად მადანს თან სდევს პრაქტიკული მნიშვნელობის ოქრო და ვერცხლი, აგრეთვე გოგირდი, სელენი, ტელური, თალომი და სხვა სასარგებლო ელემენტები, რომელთა თანაური ამოღება მნიშვნელოვანდ ზრდის სპილენძის წარმოების ეფექტურობას. სპილენძის მადნების გადამამუშავების რაციონალური ტექნოლოგია უნდა ითვალისწინებდეს მადნის ყველა სასარგებლო შემადგენლის თანაური ამოღების შესაძლებლობას. თანამდროვე მეტალურგიული გადამამუშავების მიზანია ნედლეულის კომპლექსური გამოყენება.

საქართველოს მადნეულის საბადოს სპილენძ-კოლჩედანური მადანი, გარდა ძირითადი ლითონებისა (სპილენძი, თუთია), შეიცავს აგრეთვე თანმდევი ლითონების მთელ კომპლექსს – კადმიუმს, სელენს, ტელურს, ინდიუმს, მალიბდენს, ბისმუტს, ოქროს, ვერცხლს და სხვა თანმდევი ელემენტებს.

ჩვენს დროში უშუალოდ მადნიდან მცირე რაოდენობის სპილენძის გამოღობა ხდება. უფრო ხშირად ტარდება მადნების წინასწარი გამდიდრება და გამდიდრების შედეგად მიღებული კონცენტრატი ექვემდებარება მეტალურგიულ გადამამუშავებას.

სპილენძის კონცენტრატები, რომლებიც მადნების ფლოტაციური გამდიდრებით მიიღება, 8-დან 35%-მდე სპილენძს შეიცავს. სპილენძით უფრო მდიდარი კონცენტრატების მიღება გაანგებებულია სპილენძისა და რკინის სულფიდური მინერალების ფლოტაციური თვისებების სიახლოვისა და მათი მადანში ერთმანეთთან მჭიდროდ შეზრდის გამო. მადნის ფლოტაციის შედეგად მიიღება სპილენძის კონცენტრატი და პირტიული კუდები, ან ჯერ მთლელა სპილენძ-პირტიის კოლექტორული კონცენტრატი, ხოლო შემდეგ ხდება მისი დაყოფა განმყოფებითი ფლოტაციით. პირტიული მადნებიდან სპილენძის კონცენტრატში 85–90% სპილენძი ამოიღება.

ოქსიდური მადნების ფლოტაციის დროს პულპაზე გოგირდოვანი ნატრიუმის დამატებით სპილენძის მინერალების ზედაპირი სპილენძის სულფიდის აფსკით იფარება.

კომპლექსური მადნების, მაგალითად, სპილენძ-თუთიის მადნების სელექტიური ფლოტაციით, სპილენძის კონცენტრატში 80–90% Cu-ის გადაყვანა ხერხდება, ხოლო თუთიის კონცენტრატში 65–70% თუთია გადადის.

შუადად ნედლეული ჯართს, აგრეთვე სპილენძისა და მისი შენადნობების ნარჩენებს წარმოადგენს. მათი შეგროვება და დასარჩისება ცალკეული სახეობების მიხედვით ხდება.

მადნებიდან და კონცენტრატებიდან სპილენძის ამოსაღებად როგორც პირომეტალურგიული, ასევე პიდრომეტალურგიული ხერხი გამოიყენება.

პირომეტალურგიული ხერხი გამოსაღვია სულფიდური, ოქსიდური და შერეული მადნების გადასამუშავებლად, ხოლო პიდრომეტალურგიული, როგორც წესი, მხოლოდ ოქსიდური და თიონაზადი მადნების გადამამუშავების დროს გამოიყენება. პირომეტალურგიული ხერხი სპილენძთან ერთად ძვირფასი ლითონების თანაურ ამოღებას უზრუნველყოფს, რაც პიდრომეტალურგიული ხერხის გამოყენების დროს არ ხერხდება.

ღარიბი ოქსიდური მადნების გადამამუშავების დროს უპირატესობა პიდრომეტალურგიულ ხერხს ენიჭება. ამ შემთხვევაში მადნიდან სპილენძის გამოტუტვა უფრო მოგებანია, ვიდრე მადნის ღნობა. მაგრამ, თუ მადნის გამდიდრებით შესაძლებელია სპილენძით მდიდარი კონცენტრატის მიღება, მაშინ პირომეტალურგიული ხერხით გადამამუშავება უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე მადნიდან სპილენძის გამოტუტვა.

ყველა ცალკეულ შემთხვევაში სპილენძის მადნების გადამამუშავების ხერხის შერჩევა ტექნიკურ-ეკონომიკურ გათვლებს უნდა ეყრდნობოდეს და უნდა ითვალისწინებდეს ზემოთ მოყვანილ მოსაზრებებს ამა თუ იმ საბაღოს მიმართ.

სპილენძის მეტალურგიაში უპირატესად პირომეტალურგიული გადამამუშავების ხერხი გამოიყენება.

1.1. სპილენძის ნედლეულის გადამამუშავება პირომეტალურგიაში ხერხით

სპილენძის თანამედროვე პირომეტალურგიაში, ძირითადად გამოიყენება ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს სულფიდური ნედლეულის ღნობით შუალედურ ეტაპზე შტეინის მიღებას. შტეინზე ღნობა შეიძლება ჩატარდეს მჟანგავ, ნეიტრალურ ან აღმდგენ ატმოსფეროში.

ჟანგვითი ღნობის დროს ნებისმიერი შემადგენლობის მქონე შტეინის მიღება შეიძლება. ამ შემთხვევაში უპირატესად რკინის სულფიდი იყენება და დაჟანგვის შედეგად წარმოქმნილი რკინის ოქსიდი ურთიერთქმედებს რა კაჟმიწათან, წიდაში გადაღის (რეაქცია II.14.). ნეიტრალურ ან აღმდგენ ატმოსფეროში შტეინზე ღნობის დროს დესულფურიზაციის ხარისხის რეგულირება შეუძლებელი ხდება, რის გამოც მიღებული შტეინი და საწყისი კაჟში სპილენძის შემცველობის მიხედვით უმნიშვნელოდ იქნება ერთმანეთისგან განსხვავებული. აქედან გამომდინარე, ღარიბი კონცენტრატების გადამამუშავების დროს, სპილენძით უფრო მდიდარი შტეინების მიღების მიზნით კონცენტრატთან გოგირდის ნაწილის წინასწარი განდევნა ხდება ჟანგვითი გამოწვის გზით. ამგვარად, შტეინზე ღნობის წინ სპილენძის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვის აუცილებლობა კონცენტრატში სპილენძისა და გოგირდის შემცველობების ფარდობაზეა დამოკიდებული.

დაუსაღისებელი ლითონური სპილენძის მიღების მიზნით შტეინების შემდგომი გადამამუშავება მათი თხევად მდგომარეობაში დაჟანგვით ხორციელდება. რკინა ღიღ ნათესაურ კაჟშირშია დაჟანგვით და ამიტომ დაჟანგვის პროცესში ჯერ რკინის სულფიდი იყენება (რეაქცია II.13.). მთელი რკინის დაჟანგვისა და წარმოქმნილი წილის განდევნის შემდეგ სულფიდური სპილენძი იყენება ჯაპური რეაქციით:



სულფიდური ნედლეულის მეტალურგიაში ფართო გამოყენებას ჰქონდა ავტოგენური პროცესი, რომელიც სულფიდების, შემთბარი ჰაერით ან ჟანბადით გამდიდრებული ჰაერით დაჟანგვის დროს გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბოს ხარჯზე წარმართება. ამ სახის ჟანგვით ღნობაში ერთ პროცესში გაერთიანებულია როგორც გამოწვა და შტეინზე ღნობა, ასევე გამოწვა, შტეინზე ღნობა და დაუსაღისებელი სპილენძის მიღება.

1.1.1. სპილენძის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვა

სპილენძის წარმოებაში პრაქტიკულად მხოლოდ ჟანგვითი გამოწვის პროცესი გამოიყენება. სპილენძის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვა მრავალქველიან ლუმელებში, მდულარე ფენის ლუმელებსა და საავლომერაციო მანქანებზე ტარდება. გამოსაწვავი აგრეგატის შერჩევა დამოკიდებულია

გამოსაწვავი ნედლეულის სახეობაზე და მომდევნო დნობის ეტაპზე გამოშვარი მასალის (ნაშვების) გადასამუშავებელი ლუმელის ტიპზე. სამივე ტიპის აგრეგატში გამოწვის შედეგად, ძირითადად, ერთი და იგივე სახის ქიმიური ცვლილებები ხდება – სულფიდში ბმული გოგირდი განსაზღვრული ხარისხით იფანგება და აირადი SO_2 -ის სახით განიღვნება.

სპილენძის ფხენილისებრი სულფიდური კონცენტრატი, რომელიც მრავალქვედან ან მღულარე ფენის ლუმელებში გადაამუშავდება, გამოწვის შემდეგ ისევ ფხენილის სახით რჩება. ფხენილისებრი ნაშვი მომდევნო ეტაპზე ამრეკლ ლუმელებში ან ელექტროლუმელებში დნობისათვის არის გამოიზნული. ამ ტიპის სადნობ ლუმელებში მხოლოდ ფხენილისებრი მასალა გადაამუშავდება. ნაჭროვანი ნაშვი (ავლომერატი), რომელიც შესტურ ლუმელებში გასაღობად გამოიყენება, საავლომერაციო მანქანაზე ფხენილისებრი კონცენტრატის გამოწვის შედეგად მიიღება. საავლომერაციო მანქანაზე მიმდინარე გამოწვის პროცესში შეთავსებულია დესულფურიზაციისა (გოგირდის განდევნა) და ავლომერაციის (ფხენილისებრი მასალის განაჭრევენება) ოპერაციები.

გამოსაწვავ კონცენტრატში სპილენძისა და რკინის მინერალები სულფიდური ნაერთების სახით არის წარმოდგენილი. რკინის სულფიდთან შედარებით სპილენძის სულფიდი თავისი ბუნებით უფრო მდგრადი ნაერთია. გარდა ამისა, ჟანგბადთან რკინის ნათესაური კავშირი უფრო ძლიერია, ვიდრე – სპილენძისა. ამიტომ თუ გამოწვის პროცესში ჟანგბადის რაოდენობა საკმარისი არ იქნება ნედლეულში შემავალი ყველა სულფიდის დაჟანგვისთვის, მაშინ ეს არასაკმარის რაოდენობის ჟანგბადი სპილენძთან შეერთებამდე უპირატესად რკინას შეუერთდება:



მაღლების, კონცენტრატების და მათი ფლუსებთან ნარევიების გახურებისას (ჟანგვითი გამოწვის პროცესში) ჰიდროსკოპული ტენის აორთქლების შემდეგ (შრობა), რომელიც თეორიულად $100^{\circ}C$ -ზე მთავრდება, ქიმიური ნაერთების (მინერალების) დაშლაც ხდება, რის შედეგადაც აირადი ნივთიერებები წარმოიქმნება (იხ. რეაქციები II.3., II.4., II.5., II.6., II.7.).

შტინზე დნობის წინ სპილენძის კონცენტრატების ჟანგვითი გამოწვის ძირითადი დანიშნულება რკინის ნაწილობრივი (დაახლოებით მისი ნახევარი) დაჟანგვა და მისი გადაყვანა ოქსიდში, რათა მომდევნო ეტაპზე ნაშვის შტინზე დნობის დროს დაჟანგული რკინის ოქსიდის წილადი გადასვლით შტინი სპილენძით გამოიდრღეს.

შტინის საბოლოო შემადგენლობა განისაზღვრება იმით, თუ რა რაოდენობის გოგირდი განიღვნება გამოწვის პროცესში, ანუ რა რაოდენობის რკინის სულფიდი დაიჟანგება. გამოწვის პროცესში დესულფურიზაციის ხარისხი 70–75% შეადგენს. გამოწვის შედეგად მიღებულ ნაშვებში სპილენძი მთლიანად ისევ სულფიდის (Cu_2S) სახით რჩება.

სულფიდების ჟანგვა მაღალ ტემპერატურებზე ($700-900^{\circ}C$) მიმდინარეობს. გამოწვის პროცესისათვის საჭირო სითბო სულფიდების ჟანგვის ეგზოთერმული რეაქციით გამოიყოფა. ჟანგვითი გამოწვის პროცესში კაში თანდათან ხურდება. გახურების დროს კაში შრება (ტენი ორთქლდება), სულფიდური მინერალები და სხვა არამდგრადი ქიმიური ნაერთები დისოცირდება (იშლება), მდგრადი სულფიდები ააღდება და წყას (ჟანგვას) განიცდის. სულფიდური მინერალების დაშლა, მათი დაშლის პროდუქტებისა და სხვა სულფიდების ააღება კაშმის $350-400^{\circ}C$ -მდე გახურების შემდეგ ხდება. სულფიდების ჟანგვა მათი ააღებით იწყება. ააღება განსაზღვრულ ტემპერატურაზე ხდება. ააღების ტემპერატურაზე გამოყოფილი სითბო საკმარისია გამოსაწვავი სულფიდების ჟანგვის სიჩქარე მთელი მასის ინტენსიური წვისათვის. უფრო დაბალ ტემპერატურაზე სულფიდების ჟანგვის სიჩქარე იმდენად დაბალია, რომ რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბო მთლიანად იკარგება გარემო სივრცეში თბური დანაკარგების ანაზღაურებაში. გამოწვის პროცესის დაწყებას ფაქტობრივად სულფიდების ააღების ტემპერატურა განსაზღვრავს. სხვათაშვა სულფიდების ააღების ტემპერატურა განსხვავდება ერთმანეთისგან და იგი დამოკიდებულია სულფიდების ინდივიდუალურ ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე და აგრეთვე მასალის გაფხვიერების ხარისხზე (ცხრილი. III.3.). მონაცემიდან ჩანს, რომ ააღების ყველაზე დაბალი ტემპერატურა პირიტს გააჩნია (ცხრილი III.3.). პირიტი სპილენძის სულფიდურ

კონცენტრატში ყველაზე დიდი რაოდენობითაა წარმოდგენილი (განსაკუთრებით მთლიან კოლჩედანურ მადნებში) და ამიტომაც იგი განსაზღვრავს კაზმის აალების ტემპერატურას გამოწვის პროცესში. რაც უფრო მეტია გოგირდის შემცველობა კონცენტრატში, მით უფრო მდგრადია გამოწვის პროცესი თერმულად.

ცხრილი III.3.

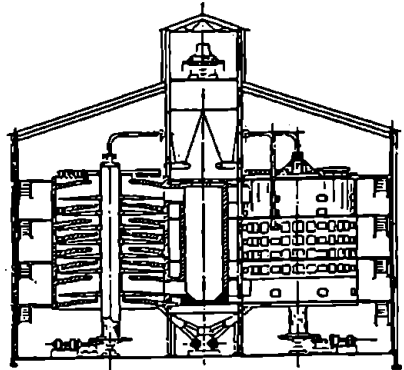
ზოგიერთი სულფიდის აალების ტემპერატურა მასალის მარცვლის სისხოზე დამოკიდებულებით

მინერალი	t, °C მარცვლის სისხოზე (მშ) დამოკიდებულებით		
	0.1	0,1-0,2	>0,2
პირიტი - FeS ₂	325	405	472
ქაღკოხინი - Cu ₂ S	430	-	590
ქაღკოპირიტი - CuFeS ₂	360	-	-
პიროტიანი - FeS	430	525	590
თუყთის კრიალა - ZnS	647	-	810

იმის გამო, რომ ღნობის წინ კონცენტრატში მფლუსავი მასალის შეტანა, მთელი კაზმის საგულდაგულოდ არევა და მისი შეთბობა აუცილებელი, სპილენძის კონცენტრატის სუფთა სახით გამოწვა არ ხდება (და არც არის რეკომენდებული). თერმულად ინერტული და სითბოს მშთანთქმელი საფლუსე და საბრუნო მასალები ამცირებს გოგირდის შემცველობას გამოსაწვავ კაზმში და ამით ზღუდავს ძალზე მაღალი ტემპერატურის განვითარებას ლუმელში, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს კონცენტრატის შეცხობა ან დაგუნდავება.

მრავალქვედიან გამოსაწვავ ლუმელებში, რომლებიც გამოწვის სააქროშია განლაგებული (სურ. III.1.), სპილენძის სულფიდური კონცენტრატი ბუნკერიდან კონვეიერის მეშვეობით იტვირთება.

საშუალო სიღრმის სპილენძის ქარხანაში ერთ საღნობ ლუმელს 6 მრავალქვედიანი გამოსაწვავი ლუმელი ემსახურება. ჩვეულებრივი ტიპის გამოსაწვავ ლუმელს ორი შრობის ქვედი და 10 შივა გამოსაწვავი ქვედი გააჩნია. ლუმელის გარსაკმი 12,5 მმ სისქის ფოლადის ფურცლისგან მზადდება, ხოლო ქვედები და კედლები ცეცხლგამძლე თიხა-მიწა აგურისგან არის ამოგებული. თორმეტქვედიანი ლუმელის დიამეტრი 6,7 მეტრს უდრის, სიმაღლე 12,2 მ-ის ტოლია. სახვეტების ბრუნვის სიჩქარე 1,5 ბრ/წთ-ია. სახვეტების გასაცივებლად მიწოდებული ჰაერის ნაკადის ნაწილი სულფიდების წეას ჟანგბადით უზრუნველყოფს. გამოწვის პროცესში კონცენტრატისა და ფლუსის შერევა ხდება და გამოშვარი კაზმი (ნაწევი) ლუმელის ქვედა ქვედიდან გადმოიტვირთება.

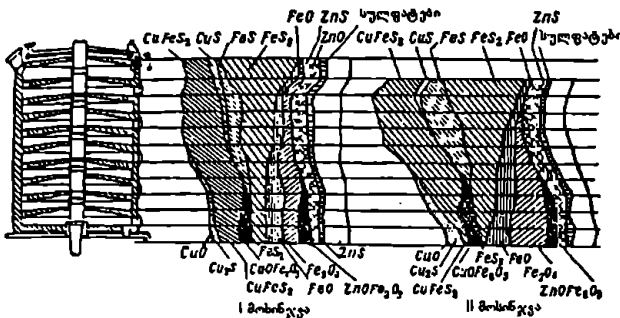


სურ. III.1. სპილენძის სულფიდური კონცენტრატის გამოსაწვავი მრავალქვედიანი ლუმელების სააქრო.

იმის გამო, რომ ლუმელში გამოწვის დროს მყარი ნივთიერებების ერთმანეთთან კონტაქტი ხშირად ირღვევა, მათ შორის მიმდინარე რეაქციებიც ხშირად ბოლომდე არ მიდის. ამიტომ გამოშვარ კონცენტრატებში (ნაწევი) ამ რეაქციების პროდუქტებთან ერთად საწყისი ნივთიერებების მნიშვნელოვანი რაოდენობაც შეინიშნება. გამოწვის პროცესში კონცენტრატის რაციონალური შემადგენლობის თანდათანობითი ცვლილება ნაჩვენებია III.2. სურათზე.

ლუმელიდან წარმავალი გამოწვის აირების ნაკადი, მტერის კოლექტორში გავლით მტერისგან ცალკევდება. მტვერი ღნობის სააქროში მიეპარება და ნაწევიან ერთად საღნობ ლუმელში იტვირთება. გამოწვის პროცესში, ჰაერის დიდი რაოდენობით გამოყენების გამო, SO₂-ის კონცენტრაცია წარმავალ აირებში დაბალია (4,5-6,5%-ს არ აღემატება).

მრავალქვედიანი გამოსაწვავი ლუმელის ქვედის 1 მ²-ზე დღე-ღამეში საშუალოდ 0,5-1 ტ სველი კონცენტრატის (რომელიც დაახლოებით 22% გოგირდს შეიცავს) გადამუშავება შეიძლება.



სურ. III.2. გამოწვის პროცესში კონცენტრატის რაციონალური შემადგენლობის საფარაულო ცვლილება.

უდრის; შიგნიდან იგი ცეცხლგამბლე აგურითაა ამოვებული. ცეცხლირიკზე განლაგებულია 164 ქიზი, საიდანაც 27,6 კას წნევით ჰაერის შეხერვა ხდება. აშშ-ის ერთ-ერთ შტატში (ტენისიში) მდლარე ფენის ღუმელი იტვირთება ლამისმავარი მასალით, რომელიც წყლისა და მასში 78%-მდე შერეული მყარი კონცენტრატის ნარევეს წარმოადგენს. ნარევეში ფლუსის სახით კაემიწაც არის შერეული. ფანგვის ტემპერატურის (650°C) შენარჩუნება მასალის ჩატვირთვის სიჩქარის რეგულირებით ხდება. ნაშწვის განსაზღვრული ნაწილი (ზოგჯერ 75 და 85%-მდე) გამოწვის ღუმელის ზედა გასასვლელდან აირების ნაკადთან ერთად გადის. მტერის დამჭერ ციკლონებში, ბოილერში და ზოგჯერ, მტერის ელექტროსტატიკური გამოყოფის სისტემაში გავლის შემდეგ, აირები, რომელიც 10% SO₂-ს შეიცავს, გოგირდმავას წარმოებაში გამოიყენება. აირებისგან განცალკევებული მტვერი ღუმელის ქვედა ნაწილიდან გამოძაეული ნაშწვის მსხვილ ფრაქციას ემატება და მასთან ერთად ნაშწვის ბუნკერში ჩადის.

ნაშწვი გოგირდის შემადგენლობის კონტროლით, რომელიც ღუმელში შებერილი ჰაერის რაოდენობაზე დამოკიდებული, სასურველი ხარისხის შტეინის მიღებაა შესაძლებელი.

სააგლომერაციო მანქანებზე კონცენტრატის შეცხოებით ნაჭროვანი გამოშწვარი მასალა - აგლომერატი მიიღება. აგლომერატი მომდევნო ეტაპზე შახტური ტიპის სადნობ ღუმელებში გადა- მუშავდება. შახტური ღუმელების გამოყენების მასშტაბების შემცირების გამო სააგლომერაციო ოპერაციების რიცხვმა საგრძნობლად იკლო. შახტური ღუმელები, ისიც მცირე რაოდენობით, ჯერ კიდევ გამოიყენება რუსეთში, აფრიკაში და იაპონიაში.

აგლომერაციის პროცესში ძირითადად „დაღმამაველი“ ტიპის შესაცხოები მანქანები გამოიყენება. საშუალო სიდიდის მანქანების პალეტების სიგანე 1 მ, ხოლო სიგრძე 0,9 მ-ია. მათი გადაადგილების მანძილი 9-15 მ-დეა. ცეცხლირიკებში (პალეტებში) ჩატვირთული კაზმის ფენა 15 სმ სიმაღლისა და იგი ფხვიერი კონცენტრატის, წარმავალი აირებიდან განცალკევებული მტერის, ფხვიერი შეცხოებით ნაბურთისა და ფლუსის ნარევისგან შედგება. პალეტების გადაადგილების სიჩქარე 0,6 მ/წთ შეადგენს. ასეთი მანქანა 250 ტონა მასალის გადაშუავენებას უზრუნველყოფს დღე-ღამეში. გამოწვის შედეგად კაზმში გოგირდის შემცველობა 20-დან 14%-მდე მცირდება. დიდი რაოდენობის ჰაერის გამოყენების გამო SO₂-ის შემცველობა წარმავალ აირებში იმდენად გაზავებულია, რომ მისი გამოყენება გოგირდმავას წარმოებაში არ არის მიზანშეწონილი.

1.1.2. სხაღენძის გამოშწვარი სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტეინზე

საიღენძის სულფიდური კონცენტრატის გამოწვის შედეგად მიღებული ნაშწვის დნობა შტეინისა და წილის მიღების მიზნით, ამრეკლ, ელექტრო და შახტური ტიპის ღუმელებში ტარდება. ამ ტიპის ღუმელებში ძირითადად მიმდინარეობს დნობის ერთი და იგივე პროცესი - მასალაში (კაზმში) შემავალი ყველა კომპონენტი (ლითონის სულფიდები, რკინის ოქსიდი, ფუჭი ქანი, კაემიწის ფლუსი) დნება და დნობის შედეგად რკინის ოქსიდის, ფუჭი ქანისა და კაემიწის ერთმანეთთან

მდლარე ფენაში გამოწვის ღუმელები გაცილებით მაღალი მწარმოებლობით გამოირჩევა (მდლარე ფენაში გამოწვის ერთ ღუმელს შეუძლია რეა მრავალქვიდანი ღუმელი შეცვალოს).

ტიპური მდლარე ფენის ღუმელი, რომელსაც ცილინდრული ფორმის 12,5 მ სისქის ფოლადის ფურცლისგან შეკრული გარსაქში არტყია, 5,18 მ სიმაღლისაა კონუსური დაბოლოებებით; მისი დიამეტრი 3,66 მ

შერთებით ფორმირდება ნაღობის მსუბუქი ფენა, ანუ წიდა. წიდა ლითონის სულფიდების შედნობით წარმოქმნილი ნაღობის მძიმე ფენის, ანუ შტეინის ზედაპირზე იწყებს ტიტიცის.

წიდა, რომელიც ოქსიდების რთული შენაღობისგან შედგება, ფუჭი ქანის კომპონენტების კონცენტრაციას ახდენს და სასარგებლო ლითონებისგან მათ განცალკევებას უზრუნველყოფს. წიდაში ძირითადად ოქსიდების სახით შედის SiO_2 , $FeO+Fe_2O_3$, CaO , MgO და Al_2O_3 ; წიდა მცირე რაოდენობით შეიცავს აგრეთვე ZnO , Cr_2O_3 , V_2O_5 , MnO -სა და სხვა ოქსიდებს. წილის წარმოქმნელი ოქსიდები თავისი ბუნებით არის მჟავა (SiO_2 და Al_2O_3), ტუტე (FeO , CaO , MnO და სხვა) და ამფოტერული (Fe_2O_3+ZnO). წილის წარმოქმნელი კომპონენტების თანაფარდობის მიხედვით წიდელები მჟავა და ტუტე წიდებად იყოფა. მჟავა წიდაში $SiO_2+Al_2O_3$ შემცველობა 40%-ს აღემატება, ხოლო ტუტე წიდაში ამ ოქსიდების ჯამი 40% ნაკლებია.

პრაქტიკაში იხმარება აგრეთვე ცნება „წილის მჟავიანობა“, რომელიც მჟავა ოქსიდებთან შეკრული ჟანგბადის რიცხვის (ატომების) ტუტე ოქსიდებში შემავალი ჟანგბადის ატომების რიცხვთან უარდობას ითვალისწინებს:

$$\text{მჟ} = \frac{O_{\Sigma SiO_2, Al_2O_3}}{O_{\Sigma MeO}} \quad (\text{III.8.})$$

ეს ფარდობა მხოლოდ წიდეების შემადგენლობების შესახებ იძლევა წარმოდგენას და საკმაოდ პირობითია. გადასამუშავებელი კაზმისა და მისაღები წიდეების შემადგენლობების სწორი შერჩევისათვის საჭიროა წიდეების ნაღობების აგებულების შესახებ ცოდნა, რომელიც მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების (წილის სისტემების დნობადობა, წიდეების ზედაპირული დაჭიმულობა, მჟავი და თხევადი წიდეების სიმკვრივე, დნობის დაწყების ტემპერატურა, წილის ნაღობების ელვამტარობა) მიეღი კომპლექსით განისაზღვრება.

სპილენძის შტეინი ძირითადად სპილენძისა და რკინის სულფიდებისგან შემდგარი ნაღობია, რომელიც მცირე რაოდენობით სხვა ლითონების სულფიდებს, მაგნეტიტს (Fe_3O_4), ვიუსტატს (FeO) და ზოგიერთ სხვა მინარევს შეიცავს. მიუხედავად შტეინის ნაღობის სირთულისა, იგი, ძირითადად, შედგება სპილენძის, რკინისა და გოგირდისგან. ამ კომპონენტების ჯამი სპილენძის შტეინის მთელი მასის 80–90%-ს შეადგენს. შტეინის თიორიული შემადგენლობა შეიძლება შეიცვალოს სუფთა Cu_2S -ის და სუფთა FeS -ის ზღვრებში, რაც შეესაბამება გოგირდის შემცველობას 20-დან (Cu_2S -ში) 36,5%-მდე (FeS -ში). ქარხნის შტეინებში სპილენძის შემცველობა, 35–45%-მდე იცვლება. ქარხნის პრაქტიკაში სპილენძის შტეინებში გოგირდის შემცველობა 24–26%-ს შეადგენს, რაც საშუალებას იძლევა, დიდი ცდომილების გარეშე (მეტალურგიული გათვლების დროს) სპილენძის შტეინებში გოგირდის საშუალო შემცველობა 25%-ის ოდენობით იქნეს მიღებული. რეალური შტეინების დნობის ტემპერატურა 900–1050°C ფარგლებში იცვლება. შტეინის ნაღობში, ისევე როგორც გამდნარ სპილენძში, კეთილშობილი და სხვა ზოგიერთი ძვირფასი ლითონი კარგად იხსნება, რაც სპილენძის ნედლეულის (მადანი, კონცენტრატი) პირომეტალურგიული ხერხით გადამუშავების დროს თანმდევი ძვირფასი ლითონების თანაურ ამოღებას უზრუნველყოფს.

კეთილშობილი ლითონების შემცველი სპილენძის მადნების ან ფლოტაციური კონცენტრატების შტეინზე დნობისას ოქროსა და ვერცხლის ამოღება 95–98%-ს აღწევს.

შტეინზე გამოსადნობ კაზმში შემავალ სხვა ლითონებთან შედარებით სპილენძი ყველაზე უფრო დიდ ნათესაურ კავშირშია გოგირდთან. ამასთან CuO , Fe_2O_3 -თან შედარებით ნაკლებად მდგრადი ნაერთია. ამიტომ კაზმში შემავალი სპილენძი შტეინზე დნობის პროცესში პრაქტიკულად მთლიანად გოგირდს უერთდება და Cu_2S -ის სახით სტაბილურ სულფიდურ ნაერთს წარმოქმნის. რაც შეეხება რკინას, მისი რაოდენობა შტეინში დამოკიდებულია კაზმის წინასწარი ჟანგვით გამოწვის სისრულეზე. რკინის ის ნაწილი, რომელიც კაზმის გამოწვის პროცესში იფანება, შტეინზე დნობის დროს მთლიანად წიდაში გადადის, ხოლო სულფიდის სახით დარჩენილი რკინა შტეინს უერთდება. რაც უფრო ჭარბადაა გოგირდი იმ რაოდენობაზე, რომელიც საჭიროა სპილენძისა და ზოგიერთი მინარევი ლითონის (ნიკელი, კობალტი) შტეინში გადასაყვანად, მით უფრო მაღალი იქნება რკინის შემცველობა შტეინში და მით უფრო დაბალი იქნება შტეინის ხარისხი. ყოველი პროცესიდან გამომდინარე შტეინი თავისი ოპტიმალური შემადგენლობით გამოირჩევა. დნობა კონცენტრაციისა და ამასთან ერთად კომპონენტების გაერთიანების პროცესია. ამიტომ დნობის პროცესი

გრძელდება მანამ, სანამ ნაშვში შემავალი დაქანგული რკინა მთლიანად არ გაერთიანდება ფუჭ ქანთან და კაჟიწასთან და მათთან ერთად წიდაში არ გადავა.

გამოწვის პროცესში წარმოქმნილი სპილენძის ოქსიდის მხოლოდ მცირე პროცენტი იკარგება წიდაში. მისი ძირითადი ნაწილი კი რკინის სულფიდთან ურთიერთქმედების შედეგად ისევ სულფიდრდება (რეაქცია II.16.). ვინაიდან რეაქცია (II.16.) სწრაფად მიმდინარეობს, სპილენძი შტენში რჩება სულფიდის სახით, ხოლო რკინა, დაქანგვის შედეგად მნიშვნელოვანწილად წიდაში გადაის, რის გამოც სპილენძის შემცველობა შტენში იზრდება.

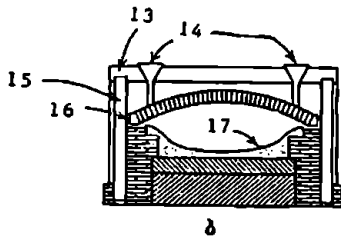
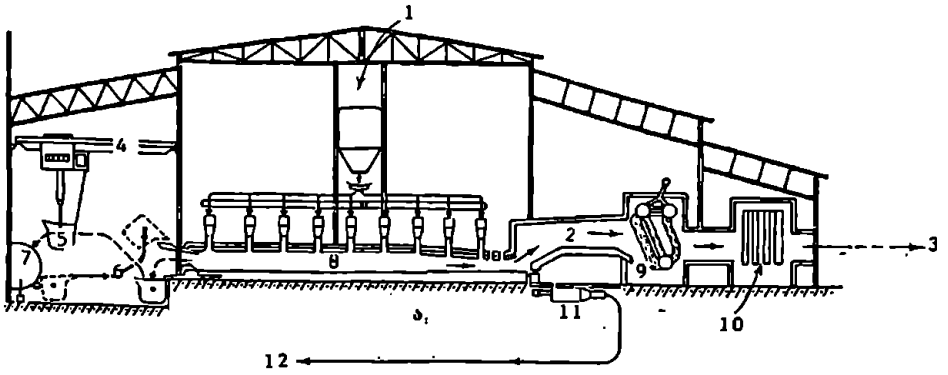
მუხუხდავად იძისა, რომ დნობა კონცენტრირების პროცესსა, სპილენძის სულფიდური ნედლეულის შტენზე დნობის დროს უფრო მიზანშეწონილია სპილენძით ღარიბი შტენის, ანუ რკინის ჭარბი (მაღალი) რაოდენობის მქონე შტენის (სპილენძი 35 - 45%-ის შემცველობით) მიღება, ვიდრე მაღალი ხარისხის შტენისა, რომელიც მხოლოდ მცირე რაოდენობის ნარჩენ რკინას შეიცავს. უპირატესად დაბალი ხარისხის შტენის მიღება რიგი მიზეზებიდან გამომდინარეობს, რომელთა უმრავლესობაც სპილენძის წიდაში დაქარგავსთან არის დაკავშირებული. სპილენძით მდიდარი შტენის (მაღალი ხარისხის შტენი) მიღების შემთხვევაში რკინის დიდი რაოდენობა გადაის წიდაში და მის საერთო მოცულობას ზრდის. დიდი მოცულობის წიდას უფრო დიდი რაოდენობით გააქვს თან მასში გახსნილი და მექანიკურად წატაცებული შტენის ნაწილაკები, რაც სპილენძის საერთო გამოსაყვანიანობას მნიშვნელოვნად ამცირებს (რაც უფრო მდიდარია შტენი სპილენძით, მით უფრო მეტია სპილენძის შემცველობა წიდაში). მაღალი ხარისხის შტენი მცირე მოცულობით გამოირჩევა, რის გამოც იგი, როგორც კეთილშობილი ლითონების კოლექტორი, ნაკლებად ფუჭტანხი ხდება - შტენის წვეთების სიმცირის გამო ნაღობში გახსნილი კეთილშობილი ლითონების მთლიანად გაერთიანება და მათი სრული კონცენტრაცია შტენის ფენაში არ ხერხდება. გარდა ამისა, მაღალი ხარისხის შტენში რკინის სულფიდი იმდენადაა შემცირებული, რომ მისი უანგუთი რეაქცია საჭირო რაოდენობის ეგზოთერმული სითბოთი ვეღარ უზრუნველყოფს კონვერტირების პროცესს, რომელიც შტენზე დნობის მომდევნო ეტაპზე ტარდება. სპილენძით მდიდარი შტენის (მაღალი ხარისხის შტენი) მისაღებად საჭიროა რკინის სულფიდის დიდი რაოდენობით დაქანგვა და მისი რკინის ოქსიდში გადაყვანა, რაც გამოწვის სააპქროების გაფართოებასა და მასთან დაკავშირებულ ხარჯების გადიდებასთან არის დაკავშირებული.

ამრკელი ღუმელები ვერ კიდევ ფართოდ გამოიყენება სპილენძის ნედლეულის დნობის პროცესებში, რაც იმით აიხსნება, რომ ამ ტიპის სადნობ ღუმელში დაქუცმაცებული ფლოტაციური კონცენტრატების გადაშუშების პროცესი ადვილად მართვადია. გარდა ამისა, დნობის პროცესში შესაძლებელია სხვადასხვა სახის სათბობის (ქვანახშირი, მანუთი, ბუნებრივი აირი) გამოყენება.

როგორც წესი, ღუმელში (სურ. III.3.) ჩასატვირთი კაზში შედგება ცხელი ნაწიწისგან, კონკრეტრიდან მიღებული თხევადი წიდასგან (რომელიც სპილენძის მაღალი შემცველობით გამოირჩევა), ფლუსისგან, სპილენძის შემცველი სხვა ისეთი მასალებისგან, როგორცაა პირდაპირი დნობის მანები, დაცემენტებული სპილენძის ნალექი, მტვერი და სხვა საბრუნო მასალები. მაგალითად, ერთი-ორი ქარხნის ტიპურ ამრკელ ღუმელში (ზომები: სიგრძე 37 და სიგანე 8 მ) დღე-ღამეში 900 ტ ცხელი ნაწიწი, 60 ტ ფლუსი და 400 ტ თხევადი კონვერტრული წიდა იტვირთება (სურ. III.3.) და დნობის შედეგად 625 ტ შტენი (სპილენძის 44% შემცველობით) მიიღება. დნობის შედეგად მიღებულ წიდაში სპილენძის შემცველობა 0,3-0,4% შეადგენს.

შტენი, რომელიც პერიოდულად გამოდის ღუმელიდან, ციკლებში ჩადის (სურ. III.3²) და მისი საშუალებით კონვერტრში თხევად მფორმარობაში ჩაიტვირთება გადასაშუშაებლად (სურ. III.3²). წიდა უწყვეტ ნაკადად გადმოედინება ღუმელიდან და სპეციალურ ტიგელებში ჩაედინება. ტიგელები სატვირთო მანქანებით ან რკინიგზით მიმართება წიდას საყრდენში, სადაც იცლება (სურ. III.4, III.4¹). ზოგჯერ რკინის ქარხნებში წიდას გადაშუშებით მაღალი ხარისხის რკინის გუნდები მიიღება, რომლებიც ფოლადის წარმოებაში გამოიყენება.

ღუმელში ჩასატვირთი მასალების და მასში მიღებული პროდუქტების მიახლოებითი ტემპერატურებია: ცხელი ნაწიწი - 600°C, კონვერტრული საბრუნო თხევადი წიდას - 1230°C, ღუმელში მიღებული შტენისა - 1100°C, და წიდას - 1195°C.



1 კაშხა 2 ღუმელიდან წარმოებული
 აარები; 3 საკვამლე მილსიყენ შამაგალი
 აარა; 4 ამწე; 5 ამრეკლ ღუმელში
 სავებული შტეინა; 6 კონვერტული
 წიდა; 7 კონვერტური; 8 ამრეკლი
 ღუმელი; 9 ბოილერა; 10 რეკუპერატორა
 11 წილის გრანულაჟება; 12 საყარი წიდა;
 13 შეტყვრელი ძელი; 14 მასალის
 ნასატორი შტეინა; 15 კარყასა; 16 თილის
 საყრდენი; 17 ღუმელის ქვედა

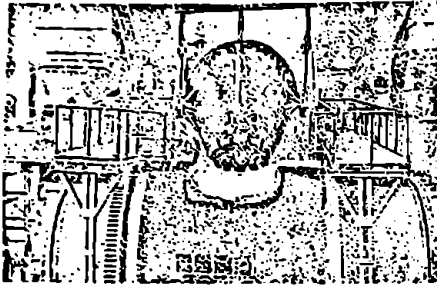
სურ. III.3. სბილენძის შტეინსე დნობის ამრეკლ ღუმელი ა. ხედი გვერდიდან; ბ. ხედი ბოლოდან.

ამრეკლ ღუმელში დნობის (როგორც გამოშწვარი, ასევე ნელლი სბილენძის სულფიდური კონცენტრატების დნობისას) მთავარი პრობლემა რკინის არასასურველი ოქსიდური ნაერთის — მაგნეტიტის (Fe_3O_4) წარმოქმნასა და დაგროვებასთან არის დაკავშირებული. ნაშწვის (გამოშწვარი კონცენტრატის) დნობის მაგნეტიტის ძირითადი რაოდენობა კაშმიდან ხვდება ღუმელში (მაგნეტიტს საკმაო რაოდენობით შეიცავს კონვერტული წიდა, რომელიც აგრეთვე იტვირთება დნობის ღუმელში). ნაშწვიში მაგნეტიტი კონცენტრატის ჟანგებით გამოწვის დროს წარმოიქმნება (რეაქცია III.6.). იმ ოპტიმალურ ტემპერატურაზე, რომელზეც დნობის პროცესი მიმდინარეობს, მაგნეტიტი საკმაოდ მდგრადია. გარდა ამისა, იგი ინერტულია SiO_2 -ის მიმართ, არ უერთდება მას და ამიტომ წილის ფორმირებაში მონაწილეობას არ იღებს (წიდაში არ გადადის). მაგნეტიტი მხოლოდ შეზღუდული რაოდენობით იხსნება წიდაში (3–5%) და სბილენძის შტეინში (10–15%), რაც უარყოფითად



სურ. III.3'. კონვერტული წილის ნასმა ამრეკლ ღუმელში.

სურ. III.3'. შტეინის გამოშწვება ამრეკლ ღუმელიდან.



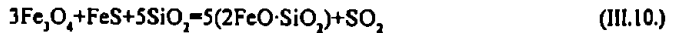
სურ. III.3. შტეინის ჩასხმა კონვერტერში.

შეპირებას გამოიწვევს. ამასთან, ლუმელში წილის დაყოვნების დროც მცირდება და ამიტომ შტეინის წვეთები ბოლომდე ვეღარ ასწრებს წილიდან დაწდომას და მასში რჩება. მაგნეტიტის დაგროვებით წილის და შტეინის გამოსასვლელი ხერხელების ჩაკეტვის საშიშროებაც იქმნება (ხერხელების ჩაკეტვით საერთოდ შეწყდება დნობის პროცესი).

თუ Fe_2O_3 -ის FeO -მდე აღდგენა მოხდა, მაშინ წარმოქმნილი FeO უმაღლეს შეუერთდება SiO_2 -ს და წილაში გადავა. აღდგენა (FeO -მდე) შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ გამოიყენებთ კონცენტრატში (ნაშუქში) საკმაო რაოდენობით დარჩება FeS ან კაზმს დამატება FeS -ით მდლარი ნელი (გამომწევი) კონცენტრატი:

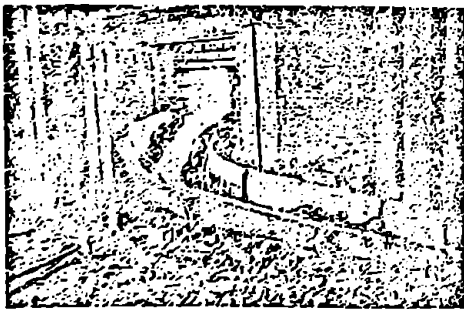


ჯამური რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:



მაგნეტიტის FeO -მდე აღდგენა შესაძლებელია ფეროსილიციუმის დამატებით ან ნაღობში ნელი მორების შეტანით ლუმელის თაღზე განლაგებული მასალის ჩასატვირთი ხერხელებიდან (მჭიდვებიდან). მაგნეტიტის წყაროს კონვერტერული წილაც წარმოადგენს, ამიტომ ბოლო დროს ზოგიერთ ქარხნებში დნობის ამრეკლ ლუმელებში საბრუნო მასალის სახით კონვერტერული წილის ჩატვირთის პრაქტიკა აღარ გამოიყენება. სპილენძის ამოღების მიზნით ლუმელში ჩაშვების მაგივრად კონვერტერული წილა ფლოტაციურ გამდიდრებას ექვემდებარება, ხოლო შემდეგ საციკალურ გადამუშავებას განიცდის.

ამრეკლ ლუმელებში დნობის პროცესი მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებებით ხასიათდება. მისი მარგი ქმედების თბური კოეფიციენტი დაბალია, სათბობის წვის შედეგად გამოყოფილი აირების დიდი რაოდენობა გარემოს გაჭუჭყიანებასთან არის დაკავშირებული. ამრეკლ ლუმელში ზოგჯერ



სურ. III.4. წილის გამოშვება ამრეკლ ლუმელიდან.



სურ. III.4. საყარი წილის დაცლა.

შეუძლებელი ხდება ძნელდნობადი მასალების გადაშენება და ატმოსფეროს შედგენილობის რეგულირება, რაც ართულებს ან შეუძლებელს ხდის ალდენისა და აქროლის პროცესების ჩატარებას და თანამდევრი ზოგიერთი ელემენტის ეფექტურ ამოღებას. ამ მიზეზების გამო აუცილებელი გახდა კაზმის განსურებისა და დნობის ახალი და უფრო ეფექტური მეთოდების გამოანახება. მიწის წიაღში ნახშირბადოვანი სათბობის მარაგების შეზღუდულობის გამო ელექტროენერჯის გამოყენება ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებად იხსება მომავალი მეტალურგიის განვითარების საქმეში.

ელექტროლუმენები თანდათან ცვლის ამრეკლ ლუმენებს სპილენძის მეტალურგიაში (განსაკუთრებით იქ, სადაც შედარებით იაფია ელექტროენერჯია). შტეინზე დნობის ელექტროლუმენი თავისი კონსტრუქციითა და მასში მიმდინარე პროცესით დიდად არ განსხვავდება ამრეკლ ლუმენისგან. ორივე ტიპის ლუმენში ერთი და იგივე მასალა იტვირთება — ცხელი ნაშვნი, გამდნარი კონვერტირული საბრუნო წიდა, ფლუსი და სხვა სახის სპილენძმეცხევილი მასალა. დნობის შედეგად ორივე ლუმენში სულფიდები შტეინს წარმოქმნის, ხოლო რკინის ოქსიდი (FeO), ფლუსი და ფუჭი ქანი წილის ფორმირებაში იღებს მონაწილეობას. ამრეკლ ლუმენისგან ელექტროლუმენი, ძირითადად, სითბოს გამოშენებითა და მისი მიწოდების მანერით განსხვავდება. ელექტროლუმენში ელენის წიდაში გავლის დროს წინაღობით გამოყოფილი სითბო გადაეცემა გასადნობ მასალას.

ელექტროლუმენში, როგორც წესი, გამოიყენება მწკრივში ვერტიკალურად ჩაყენებული თვითცხობადი სოფერბერჯის ტიპის 3—6 ელექტროდი. ელექტროდი ფურცლოვანი ფოლადისგან დამზადებულ ჩარჩოში შეყვანილ ნახშირბადიანი პასტისგან ფორმირდება. ლუმენში ჩაშენებისას მუჯანე პასტა ელდენით გამოშენებული სითბოსა და ლუმენის ცხელი ზონიდან ამომავალი სითბოს ზემოქმედებით ხურდება და წილის ზედაპირს უკვე სრულად შემცხვარი, მონოლითური სექტის სახით ეხება. დნობის პროცესში გაცეითილი ელექტროდის განახლება ლუმენიდან ამოშვებულ მის ზედა ბოლოზე ჩარჩოს ახალი სექციის მიღლებით ხორციელდება. მიღლებული ჩარჩო ისევე პასტით იესება და მისი შეცხობა მორდება. ელექტროდის ხარჯი ერთ ტონა მყარ ჩასატვირთ მასალაზე 2—3 კგ-ს შეადგენს.

ლუმენის თაიდან ჩატვირთული ნაშვნი პირველად გაუმდნარი ფენის სახით ეფინება წილის ნადნობის ზედაპირს (ამ ფენას „ცივი ზედა ფენას“ უწოდებენ). გადნობის შემდეგ ნაშვნი თანდათან ჩადის წიღში, სადაც წილისა და შტეინის ფენებად იყოფა. წილის ნადნობის ზედაპირზე მოტივტივე მყარი ნაწილაკების წიდასთან ერთად ლუმენიდან გასვლის თაიდან აცილების მიზნით, ყველა სახის მყარი მასალა ლუმენის ბოლო შესამდნობი იტვირთება. ლუმენის ეს ნაწილი საგუბარის როლს ასრულებს. ელექტროდების მახლობელ არეებში ნადნობის გადახურების გამო წარმოიქმნება წილის ტურბულენტური ნაქადები, რომლებიც წილის ფენის ზედაპირზე ამოდის და ლუმენის შედარებით ცივი კედლებისკენ მიემართება (5—10 სმ/წმ სიჩქარით). სითბოს ძირითადი ნაწილი წიდაზე მოტივტივე ნაშვსს წილის ამ მოძრაობით გადაეცემა. სითბოს ნაწილი ნაშვსს კონვექციითაც გადაეცემა წილიდან. თუმცა, წილის მოძრაობა ლუმენში ართულებს შტეინის ნაწილაკების ქვეითიკენ ჩასვლას და ლუმენის კედლების ეროზიას ზრდის.

თუ ნაშვსის დნობა გათვალისწინებული ელექტროლუმენში, მაშინ ნაშვნი ცხლად (600°C-მდე გახურებული) იტვირთება. დნობის შედეგად მიიღება შტეინი, რომელიც 40—50% სპილენძს შეიცავს და წიდა, რომელიც 0,3—0,5% სპილენძია. ორივე გამოდის ლუმენიდან. წიდა ციციხის საშუალებით საყარო გადადის. ტიპურ ელექტროლუმენში ელექტროენერჯის ხარჯი ერთ ტონა მყარ მასალაზე 580 კვტ.სთ, ხოლო ერთ ტონა ცხელ ნაშვსზე 400 კვტ.სთ. შეადგენს. ლუმენში დღე-ღამეში 500ტ მასალა დნება. წარმავალი აირების ტემპერატურა 700°C-ის ტოლია, ხოლო აირებში SO₂-ის შემცველობა 5%-მდე აღწევს.

მაგნეტიტის წარმოქმნის პრობლემა ელექტროლუმენში არსებობს, მაგრამ მისი „ქცევა“ ბევრად განსხვავებულია ელექტროლუმენში, ვიდრე ამრეკლ ლუმენში. ელექტროლუმენში ტურბულენტულ მოძრაობაში არა მარტო წიდა იყოფება, არამედ შტეინიც განიცდის ელექტროდინამიკური ძალების ზემოქმედებას. ამ მიზეზების გამო ელექტროლუმენში უფრო დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება მაგნეტიტი, ვიდრე ამრეკლ ლუმენში. მაგნეტიტი პირველად წილისა და შტეინის ფენებს შორის მაღალი სიბლანტის შუალედური ფენის ზონას წარმოქმნის, რომელიც შემდეგ ლუმენის ძირში

ჩადის და იქ მუდმივი ფენის (20–30 სმ სიმაღლის) სახით რჩება. განსაკუთრებით არასასურველია წილისა და შტეინის შორის მაგნეტიტის შუალედური ზონის წარმოქმნა, იგი აფერხებს წილის ფენიდან შტეინის თხევადი ნაწილაკების (წყვეთების) შტეინის ფენაში ჩასვლას.

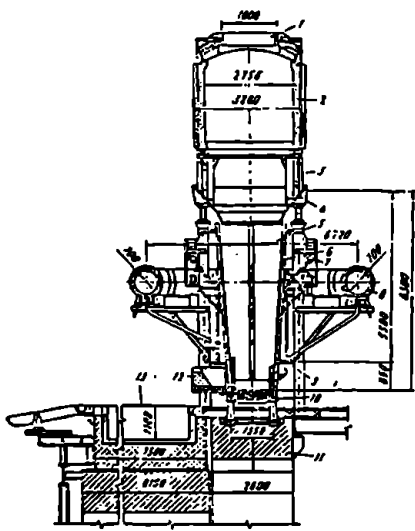
ელექტროლუმბში მაგნეტიტის (Fe_3O_4) შემცირება შესაძლებელია მისი FeO -მდე აღდგენით (FeO -ს ფლუსთან ურთიერთქმედებით წიდა წარმოიქმნება). მაგნეტიტის აღდგენა სხვადასხვა გზით შეიძლება განხორციელდეს: დიდი რაოდენობის ქვანახშირისა და კაემზის (SiO_2) ლუმბში ჩატვირთვით, ძაბვის დაწვეთა და შტეინის ფენის ზედაპირის მახლობელ არეში ელექტროდების ჩაშვებით.

შახტურია ტაბის ღუმელი (სურ. III.5.) ადრე ხელით გადარჩეული (ხელით გამდიდრება) საილენძის მაღალი ხარისხის ნაჭროვანი სულფიდური მადნის პირდაპირი დნობის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენებოდა. მადნის გამდიდრების ტექნოლოგიის დანერგვითა და მისი გამოყენების შედეგად, ფლოტაციური დაქუცმაცებული კონცენტრატების დიდი რაოდენობით წარმოებასთან დაკავშირებით, დამუშავდა და შეიქმნა აძრეკლი ღუმელები და ელქტროლუმბები, რომლებმაც ფართო გამოყენება პიოცეს საილენძის პირობებში დაიწყეს. მიუხედავად ამისა, შახტურ ღუმელს დღესაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა და იგი ფლოტაციური დაქუცმაცებული კონცენტრატებიდან აგლომერაციის მანქანებზე გადაშვების შედეგად მიღებული აგლომერატის ან ბრიკეტების დნობის პროცესში გამოიყენება. შახტური ტიპის ღუმელებით მცირე რაოდენობით ვერ კიდევ სარგებლობენ საილენძის მადნების პირდაპირი დნობისთვის იაპონიასა და აფრიკაში.

შახტურ ღუმელში იტვირთება ნაჭროვანი (3,5–4 სმ) შეცხვარი ნაშვები, მადნის მსხვილი ნაჭრები, ფლუსი, საბრუნო მასალა და ნაჭროვანი (4 სმ) კოქსი. კოქსის შემცველობა მთლიან კაზში 10-დან 35%-მდე იცვლება და მისი რაოდენობა დამოკიდებულია სულფიდების პროცენტულ შემცველობაზე. სულფიდების ეანგვის შედეგად ვგზოთერმული სითბო გამოიყოფა. ნაშვებში გოგირდის მინიმალური (7–9%) შემცველობის დროს კოქსის მაქსიმალური რაოდენობა იხარჯება და მაღალი ხარისხის შტეინი (60%Cu) მიიღება (კონცენტრატის აგლომერაციული გამოწვის დროს გოგირდი დიდი რაოდენობით განიფენება და რკინის უმეტესი ნაწილი ოქსიდის სახით წიდაში გადადის, რის გამოც შტეინში შემაგალი FeS -ის რაოდენობა ძალზე მცირდება).

ტაპური ღუმელის შახტი შედგენილია ცალკეული კესონებისგან, რომლებიც ერთმანეთთან ჭანჭიკებითაა შეკავშირებული. კესონებს შორის დრივები, პერმეტიზაციის მიზნით, ამოვსებულია ასბესტის შუასადებით. ღუმელის შახტის სიმაღლე კესონების სიმაღლეს შეესაბამება. ტორსული კესონები ვერტიკალურად არის ჩაყენებული, ხოლო გვერდული კუთხით ($5-7^\circ$) – ისე, რომ ღუმელის სიგანე მის ყლოან 1,2–1,3 ვერ უფრო მეტია, ვიდრე ქმინების არეში დახრილი კესონები ანულებს კაზმის ჩაშვების სიქარებს და ამცირებს აირების მოძრაობის სიქარეს, რაც კიმიური რეაქციებისა და სითბოს მიმოცვლის პროცესების უფრო სრულად სვლას უწყობს ხელს. კესონსაქება რკინისგან შედუღებულ ფულის წარმოადგენს. კესონების შიგა (საიეცხლე) კედლის სისქე 10–20, ხოლო გარე კედლის – 8–10 მმ შეადგენს. კესონებში ცირკულირებადი წყლის ფენის სისქე 100–120 მმ ტოლია. უწყვეტი გაციების შედეგად საიეცხლე კედლებზე მიკროული ნახვევად შემცხვარი კაზმის ფენა (გარინისაქი) წარმოიქმნება, რომელიც კესონებს ამოჭმისა და დაწვისგან იცავს და აგრეთვე გამოირიცხავს კესონების ლითონური ზედაპირის ხეხვას.

ღუმელის შახტი შედგენილია ცალკეული კესონებისგან, რომლებიც ერთმანეთთან ჭანჭიკებითაა შეკავშირებული. კესონებს შორის დრივები, პერმეტიზაციის მიზნით, ამოვსებულია ასბესტის შუასადებით. ღუმელის შახტის სიმაღლე კესონების სიმაღლეს შეესაბამება. ტორსული კესონები ვერტიკალურად არის ჩაყენებული, ხოლო გვერდული კუთხით ($5-7^\circ$) – ისე, რომ ღუმელის სიგანე მის ყლოან 1,2–1,3 ვერ უფრო მეტია, ვიდრე ქმინების არეში დახრილი კესონები ანულებს კაზმის ჩაშვების სიქარებს და ამცირებს აირების მოძრაობის სიქარეს, რაც კიმიური რეაქციებისა და სითბოს მიმოცვლის პროცესების უფრო სრულად სვლას უწყობს ხელს. კესონსაქება რკინისგან შედუღებულ ფულის წარმოადგენს. კესონების შიგა (საიეცხლე) კედლის სისქე 10–20, ხოლო გარე კედლის – 8–10 მმ შეადგენს. კესონებში ცირკულირებადი წყლის ფენის სისქე 100–120 მმ ტოლია. უწყვეტი გაციების შედეგად საიეცხლე კედლებზე მიკროული ნახვევად შემცხვარი კაზმის ფენა (გარინისაქი) წარმოიქმნება, რომელიც კესონებს ამოჭმისა და დაწვისგან იცავს და აგრეთვე გამოირიცხავს კესონების ლითონური ზედაპირის ხეხვას.



სურ. III.5. შახტური ღუმელი.
 1. ძირის ებასილელი; 2. დუბელის ყელი; 3. ნახტარითი ფანჯრების საედელი; 4. ჩატ-ფლოთის ფილები; 5. ღუმელის შახტი; 6. კესონები; 7. კესონების საიეცხლეი სასტესა; 8. რეილური პერეამტარაი; 9. ქსნები; 10. ღუმელის ძირის ფილა; 11. ნახტარეელი; 12. გამოსაშვები დარა; 13. წინა ქურა.

ქვეით ჩამავალი კაზმით. კესონებიდან გამოძველი წყლის ტემპერატურა 60°C-ს არ უნდა აღემატებოდეს. კესონების ქვედა ნაწილში დაგროვილი ჭუჭყისგან გასასუფთავებლად კესონებს გარე კედლებზე კრიჭები გააჩნია. კესონებში შემავალი წყლის ტემპერატურა, როგორც წესი, 35–45°C შეადგენს, ხოლო გამოძველი წყლის ტემპერატურა 45–55°C ტოლია.

ქმინები ლუმელის ორივე გრძივ კედელშია (კესონებში) ჩაყენებული. ქმინების რაოდენობა და მათი დიამეტრი დამოკიდებულია ლუმელში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობასა და ქმინებში მისი გასვლის სიჩქარეზე. მაგალითად, ლუმელში, სადაც 60000 მ³ მოცულობის ჰაერი 16კასს. წნევით შეიბერება, ჩაყენებულია 30 ქმინი (15 ერთ კედელზე და 15 მეორეზე).

დნობის შედეგად წილა და შტინი მიიღება, რომლებიც უმეტეს მახტური ლუმელებიდან, ერთად გადმოიღინება ცეცხლგამძლე აგურით ამოვსებულ სალექარში, სადაც დაყოვნების შემდეგ ფენებდ იყოფა. განცალკევებული წილის ფენა 0,3–0,5% სპილენძს შეიცავს. იგი ციციხის საშუალებით საყარში გადადის. შტინი, რომელიც 30-დან 60%-მდე სპილენძს შეიცავს, უმაღლეს კონცენტრაციების საამქროში გადადის. კონცენტრული წილის ნაღვლი 4%-მდე სპილენძს შეიცავს და ამიტომ იგი სპილენძის დალექვის მიზნით მახტური ლუმელის სალექარში დაწოდებას ექვემდებარება.

ზოგ მახტურ ლუმელს ჩვეულებრივზე (0,3 მ) უფრო ღრმა ქველი (0,6 მ) გააჩნია და ამ შემთხვევაში წილისა და შტინის განცალკევება შიგ ლუმელში ხორციელდება (სალექარის გარეშე). შტინი ლუმელის ქვედა ნაწილიდან გამოდის, ხოლო წილა ქმინების ზევით განლაგებული ზურვლებიდან გადმოიღინება. კონცენტრული წილა ასეთი ტიპის მახტურ ლუმელში მყარი მასალის სახით იტვირთება კაზმის სხვა კომპონენტებთან ერთად.

ლუმელისაგან აირით გატანილი მტერის დასაჭერად სხვადასხვა ტიპის მტერის კოლექტორები გამოიყენება. მტერის განცალკევება ხშირად ორ ეტაპზე მიმდინარეობს. პირველზე მტერის მსხვილი ფრაქცია ამოიკრიფება, ხოლო მეორეზე მტერის ფხვნილისებრი ფრაქცია ცალკეედება. მტერის საერთო რაოდენობა ლუმელში ჩატვირთული მასალის 3% აღწევს. განცალკევებული მტვერი აგლომერატის დამზადების პროცესში გამოიყენება.

მახტური ტიპის ლუმელებში მაგნეტიტის წარმოქმნა დიდ პრობლემას არ წარმოადგენს. ლუმელში არსებული აღმდგენი ატმოსფერო, თუნდაც ნაწილობრივ, მაგრამ მაინც აღადგენს Fe₂O₃-ს FeO-მდე, რომელიც SiO₂-ს უერთდება და წილაში გადადის (რეაქცია II.14.). მახტური დნობის წილა დიდი რაოდენობით შეიცავს SiO₂-ს (25–30%), რაც გამოწვეულია იმით, რომ იგი კაზმის შემაღვნილობაში შედის, როგორც ფლუსის შემცველი რეაგენტი.

ლუმელიდან გამოძველი წილისა და შტინის გაერთიანებული ნაკადის ტემპერატურა 1325°C-ის ტოლია, ხოლო სალექარიდან გადმოსული შტინისა და წილის ტემპერატურები შესაბამისად 1240 და 1290 °C შეადგენს.

სპილენძის შტინის ხაღვლი სადნობი მახტური ლუმელების სიმაღლე ქველიდან ლუმელის ყველაზე (მახტის 4–5 მ სიმაღლის შემთხვევაში) 6–8 მ ტოლია. პორიზონტალურ ჭრილში ლუმელი სწორკუთხა ფორმისაა. მისი სიგრძე 6–10 (ზოგჯერ 15 მ), ხოლო სიგანე 1,5–2 მ შეადგენს.

11.3. სპილენძის ნედლი (გამოუმწვარი) სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტეინზე

სპილენძის ნედლი (გამოუმწვარი) სულფიდური კონცენტრატების შტეინზე დნობისთვის პრაქტიკაში გამოიყენება ამრეკლი ლუმელი (დნობა ტარდება როგორც ნეიტრალურ, ასევე ჟანგბადით გამოღირებულ ატმოსფეროში), ელექტროლუმელი, მასალის შეტივტებულ მდგომარეობაში დნობის ლუმელი, თანმიმდევრულად განლაგებული სამი სადნობი ლუმელი (მიუცისის პროცესი) და ვანიუკოვის ლუმელი (ვანიუკოვის პროცესი).

როგორც სველი, ასევე მშრალი სპილენძის ნედლი სულფიდური კონცენტრატების შტეინზე დნობა (ნაწილის დნობასთან შედარებით), დნობის სახეობიდან და გამოყენებული სადნობი აგრეგატორად გამოიღინარე, განსხვავებულ მიდგომას საჭიროებს.

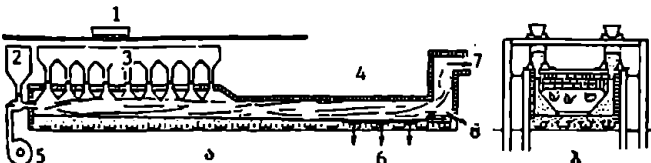
ამრეკლ ლუმელში და ელექტროლუმელში ნედლი სულფიდური კონცენტრატების დნობის დროს მნიშვნელოვნად მცირდება მასალის გადამუშავების საერთო დრო, იზრდება კონცენტრატის ეანვეითი გამოწვის პროცესის ჩატარებასთან (ნავეებობების აგება, დანადგარ-მოწყობილობების შექმნა

და მონტაჟი და სხვა) დაკავშირებული ხარჯები და მკირდება მასალის მიმოქცევის დრო. ავტოგენური დნობის ლუმებში (მასალის შეტეტივებულ მდგომარეობაში დნობა, მოცუბისის პროცესი, ვანოკოვის პროცესი) სალინების ნელი სულფიდური კონცენტრატის (რომელიც დიდი რაოდენობით შეიცავს პირიტს, FeS_2) პროცესის მართვისათვის საჭირო ეგზოთერმული სითბო გამოიყოფა და დნობის პროცესი ავტოგენურ რეჟიმში (სათბობი არ გამოიყენება) წარიმართება.

ავტოგენურობის პრინციპი 100 წელზე მეტია გამოიყენება სულფიდური მადნებისა და კონცენტრატების ვანგით გამოწვასა და შტეინების კონვერტირებაში. უკრ კიდევ მე-19-ე საუკუნის ბოლოს და მე-20-ე საუკუნის დასაწყისში სულფიდური მადნების დნობა შახტურ ლუმებში პრაქტიკულად მილიანად ზორციელდებოდა სულფიდების ვანგის დროს გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე. დნობის ეს სახეობა, რომელიც „პირიტული დნობის“ სახელით არის ცნობილი, ტიპურ ავტოგენურ პროცესს წარმოადგენს.

მადნების გაბიდრების პროცესების ფართო დანერგვამ დასაბამი მისცა უფრო მდიდარი, მაგრამ დაქუცმაცებული სულფიდური ნედლეულის (კონცენტრატების) წარმოებას. ასეთი მასალების გადამამუშავებისათვის თავიდანვე ფართო გამოყენება ჰპოვა ამრეკლმა ლუმებმა და ელემენტოლუმებმა. თუმცა, თანამედროვე მეტალურგიის პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული დნობის ამ სახეობებში სულფიდური კონცენტრატის დნობა მხოლოდ გარედან მიწოდებული ენერჯის წყალობით ზორციელდება. ენერჯის წყაროების შვევე უკმარისობის პირობებში დაუშვებელია სულფიდების წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს კარგვა. ამიტომ თანამედროვე პირობებში ძალზე დეფიციტური სითბოს წყაროების – სათბობისა და ელექტროენერჯის ხარჯის თავიდან აცილებას სულფიდური მადნის ნედლეულის დნობის დროს, უდიდესი სამეურნეო მნიშვნელობა ენიჭება.

სალინების ნელი სულფიდური კონცენტრატების სადნობი ამრეკლი ლუმელი (სურ. III.6) აპარატურული გაფორმებით უმნიშვნელოდ განსხვავდება ნაშწვის დნობის ამრეკლი ლუმელისგან. განსხვავება მხოლოდ მასალების (ნაშწვისა და ნელი კონცენტრატის) დნობის დროს მიმდინარე ქიმიურ გარდაქმნებშია, რაც საწყისი მასალების მინერალური შემადგენლობიდან და მათი ფიზიკური მდგომარეობიდან გამომდინარეობს. ორივე მასალისთვის ამრეკლი ლუმლის არაღი სიერე სათბობის წვის პირობებში თავისუფალი ვანგბადის მინიმალური შემცველობით განიჩრევა. ამიტომ ამრეკლი ლუმლის ატმოსფერო განიხილება, როგორც ნეიტრალურთან ან სუსტ მჟანგავ ატმოსფეროსთან მიახლოებული ატმოსფერო. ასეთ პირობებში ნადნობთან და მყარ კაზმთან ლუმელის ატმოსფერო არ ურთიერთქმედებს.



სურ. III.6. სალინების შტეანზე დნობის ამრეკლი ლუმელის ხედების სქემატური ქროლება.

- ა. ხედი ვერტიკალად.
- 1 კონცენტრატი და ფლუსი; 2 სათბობი; 3 კონცენტრატის ბუნკერები;
- 4. დნობის ზონა; 5. კომპრესორი; 6. შტეანი; 7. ცხელი აირები მიემართება ვერ ბოლოდროში შემდეგ საკვამლე ძილში; 8. წიდა.
- ბ. ხედი ბოლოდან (ღუმელის ჰორიზი დნობის ზონაში).

ნაშწვის დნობისგან განსხვავებით, სალინების ნელი სულფიდური კონცენტრატის ამრეკლი ლუმელში დნობის დროს (ამრეკლი ლუმელის ატმოსფეროში) თავდაპირველად ტენის აორთქლება (კონცენტრატის დნობამდე გახურების პერიოდში) და არამდგრადი ბუნებრივი ქიმიური ნაერთების (მინერალების) თერმული დისოციაცია (დაშლა) მიმდინარეობს.

სალინების კონცენტრატში შემავალი სულფიდების თერმული დისოციაციის ძირითადი რეაქციები წარმოდგენილია განტოლებებით (II.3.), (II.4.) და (II.5.). კაზმში შემავალი კირქვა იშლება რეაქციით:



არამდგრადი სულფიდების დაშლის შედეგად გამოყოფილი გოგორდი ივანება SO_2 -მდე ლუმელის აირად სიერეში არსებული ვანგბადით, რომელიც ძირითადად ლუმელის წყობის ღრიჭებებიდან შეიწოვება.

ამრეკლ ღუმელში ნელლი კონცენტრატის დნობის დროს დესულფურიზაცია არამდგრადი სულფიდების დაშლისა და ფერიტების (ძირითადად მაგნეტიტის) სულფიდებთან (რეაქცია. III.9.) ურთიერთქმედების ხარჯზე ხდება. სპილენძის ნელლი სულფიდური კონცენტრატების ამრეკლ ღუმელში დნობისას დესულფურიზაციის საბოლოო ხარისხი 50–55% შეადგენს, რაც ფანგვით განმასთან შედარებით მცირე სიდიდეს წარმოადგენს. დესულფურიზაციის დაბალი ხარისხიდან გამოდინარე, ამრეკლი ღუმელი ფაქტობრივად კაზმის გადადნობისა და ფუჭი ქანის მცირე ნაწილის წილამ გადაყვანის ფუნქციას ასრულებს. შტინში სპილენძის შემცველობა, კონცენტრატში მის შემცველობასთან შედარებით, უმნიშვნელოდ იზრდება.

დესულფურიზაციის დაბალი ხარისხი და ამასთან სათბობის წვის აირების დიდი მოცულობა განაპირობებს SO₂-ის დაბალ შემცველობას (1,5%-ზე ნაკლები) წარმავალ აირებში, რაც, თავის მხრივ, აირების გაუწებლებასა და გოგირდის სასაქონლო პროდუქციის სახით ამოღებას ართულებს და ძალზე აძვირებს. ნელლი სულფიდური კონცენტრატის ამრეკლ ღუმელში შტინზე დნობის დროს გოგირდის 50% უკვეალოდ იკარგება.

სპილენძის ნელლი (სველი) კონცენტრატის დნობისას ამრეკლი ღუმელის მწარმოებლობა ორჯერ მცირდება, ხოლო სათბობის ხარჯი თითქმის 45%-ით იზრდება, ვიდრე ნამწვის (გამომწვარი კონცენტრატის) დნობის დროს. სამაგიეროდ, ნელლი კონცენტრატის დნობის დროს წიდასთან ერთად უფრო ნაკლები სპილენძი იკარგება (წიდა 0,23% სპილენძს შეიცავს), ვიდრე ნამწვის დნობის დროს (წიდა 0,37–0,40% სპილენძს შეიცავს). ნელლი კონცენტრატების დნობის შედეგად მიღებულ პროდუქტებში მაგნეტიტის რაოდენობა ნაკლებია (წიდაში – 9,0%, ხოლო შტინში – 11,2%), ვიდრე ნამწვის დნობის პროდუქტებში (წიდაში – 11,0%, ხოლო შტინში 17,5%). ნამწვის დნობის პროდუქტებში მაგნეტიტის მომეტებული რაოდენობის მიზეზს წარმოადგენს კონცენტრატის წინასწარი ფანგვითი გამოწვა, რომლის დროსაც წარმოიქმნება მაგნეტიტი და სპილენძის ოქსიდი, რომლებიც ნამწვის დნობისას შტინში და წიდაში გადადის.

განსხვავებული სახის მასალების ჩატვირთვისა და მათი დნობის დროს განვითარებული სხვადასხვა პირობების გამო ძველია ამრეკლ ღუმელში ნამწვისა და ნელლი კონცენტრატების დნობის პროცესების ტექნიკურ-ეკონომიკური მარეგულირების შედარება. მაგრამ თუ დახარჯული მასალების ღირებულების მიხედვით მოხდება შედარება, გამოჩნდება, რომ ნელლი კონცენტრატის დნობის პროცესი რამდენადმე ძვირი ჯდება, ვიდრე ნამწვის დნობის პროცესი, რაც ძირითადად სათბობის გაზრდილი ხარჯიდან გამოდინარეობს. ეს სიძვირე ნაწილობრივ ბათილდება სპილენძის ნაკლები დანაკარგებით წიდაში. ნელლი კონცენტრატების გადამუშავების დროს ნაკლები დამტვერიანებისა და ფანგვითი გამოწვის საამქროს არარსებობის გამო მნიშვნელოვნად უზგოებსდება სამუშაო პირობები. წარმავალ აირებში მტერის რაოდენობა დნობის ორივე ვარიანტში (ნამწვისა და ნელლი კონცენტრატების დნობა) საკმაოდ დიდია და ამიტომ აირი მტერის კოლექტორებში გავლთ ცალკეედება მტერისგან. ვერაუდით, ნელლი კონცენტრატის დნობისას მტერის რაოდენობა ბევრად ნაკლები უნდა იყოს, რაც პრაქტიკულად არ მართლდება. ეს, ნაწილობრივ, აიხსნება გაზრდილი რაოდენობის სათბობის გამოყენებით. აირებით მტერის გატანას დიდად უწყობს ხელს აგრეთვე საცეცხლედან მაღალი სიჩქარით გამომავალი დიდი მოცულობის აირები.

ამრეკლი ღუმელის მწარმოებლობის გაზრდის მიზნით ზოგიერთ წამყვან სპილენძსადნობ ქარხანაში (იაპონია, ჩილე) ნელლი კონცენტრატის დნობისას საცეცხლში ფანგვლით გამდიდრებული ჰაერის ან სუფთა ფანგვადის შემება ხდება. ფანგვადისა და ჰაერის წინასწარ მომზადებული ნარევის შებერვა საცეცხლში, რომელიც ღუმელის ბოლოში, განივ კედელშია ჩაყენებული, თანაბრად ზრდის ალის ტემპერატურას, ხოლო სუფთა ფანგვადის შესაბერი მიწყობილობა შერჩევით ამდიდრებს ფანგვლით ალის ქვედა ნაწილს, საიდანაც დამატებითი სითბო მიეწოდება ქვემოთ მდებარე თხევად აბაზანს და ღუმელში ჩატვირთულ ცივ კონცენტრატს. ზოგჯერ ღუმელის თაღში ჩაყენებული საცეცხლე ქმინებიდან ფანგვადისა და მახუთის ნარევის შურეკვეით წარმოიქმნება დამატებითი სითბო ამრეკლ ღუმელში.

სპილენძის ნელლი სულფიდური კონცენტრატების შტინზე დნობისთვის გამოიყენება აგრეთვე ელექტროღუმელებიც. შტინზე დნობის ყველაზე დიდი ელექტროღუმელი (რომელიც მშრალი ნელლი კონცენტრატის დნობისათვის იყო გათვალისწინებული), პირველად გამოყენებულ იქნა აშშ-ში



სურ. III.7. სპილენძის ნედლი სულფიდური კონცენტრატის შტეინზე დნობის ელექტროლუქელი

(არიზონაში). ლუმელის სიმძლავრე 51 მგ ეატ.სთ. შეადგენდა, ხოლო მწარმოებლობა წელიწადში 150000 ტ სპილენძს (სურ. III.7.). შტეინზე დნობის ელექტროლუმელები, რომლებიც ნედლი კონცენტრატის გადასამუშავებლად არის გამოხული, მრავალ ქვეყანაში გამოიყენება.

1.1.4. სპილენძის ნედლი სულფიდური კონცენტრატების ავტოგენური დნობის პროცესები

სპილენძის, სპილენძ-თუთიის, სპილენძ-ნიკელის და სხვა კონცენტრატებისა და მადნების ავტოგენური დნობის ნებისმიერ სახეობას საფუძვლად უდევს კაზში შემავალი სულფიდების ჟანგვის ეგზოთერმული რეაქცია - პირველ რიგში რკინის სულფიდის ჟანგვის რეაქციები (III.5. - III.7.).

ავტოგენური დნობა თავისი არსით ჟანგვით პროცესს წარმოადგენს. მისი განხორციელების დროს გადასამუშავებელი მასალის რაოდენობისა და ჰაერის (ჟანგბადით გაზდიდრებული ჰაერის ან ჟანგბადის) ბერვის ფარდობის ცვლილებით შესაძლებელია დესულფურიზაციის ხარისხის რეგულირება წინასწარ განსაზღვრულ ნებისმიერ ზღვრებში. ეს გამოსადნობი შტეინების შესადგენლობის ფართო დიაპაზონში ვარიაციების საშუალებას იძლევა (დაუხალასებელი სპილენძის მიღებამდე კი).

ავტოგენური დნობის ლუმელების თბური მუშაობის პირობები (გარდა შახტურ ლუმელებში პირიტული პროცესისა) გამოირჩევა იმით, რომ წარმავალი აირების ტემპერატურა წილების დნობის ტემპერატურას აღემატება და არანაკლებ 1200-1250°C შეადგენს. წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურა სითბოს დიდ დანაკარგებს იწვევს. თუ პირიტული პროცესის დროს შახტურ ლუმელებში ცივი ჰაერის შებერვითაც კი სულფიდების წვის შედეგად გამოყოფილი სითბო დნობის პროცესის წარმართვისთვის პრაქტიკულად საკმარისია, ფლოტაციური კონცენტრატების ავტოგენური დნობის დროს მისი უკმარისობა შეიმჩნევა. პროცესისთვის დამატებითი სითბოს მიწოდება შესაძლებელია როგორც შესაბერი აირების წინასწარი გახურებით, ასევე განსაზღვრული რაოდენობის ნახშირბადოვანი საბოძის წვის შედეგად (ამ შემთხვევაში პროცესი ნახვერად ავტოგენური ხდება). ბერვის გათბობის საჭირო ტემპერატურა, ტექნოლოგიური პირობების მიხედვით, დასაქანგი სულფიდების რაოდენობით განისაზღვრება. სითბოს დაბალანსებისთვის შესაბერი ჰაერი 500-600°C-მდე გახურებას საჭიროებს. ამასთან ბერვის შეთობა შეიძლება და იგი უნდა განხორციელდეს მხოლოდ თვით დნობის დროს წარმოქმნილი წარმავალი აირებით გატანილი სითბოს ხარჯზე. ავტოგენური დნობის პროცესში თბური ბალანსის „შეკვრა“ დამოკიდებულია არამარტო შესაბერი ჰაერში ჟანგბადის შემცველობაზე, არამედ კაზში შემავალი გოგირდის რაოდენობაზე და დესულფურიზაციის ხარისხზეც. როგორც წესი, სრული ავტოგენური დნობა მხოლოდ მაშინ შეიძლება განხორციელდეს, როდესაც შესაბერი ჰაერში ჟანგბადის შემცველობა 50-70%-ის ზღვრებშია. შესაბერი ჰაერში ჟანგბადის შემცველობა ზრდა უარყოფით თერმულ ზეგავლენას ახდენს ლუმელის კონსტრუქციაზე და ზრდის სითბოს დანაკარგებს წარმავალ აირებთან ერთად.

ავტოგენური დნობის დროს სითბოს დანაკლისის აღმოფხვრა შესაძლებელია შესაბერი ჰაერის ეანგბადით გამდიდრებისა (30-40%-ით) და ერთდროულად მისი 250-400°C-მდე გახურების გზითაც.

ყველა სახის ავტოგენური დნობა შუთავსებული პროცესებისგან შედგება. ერთი მეტალურგიული აგრეგატი აერთიანებს გამოწვას, დნობას და ნაწილობრივ ან მთლიან კონვერტირებას. ეს კი კაზმის გოგირდის აირებში რაციონალურად და კონცენტრირებულად გადაყვანის საშუალებას იძლევა. ამასთან შესაბერი აირში შემავალი ჟანგბადის შემცველობაზე დამოკიდებულებით შესაძლებელია მიღებულ იქნეს აირები SO₂-ის სხვადასხვა შემცველობით, პრაქტიკულად, სუფთა გოგირდოვანი ანჰიდრიდიც კი (ჰაერის შეწოვის გათვალისწინების გარეშე).

ავტოგენური პროცესების საფუძველზე შესაძლებელია შეიქმნას ისეთი ტექნოლოგიური სტრუქტურები, რომლებიც ენერგეტიკული დანახარჯების მაქსიმალურ შემცირებას, ნედლეულის გამოყენების მაღალ კომპლექსურობასა და გარემოს დაცვას უზრუნველყოფს.

ფლოტაციური კონცენტრატების გადასამუშავებლად ავტოგენური პროცესები ტექნოლოგიური და აპარატული გაფორმების თვალსაზრისით სხვადასხვანაირად შეიძლება წარმართოს. ტექნოლოგიური თვალსაზრისით ეს პროცესები პირველ რიგში სულფიდების წყის (ყანგვის) პირობებით განსხვავდება. დაქუცმაცებული სულფიდური კონცენტრატების წვა შეიძლება ჩატარდეს, როგორც აირად ფაზაში (მაშხაიაში კონცენტრატის გაფრქვევით), ასევე ნაღობებში.

შეტვიტვივებულ მდგომარეობაში დნობის პროცესი წერილმარცვლოვან (წმინდად დაქუცმაცებულ) კონცენტრატის მასშალაში წვას ითვალსწინებს. მასშალა, ლუმელის გაეარეარებულ სივრცეში საკუთარი საცეცხლებიდან ჰაერის ნაკადით შეფრქვეული კაზმის სულფიდების წყით წარმოიქმნება. გაფრქვეული კაზმი ხურდება და დნება სულფიდების წყის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე. გამდნარი კაზმის წვეთები აპარატის სალექ კამერაში (წილისა და შტინის განცალკევების კამერა) შეკეცილებული გამდნარი წილის ზედაპირზე ეცემა.

ნაღობში ავტოგენური დნობის დროს კი კაზმის მასალა წინასწარ გამდნარ სულფიდ-ოქსიდურ ნაღობში ამა თუ იმ სერხით შეტანის შემდეგ დნება და მხოლოდ გამდნარ მდგომარეობაში მყოფი სულფიდები იყენება ნაღობში შეტერილი ჰაერის (ან ეანგადით გამიღვრებულ ჰაერის) ეანგადით.

საიღობის ფლოტაციური კონცენტრატების ავტოგენური დნობით გადაშუშების იდეა წარმოიქმნა და პირველად გაიხინჯა „ანაკონდის“ ქარხანაში (აშშ). ამჟამად ავტოგენური დნობის პროცესები გამოიყენება მრავალი ქვეყნის მეტალურგიულ ქარხნებში. დღისა ამ პროცესის განვითარების პერსპექტივებიც.

მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ავტოგენური პროცესებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია ოულტოკუმას პროცესი (ფინური დნობა), შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობა ამრკელი ტიპის ლუმელში და კიეცტური პროცესი.

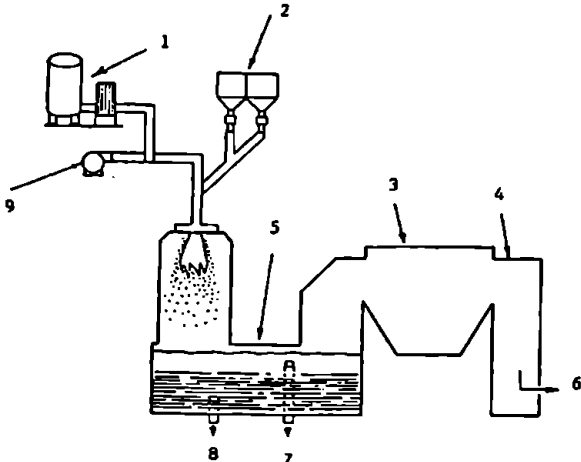
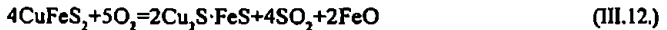
ნაღობში დნობის ავტოგენური პროცესები ერთმანეთისგან განსხვავდება დნობის შედეგად მიღებული საბოლოო პროდუქტებით. ერთ შემთხვევაში ნედლეულის დნობა შტინის მიღებით მთავრდება (მაგალითად მიკუბისისა და ვანუკოვის პროცესები), ხოლო მეორე შემთხვევაში კონვერტირების პროცესი ნედლეულის დნობის პროცესთან არის შეთავსებული (ნორანდისა და იორკრას პროცესები) და დნობის შედეგად დაუხალასებულ საიღებმს იღებენ.

შეტავტავებულ მდგომარეობაში შტინზე დნობის დროს ფუნქციონირება გამოშრალი კონცენტრატი ეანგადის ან წინასწარ შემთბარი ჰაერის ნაკადთან ერთად შეიფრქვევა საკუთარი კონსტრუქციის ლუმელში, რომელიც მასალის წვისა და დნობის ზონისა და ნაღობის განცალკევების კამერისგან შედგება. ეანგადის მეანგავი ატმოსფეროს ან გახურებული ჰაერის ნაკადთან ერთად წვის (დნობის) ზონაში შეფრქვეული კონცენტრატი სულფიდური მინერალების წვის (ყანგვის) შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნება და გამდნარი წვეთების ხახით ვარდება ლუმელის ქველზე, სადაც ნაღობი წილისა და შტინის ფენებზე იყოფა.

პრაქტიკაში მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის დროს ძირითადად ორი სხვადასხვა კონსტრუქციის ლუმელი გამოიყენება. ერთ ლუმელს მაღალი, სარეაქციო კამერა და გრძელი დაბლქვედიანი სალექარი განწია, მეორე კი ამრკელი ლუმელის ტიპისაა. მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ აირების გასასვლელი ლუმელის ცენტრშია ანლაგებული.

პირველი ტიპის ლუმელი (სურ. III.8.) პირველად ფინეთში (ოულტოკუმას კომ.) ამოქმედდა და ამჟამად მას სხვა ქვეყნებშიც იყენებენ. ამ ტიპის თანამდროვე ლუმელი, რომელიც იაპონიის ერთ-ერთ მეტალურგიულ ქარხანაში (ტუნანი) გამოიყენება, დღე-ღამეში 500 ტონამდე გამოშრალ კონცენტრატს (5 მმ მარცელის ზომებით) ადნობს. ცხელი, გამოშრალი კონცენტრატი შეიფრქვევა სარეაქციო შახტის ზედა ნაწილიდან წინასწარ გახურებულ ჰაერთან ერთად. სარეაქციო შახტის დამატური 3,3, ხოლო სიმაღლე 11 მ შეადგენს. ჰაერის გახურება მახუთით მომუშავე საცეცხლსა და ლუმელიდან გამომავალი ცხელი აირების საშუალებით ხორციელდება. ლუმელში შემავალი ჰაერის ტემპერატურა 420°C შეადგენს. თუ ჰაერი ეანგადით 38%-მდე გამიღვრებული, მაშინ ჰაერის გახურება მხოლოდ 200°C-მდე ხდება.

სარეაქციო მასტში შეფრქვეული კონცენტრატის შემადგენლობაში შემავალი გოგირდის წყის შედეგად გამოყოფილი ფხვნილი სითბო აღნობს ფხვნილისებრ კონცენტრატს, რომელიც სარეაქციო მასტის ქვედა ბოლოში ჩასვლამდე თხვევად ნაწილაკებად გარდაიქმნება:



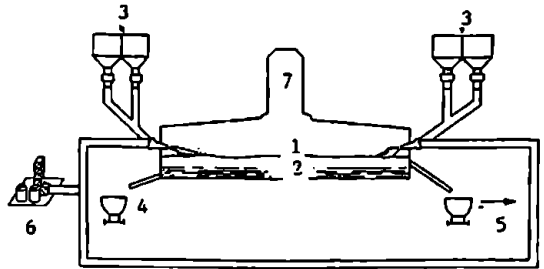
სურ. III.8. მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ღუმელი (ოუტოკუმპა).
 1. ჟანგბადის სააქრო; 2. კონცენტრატი და ფლუსი; 3. ბოილერი; 4. სითბოს მიმოსვლელი; 5. დაწვრეტის ზონა; 6. აირი; 7. წიდა; 8. შტინის; 9. კომპრესორი.

ავტოგენური დნობის პროცესში მაგნეტიტის პრობლემა მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს, რის გამოც სპილენძი დიდი რაოდენობით გადადის წიდაში. ამ პროცესში მიღებული წიდა 15% მაგნეტიტს შეიცავს.

ღუმელიდან აირების გასვლა ხდება აპტიკიდან (სიგანე - 1,521, სიმაღლე - 1,52 მ), რომელიც სალექარის მეორე ბოლოშია (სარეაქციო მასტის მოპირდაპირე ბოლოში) განლაგებული. წარმავალი აირების ტემპერატურა 1290°C შეადგენს. დიდი რაოდენობის სითბოს მატარებელი აირები ჯერ ბოილერში შედის, სადაც ორთქლის ტურბინა მოჰყავს მოძრაობაში, ხოლო შემდეგ რეკუპერატორში გავლით სარეაქციო მასტში შესაბერ ჰაერს წინასწარ ახურებს. ღუმელში შეფრქვეული მასალის რაოდენობის დაახლოებით 9% მტერის სახით მიიყვება წარმავალ აირებს. მტერის კოლექტორებში განცალკევებული მტერი სარეაქციო მასტში შეფრქვევამდე შრება. სალექარში განცალკევებული შტინისა და წიდის ტემპერატურები, შესაბამისად 1160°C და 1260 °C შეადგენს.

შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ამრეკლი ტიპის ღუმელი (სურ. III.9.), რომელშიც დახლოებით 1500ტ მასალა დნება დღე-ღამეში, აღჭურვილია მასალის პირიზონტალურად შესაფრქვეო მოწყობილობებით, რომლებიც ღუმელის ორივე ბოლოშია ჩაყენებული. მანგავი აირის სახით ჟანგბადი გამოიყვება. ღუმელის ერთი ბოლოდან ფხვნილისებრი მშრალი კონცენტრატი შეიფრქვევა ჟანგბადის ნაკადთან ერთად. კონცენტრატი შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნება და წვეთების სახით ეცემა ღუმელის ქვეზე, სადაც შტინისა და წიდის ფენების განცალკევება ხდება. წიდის გალარიბების მიზნით ღუმელის მეორე ბოლოდან ჟანგბადის ნაკადთან ერთად პიროტინისა (FeS) და კაჟმიწის (SiO₂) ნარევი შეიფრქვევა (ნარევიც შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნება). რკინის სულფიდის წვეთების წვიმა ესხურება წიდის ნადნობის ფენას და მასში გველის დროს შტინის ნაწილაკები შტინის ქვედა ფენაში ჩააქვს. რკინის სულფიდი ურთიერთქმედებს აგრეთვე სპილენძის ოქსიდთან

(მისი წარმოქმნის შემთხვევაში) და ამ რეაქციის (II.16.) შედეგად წარმოქმნილი სპილენძის სულფიდი შტეინში გადადის, ხოლო რკინის ოქსიდი წიდას უერთდება. შტეიტეტივებულ მდგომარეობაში დნობის განხილული ორივე პროცესიდან გამოყოფილი აირები ძალზე მდიდარია SO_2 -ით და გოგირდმჟავას წარმოებაში მათი გამოყენება ეკონომიკურად მომგებიანია.



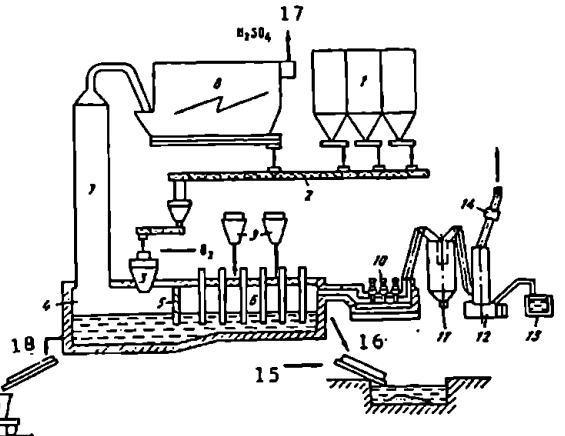
სურ. III.9. მასალის შტეიტეტივებულ მდგომარეობაში დნობის ამრეკლი ტიპის ღუმელი.

1. წიდა; 2. შტეინი; 3. კონცენტრატი და ფლუსი; 4. შტეინი; 5. წიდა; 6. აენგბადის სააქმრო; 7. აირის გასასვლელი.

შტეიტეტივებულ მდგომარეობაში დნობის გაუმჯობესებელი სახესხვაობა, რომელიც შემოკლებით კივცეტური პროცესის სახელით არის ცნობილი, რუსეთში დამუშავდა. კივცეტური პროცესი (რუსულად, КИВЦЕТ – процесс – кислородно-взвешенной циклонно-электротермической плавки), რომელიც თავისი ტექნოლოგიური სტრუქტურითა და აპარატურული გაფორმებით რთულ პირმოქმედებულ პროცესს წარმოადგენს, სპილენძის, სპილენძ-თუთიისა და სხვა კოალექტური სულფიდური კონცენტრატების (კონცენტრატი, რომელშიც თითქმის თანაბარი რაოდენობით შედის 2 ან 3 სხვადასხვა ფერადი ლითონი) გადასამუშავებლად გამოიყენება.

პროცესი შტეიტეტივებულ მდგომარეობაში დნობისა და ციკლონური დნობის შეთავსების პრინციპებსა და ტექნოლოგიური ყანგბადისა და ელექტროენერჯის რაციონალურ გამოყენებას ეფუძნება. გამოწევისა და დნობის, დნობის პროდუქტების განცალკევების, წილების გაღარიბებისა და საჭიროების შემთხვევაში თუთიის ორთქლის კონდენსაციის პროცესები ერთ გაერთიანებულ აგრეგატში ხორციელდება (სურ. III.10.)

საგულდაგულოდ გამოშროალი (ტენი 2%-ს არ აღემატება) ფხვიერი (მარცვლების ზომა 1 მმ-ს არ აღემატება) კონცენტრატი აგრეგატის სადნობი ციკლონის საცეცხლეში ზემოდან იტვირთება. ერთდროულად ციკლონში დიდი სიჩქარით ტანგენციალურად მიმართული ყანგბადის ნაკადი შედის. დიდი სიჩქარის გამო, აირები სწრაფ ბრუნვით მოძრაობას იძენს ციკლონში, რის გამოც კაზმის ნაწილაკები კამერის კედლებს ეხლება. სუფთა ყანგბადის ნაკადში სულფიდების წვის შედეგად მაღალი ტემპერატურა ვითარდება და კაზმი დნება. გამდნარი კაზმი ციკლონის შიგა კედლებზე წარმოქმნის ნადნობის თხელ მბრუნავ ფენას, რომელშიც ძირითადი პროცესები ვითარდება, გადახურებული ნადნობი ციკლონიდან აგრეგატის საღებარეში ჩადინდება, სადაც შტეინი და წიდა ერთმანეთისგან ცალკეუდება.



სურ. III. 10. კივცეტური აგრეგატის სქემა.

1 საკაშე ბუნკერი; 2 შიკა; 3. სადნობი ციკლონ; 4. განცალკევების კამერა; 5. ტისარი; 6. წილის გაღარიბების კამერა; 7. საცეცხლის დგარი; 8. ელექტროსტატური საღებო; 9. კოქსის ბუნკერი; 10. თუთიის კონდენსატორი; 11. შტეინის საწილში კამერა; 12. სარეცხელი; 13. თუთიის ორთქლის წვის კამერა; 14. ტომარა ფილტრის; 15. წყალის; 16. წიდა; 17. აირები გოგირდმჟავას საწარმოებლად; 18. შტეინი.

სუფთა ენაგზადში მიმდინარე ენაგვის რეაქციის მაღალი სიჩქარე ენაგზადის სრულ გამოყენებას უზრუნველყოფს და ამიტომ წარმატებულ არეგებში SO_2 -ის შემცველობა მაღალია (75–80%).

ციკლონური საცეცხლების გამოყენება არების დამტერიანებას მკვეთრად ამცირებს და ამით შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ერთ-ერთი ნაჯლის აღმოფხვრის საშუალებას იძლევა.

კოვკეტური აგრეგატის ელექტროთერმული ნაწილი (ლუმენი) სწორკუთხა ფორმისაა, მისი თაღი და ზედა კედლები თიხაშიწა აგურისგან არის აგებული, ხოლო ქვედი ქრომ-მაგნეზიტით არის ამოვებული. სპილენძის კოსონებისგან (კოლოფი, რომელშიც შიგნიდან წყლის ნაკადი გადის) აგებული ტიხარი, რომელიც თაღიდან ეშვება აბაზანაში, წიდაში ჩაუღული და ლუმელს ორ სექციად (კამერებად) ჰყოფს. დნობის (სურ. III.10.4) სექციაში, რომელიც განცალკევების კამერის სახელით არის ცნობილი (მისი სიგრძე დაახლოებით 8–9 მ შეადგენს), ჩამუშავებულია სადნობი ციკლონი (შიგა, ყველაზე დიდი დამატებით 1,5 მ ტოლია, ხოლო შიგა სიმაღლე 2 მ შეადგენს). განცალკევების კამერაში დაგროვილი წიდა გადადის ლუმელის მეორე, უფრო გრძელ (11,5 მ) კამერაში, რომელიც წილის გადარიბებისა და ადვილად აქროლადი კომპონენტების აქროლისთვის არის გათვალისწინებული. წილის დამუშავება აღმდგენ ატმოსფეროში ხორციელდება. აღმდგენი ატმოსფეროს შენარჩუნებისა და აქროლადი ლითონების ორბიტის დაჯანგვის თავიდან ასაცილებლად გადარიბების კამერა საგულდაგულოდაა პერმეტიზებული. სწორედ ამ მიზნითაა გადარიბების კამერა ტიხრით გამოყოფილი. ელექტროდების შესაყვანი ადგილები საცობებით მჭიდროვდება, ხოლო წილის ნადნობში აღმდგენის შესაყვანად სპეციალური ჩასატვირთი მოწყობილობები გამოიყენება. აღდგენის პროცესის ჩასატარებლად ლუმელის ელექტროთერმულ ნაწილში მყარი აღმდგენი იტვირთება. ამ ნაწილში მაგნეტიტის დაწვლა, თუთიის ელემენტურ მდგომარეობაში აღდგენა და მისი აორთქლება, ტყეის, კადმიუმისა და გერმანიუმის ნაერთებისა და სხვა იშვიათი და განუვლი ელემენტების აქროლა ხორციელდება. ტიხრით ჩაკეტილი დნობის განცალკევების სექციიდან (კამერიდან) გახურებული (1250–1350°C-მდე) აირების ნაკადი ლუმელის სხვა ნაწილში არ ვრცელდება და ლუმელის ბოლოში განლაგებული ვერტიკალური საკვამლე მილის საშუალებით გადის ლუმელიდან. ლუმელიდან წარმავალი აირები სითბოს აჩინების მიზნით შედის ვერტიკალურ შახტში, რომელიც წელით ცივდება. შახტიდან გამოვლილი აირი, რომლის ტემპერატურა 500–600°C-მდეა დაწვეული, ელექტროსტატიკურ საღებში შედის, სადაც მტერისგან ცალკევდება. საღებში დაჭერილი მტერი ლუმელში ბრუნდება, ხოლო გასუფთავებული აირი, რომელიც 80–85% SO_2 შეიცავს, თხევადი SO_2 -ის ან ელემენტური გოგირდის მიღების მიზნით გადაამუშავდება.

ლუმელის თაღში ჩამატებული ელექტროდები გადარიბების (დაწვრტის) კამერის აბაზანაში ჩამუშავებული (სურ. III.10.). ელექტროწინალობით პირდაპირი გახურების შედეგად წარმოიქმნება კონვექცია, რომელსაც აბაზანის ნადნობი მუდმივ მოძრაობაში მოჰყავს.

განცალკევების კამერიდან ნადნობი უწყვეტად მიედინება გადარიბების კამერისკენ, სადაც მისი გაზავება ხდება ბოლომდე გადარიბებული (აღდგენილი) წილით. შტეინი, რომელიც ლუმელის მთელ ძირზეა გაშლილი, პერიოდულად გადმოდის ლუმელის განცალკევების კამერის ბოლოდან, ხოლო წიდა ლუმელის მოპირდაპირე მხრიდან, გადარიბების კამერის ბოლოდან გამოედინება.

დნობის პროცესის ჩატარება ავტოგენურ რეჟიმში მაშინ არის შესაძლებელი, თუ სპილენძის კონცენტრატში სულფიდური გოგირდის რაოდენობა 25% აღწევს. თუ კონცენტრატში გოგირდის შემცველობა უფრო დაბალია, მაშინ აუცილებელი ხდება სათიბის დამატება. ლუმელის ტემპერატურა მერყეობს 1350–1450°C ზღერებში. მდლადარი კონცენტრატების (სპილენძის შემცველობა 25%-ზე მეტია) გადაამუშავების შემთხვევაში, სპილენძის შემცველობა შტეინში 50% აღწევს, ხოლო სპილენძის გამოსავლიანობა 99% აჭარბებს. ღარიბი კონცენტრატების (Cu-8,5%) გადაამუშავების დროს მიღებულ შტეინში სპილენძის შემცველობა 35%-მდეა, ხოლო მისი გამოსავლიანობა 96,5% შეადგენს. წიდაში სპილენძის შემცველობა საკმაოდ დაბალია (0,35%) და უცვლელი რჩება მიუხედავად იმისა, თუ რა სახის კონცენტრატი (მდლადარი თუ ღარიბი) გამოიყენება.

სპილენძის კონცენტრატების ნადნობში დნობის უწყვეტი პროცესი, რომელიც იაპონური ფირმის („მიტუბისი მეტალ კორპორეიშენ“) მიერ დამუშავდა და მიტუბისის პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი, დაუხალასებელი სპილენძის მიღებას ითვალისწინებს.

პირველად ეს პროცესი იაპონიაში დაინერგა (18000 ტ სპილენძის წარმოება წელიწადში), შემდეგ კი უფრო დიდი სიმძლავრის (130000 ტ სპილენძი წელიწადში) ქარხანა კანადაში აიგო.

პროცესი მაღალი მწარმოებლობით ხასიათდება. ღუმელის მოცულობის მოცემულ ერთეულზე ამ პროცესში ნაკერ უფრო მეტი მასალა დნება, ვიდრე ამრეკლ ღუმელში და 4-ჯერ უფრო მეტი, ვიდრე მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის პროცესებში.

ამ პროცესის თავისებურება ისაა, რომ დნობის, წილის გაღარიბებისა და კონვერტირების ოპერაციები ცალკეულ ღუმელებში ხორციელდება (სურ. III.11.)

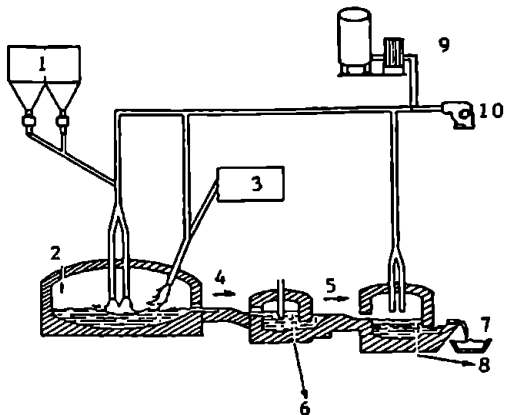
დაუხალასებელი სპილენძის მიღების უწყვეტი პროცესი სამი ეტაპისაგან შედგება და იგი ერთმანეთთან მიერთულ სამ ღუმელში ტარდება: პირველ ეტაპზე ყველაზე დიდ ღუმელში (სადნობ ღუმელში) შტეინზე დნობა მიმდინარეობს. სადნობ ღუმელში მასალის ჩატივრთვა ღუმელის თაღზე ჩაყენებული, ვერტიკალური ქმინების საშუალებით ხორციელდება (ქმინები ნადნობის ზედაირამდვა ჩაშებული). მასალის სახით ღუმელში ნული კონცენტრატი, ფლუსი, 25%-მდე ჟანგბადით გამდიდრებული ჰაერი და საბრუნი წიდა შულის. დნობა მიცუბისის პროცესში შეიძლება განხორციელდეს როგორც ავტოგენურ, ასევე - ნახევრად ავტოგენურ რეჟიმში. სრული ავტოგენური დნობა მიმდინარეობს მაშინ, როცა ჰაერი 45%-მდეა გამდიდრებული ჟანგბადით. ქმინებიდან ჩატივრთვა ზრდის სადნობი ღუმელის მწარმოებლობას, ამარტივებს ღუმელის კონსტრუქციას და ღუმელის მომსახურებასა და მასალის ჩატივრთვას აადვილებს.

დნობის ღუმელში წარმოქმნილი შტეინისა და წილის ნადნობი თვითღინებით გადაღის რიგით მეორე ღუმელში, რომელიც ელექტრობით ზურდება. ელექტროღუმელი მოქმედებს, როგორც სალექი და ერთდროულად წილის გაღარიბებასა და ნადნობის შტეინისა და წილის ფენებდ დაყოფას უზრუნველყოფს. შტეინის ნაწილაკების წილის ფენიდან შტეინის ფენაში დაწრეტის გაადვილების მიზნით, ელექტროღუმელის წიდას პირიტი და კოქსი ემატება. წიდა, რომელიც 0,4-0,5% სპილენძს შეიცავს, უწყვეტად გადმოიდინება ელექტროღუმელიდან და განაულირების შემდეგ გადაიყრება, ხოლო შტეინი, რომელიც 60%-მდე სპილენძს შეიცავს, რიგით მესამე ღუმელში გადაღის, სადაც კონვერტირების პროცესი მიმდინარეობს. სპილენძის შუდარებით დაბალი შემცველობა საყარ წიდაში დნობის ღუმელში წილის თხელი ფენის წარმოქმნით აიხსნება.

კონვერტირების ღუმელი რიგით ბოლო (მესამე) ღუმელია და ისიც აღჭურვილია ქმინებით, რომლებიც თაღში ჩაყენებული. ქმინების საშუალებით ღუმელში ფლუსის სახით CaO და ჰაერი შეაქვთ. ჰაერი 22-25%-მდე ჟანგბადით არის გამდიდრებული, რაც საგრძნობლად ზრდის შტეინის დაუხალასებელ სპილენძში გარდაქმნის სიჩქარეს. ღუმელში წარმოქმნილი კონვერტირული წიდა 7-დან 15%-მდე სპილენძს შეიცავს და ამიტომ იგი გადასამუშაველად სადნობ ღუმელში ბრუნდება. სადნობ ღუმელში დაბრუნებამდე წიდა ცივდება და იმსხვრევა. მიცუბისის პროცესში მიღებული კონვერტირული წიდა განსხვავდება სპილენძის დნობის დროს წარმოქმნილი ტრადიციული SiO_2 - Fe_2O_3 წილის სისტემისგან - SiO_2 -ის მაგივრად ფლუსის სახით CaO-ს დამატება CaO - FeO - F_2O_3 სისტემის წიდას წარმოქმნის. კონვერტირების ღუმელიდან დაუხალასებელი სპილენძის ნადნობი უწყვეტ ნაკადად მოედინება და მასში სპილენძის შემცველობა 98-99% შეადგენს.

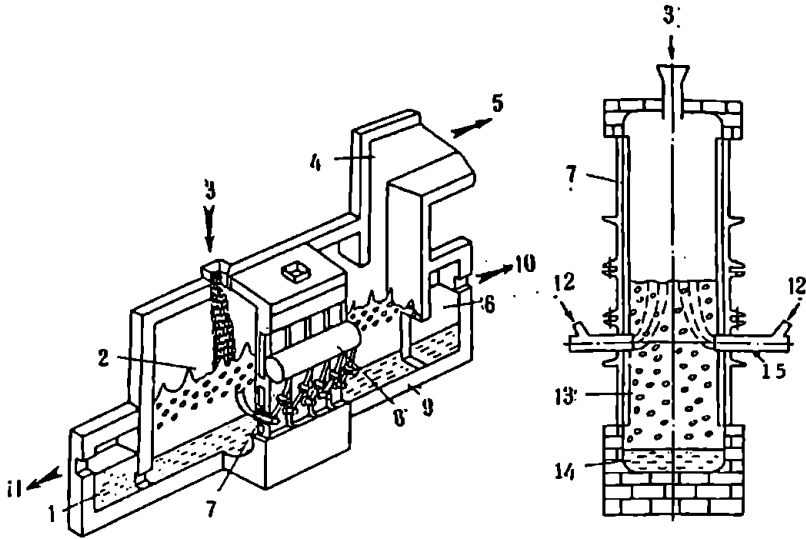
მიცუბისის პროცესი მთლიანად ავტომატიზებულია და კომპიუტერული სისტემით იმართება.

სპილენძის კონცენტრატების ნადნობში დნობის ავტოგენური პროცესი, რომელიც რუსეთში დამუშავდა, ვანიუკოვის პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი. ვანიუკოვის ღუმელში (სურ. III.12.)



სურ. III.11. სპილენძის შტეინზე დნობის და კონვერტირების ავრეკატის (მიცუბისის პროცესი) სქემა.

1. კონცენტრატი და ფლუსი; 2. საბრუნი წიდა; 3. საითობი; 4. წიდა და შტეინი; 5. შტეინი; 6. წიდა განაულირებაზე; 7. სპილენძი & საბრუნი წიდა; 8. ფენებდის სააქრო; 9. კომპრესორი.



სურ. III.12. ვანიუკოვის ღუმელი.

1 შტეინის სოფინა; 2 სადნობი კაშხრა; 3 კაშხი; 4 აირის გასასვლელი; 5 აირები; 6 წიღის სოფინა; 7 სპილენძის ჩამოსხმული კვლისხა; 8 ჰაერ-ჟანგბადის კოლექტორი; 9 ცეცხლგამსლე ავერის წილა; 10 წილა; 11 შტეინი; 12 უანკბადით გამაღსრებული პაერა; 13 წიღის ნადნობი; 14 შტეინის ნადნობი; 15 ქშიანი.

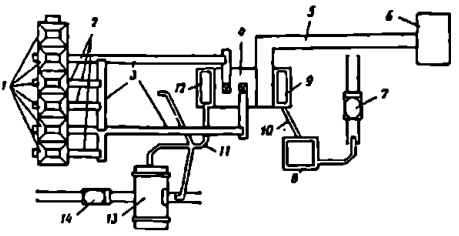
მიმდინარე პროცესის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ღუმელის კედელში ჩამაგრებული ქმინებიდან ნადნობში წნეეტი (0,1 კას.) შეიბრება ჟანგბადშემცველი აირი. ქმინების განლაგების ღერძი 0,3-0,7 მით უურო დაბლა გაღის მშვიდ მდგომარეობაში (ქაუჭაფის გარეშე) მყოფი ნადნობის ზედაპირის ღონიდან. მშვიდ მდგომარეობაში მყოფი ნადნობის სიმაღლე ღუმელში 2-2,5 მ შეადგენს. ჟანგბადშემცველი აირის შებრებით ნადნობის აქტიური არევა იწყება და მისი ზედა ნაწილი ქაუჭაფს იწყებს, რის შედეგადაც აირით გაჯერებული პეტეროგენული ნადნობის ფენა წარმოიქმნება. ეს ფენა, რომელიც ძირითადად წიღისგან შედგება, 10%-მდე სულფიდურ ჩანართებს (შტეინის წვეთებს) შეიცავს. აირით გაჯერებული მოქაუჭაფე ფენის სიმაღლე 2-3-ჯერ მეტია მშვიდ მდგომარეობაში მყოფი ნადნობის ფენის სიმაღლეზე (ნადნობის მშვიდი ფენის სიმაღლე ქმინების ღერძის ღონიდან ითვლება). ჟანგბადშემცველი აირი პირველ რიგში რკინის სულფიდთან, გოგირდთან და ნახშირბადთან ურთიერთქმედებს. ურთიერთქმედების შედეგად გამოყოფილი სითბო, ჩატვირთული კაშხის დნობასა და ტექნოლოგიური პროცესის ზონაში, ნადნობის ფენის თანაბარ გაზურებას უზრუნველყოფს.

ნადნობის ინტენსიური არევის შედეგად ღუმელში ჩატვირთული ნედლეულის ნაწილაკებისგან წარმოქმნილი სულფიდური ფაზის წვეთები ერთმანეთთან შეეჯახები ერთიანდება და ღიღდება ჰიდროლიზამიკურად მდგრად ზომებამდე (0,5-5 მმ). გაღიღებული სულფიდური წარმონაქმნები ნადნობის ზედა მოქაუჭაფე (ბარბოტირებული) ფენიდან ცვიდება და სწრაფად ეშვება ღუმელის ფსკერზე წარმოქმნილ ნადნობის ფაზაში (ფენაში).

კაში, რომელიც სპილენძის ფლოტაციური კონცენტრატისა და ფლუსისაგან შედგება (საჭიროების შემთხვევაში ქვანახშირი იტვირთება ღუმელში), მოქაუჭაფე ნადნობის ფენაში ღუმელის თალიდან იტვირთება და აქტიური არევის შედეგად თანაბრად ნაწილდება მოქაუჭაფე ფენის მთელ მოცულობაში.

კაშიში შემაველი გამდნარი სულფიდები, რომლებიც მაღალი აქტიურობით გამოირჩევა, ინტენსიურად ურთიერთმოქმედებს წიდასთან და ნადნობში შებერილ ჟანგბადთან, რაც ნადნობში მაგნეტის (Fe₂O₃) დაბალი შემცველობის შენარჩუნებას უწყობს ხელს. ნადნობის აქტიური არევის პირობებში

კაჟმიწა (SiO₂) და კაჟმის სხვა ძველდნობადი კომპონენტი სწრაფად დნება. კაჟმის სწრაფი დნობით წილის შემადგენლობა ოპტიმალურ ზღვრებს აღარ სცილდება, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ფერადი ლითონების კარგავს ნედლეულის დნობის დროს. მოქაუვაჟე ნაღობში წარმოქმნილი აირის ბუშტები ზელს უწყობს აქროლადი კომპონენტების სწრაფ და სრულ აქროლას. წილის გადასაშვები არხი განლაგებულია ქვინების ღერძის დონის ქვევით (ქვინების ღერძიდან 1 მ-ის დაშორებით), რაც წარმოქმნილი წილის ზევიდან ქვევითკენ თანდათანობით ჩასვლას (ბოლომდე ჩასვლას 1,5–3 სთ უნდება) უზრუნველყოფს. ამასთან, წილა ზედა მოქაუვაჟე ფენიდან ჩამოძვავილი შტეინის მსხვილი წვეთების წვიმით შეუწერებელი ირცხება. ქვინების ქვევით მოძრავი წილის ნაკადი აღარ ირევა. მშვიდ მდგომარეობაში



სურ. III.13. ვანიუკოვის დნობის პროცესის აპარატურული სქემა.

1 საკაშბე ბუჩქერება; 2 მკევაბევა; 3 ტრანსპორტიორება; 4 ვანიუკოვის ღუმელი; 5 აარამტარაი შტერის კაჟმით; 6 საგროვებელი ალიბე; 7 წილის გადასაშვები; 8 წილის საგროვებელი; 9 წილის სოფონი; 10 წილის დარი; 11 შტეინის დარი; 12 შტეინის სოფონი; 13 შტეინის საგროვებელი; 14 შტეინის ურკა.

მოძრავი წილის ზონაში ტემპერატურის, შემადგენლობისა და სხვა პარამეტრების შესაბამისი გრადიენტების შექმნით წილის გაღარიბების ზელსაყრელი პირობები იქმნება. წილის მოძრაობის ასეთი ორგანიზაცია გამოირიცხავს ეფრადი ლითონებით მდიდარი წილის გამოსვლას ღუმელიდან. ნაღობში ჩამავალი სულფიდური წვეთებისგან წარმოქმნილი ფაზა (შტეინი), რომელიც ღუმელის ფსკერზე გროვდება, წილისგან განცალკევებულად გამოედინება.

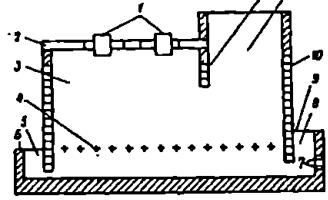
ვანიუკოვის ღუმელი სწორკუთხა შახტისგან შედგება. მისი სიგანე 2,0–2,5, სიგრძე 10,0 და სიმაღლე 6,0 მ შეადგენს. ღუმელის გრძივ კედლებში, 1,60–2,5 მ სიმაღლეზე ჩაყენებულია ფანგბადშემცველი აირის შესაბერი ქვინები (საჭიროების შემთხვევაში ქვინებიდან სათბობის სახით ბუნებრივი აირის, მაშუთის ან ფუნგილისებრი ქვანახშირის შებრევაკ ზდება).

ნაღობის საიმელო დაკვისათვის შახტის გვერდითი და ტორსული კედლები წყლით საცივებელი სპილენძის მასიური კესონებისგან არის აგებული. კესონური კედლები კრეკლდება ქვინების ღერძის დონიდან ქვევით 1 მ-ის მანძილზე და ქვინების ღერძის დონის ზევით 3,5 მ-ის სიმაღლეზე. ღუმელის კესონისებული სარტყლის ქვევით განლაგებული ქურა ცეცხლგაბმელ აგურისგან არის აგებული. ქურის ტორსის კედლებში განლაგებულია წილისა და შტეინის გადასაშვები არხები. გადასაშვებ არხებთან პერამეტრულად მიერთებულია მოცულობები – ე.წ. წილისა და შტეინის სოფონები, რომლებიც ღუმელის შიდა სიერცესთან ერთიანდება.

ვანიუკოვის ავტოგენური დნობის ტექნოლოგიური პროცესი ათვისებულია ნორილსკის სამთო-მეტალურგიულ კომბინატში (რუსეთი), შუა ურალის სპილენძ-სადნობ ქარხანაში (რუსეთი) და ბალხაშის სამთო-მეტალურგიულ კომბინატში (ყაზახეთი).

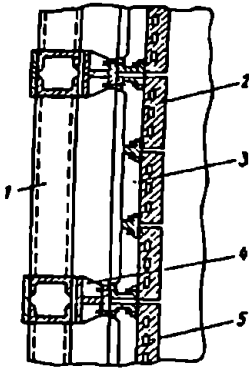
ნორილსკის სამთო-მეტალურგიულ ქარხანაში სპილენძის ნედლეულის დნობის პროცესის აპარატური სქემა მოყვანილია III.13. სურათზე. ღუმელის ბუჩქერებს კაჟმის კომპონენტები ტრანსპორტიორებით მიეწოდება საკაშბე განყოფილებიდან. ტრანსპორტიორები აღჭურვილია ლენტის ფორმის (ლენტის სიგანე 1200 მმ შეადგენს) მკევაბეებით, რომელთა ამძრავს მუდმივი დენის ელექტროძრავა გააჩნია.

ღუმელი (სურ. III.14.) სწორკუთხა შახტისგან შედგება. შახტის სიგანე 2,3, სიგრძე 10 და სიმაღლე 6,5 მ-ია. ქვინების არეში შახტის ჭრლის ფართობი 23 მ² შეადგენს. ღუმელის



სურ. III. 14. ვანიუკოვის ღუმელის სიგროვი ჭრილი.

1 ჩასატარაი შტაღე; 2 თაღა; 3 ღუმელის შახტი; 4 ქვინება; 5 შტეინის სოფონი; 6 ქვედა; 7 ნაღობის სწრაფი გამოშვების შუურა; 8 წილის სოფონი; 9 წილის სოფონის ჩამოსასხამი ზღურბლი; 10 კესონისებული სარტყლის ტორსული კედლები; 11 აირის ეასასვლელი; 12 ტიბარი.



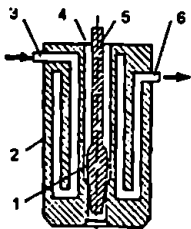
სურ. III.ნ. ა. ვანოუკოვის
ლუმენის ექსონირებული
სარტყლის ქრილის
ფრაგმენტი

1. წამყვანი კარკასი;
2. ექსონები და ჩარჩო; 4. სამ-
ჯენა და საცაყარბის არხი

განსხვავდება, რომ მას ქმინების ჩასაყენებელი მიღველი არ გააჩნია.

ორივე ტიპის ექსონი ელექტროლიტური სპილენძიდან ჩამოსხმება ან ნაგლინი სპილენძის სხვადასხვა სისქის ფორფიტებისგან მზადდება. მიუხედავად გაგლინული სპილენძისგან ექსონის დამზადების სიძნელებისა, იგი ყველაზე საიმეო და ზანგამძლეა. ექსონირებული სარტყლის ზევით ლუმენის შახტი ქრომ-მაგნეზიტისგან არის აგებული.

ექსონირებული სარტყლის ქვედა პირველ რიგში ლუმენის ორივე მხრიდან ჩაყენებულია ნაჭული სპილენძისგან დამზადებული ქმინები, რომლებიც წყლით ცივდება. ქმინების კონსტრუქცია პერიისა და ვანგბადის ნარევის გარდა, ნაღნობში ბუნებრივი აირის შებერვის საშუალებას იძლევა. შახტის ექსონების სარტყლის მუშაობის საიმეობის გაზრდის მიზნითა და ქმინების ქვეით განლაგებულ ზონაში წილისა და შტინის სრული განცალკევების უზრუნველსაყოფად, ქმინები ლუმენის ქვედიდან 1665 მმ სიმაღლეზეა განლაგებული. ქმინების ღერძი ლუმენის შახტს ორ, ქმინების ზედა და ქმინების ქვედა ზონად ჰყოფს.



სურ. III.ნ. ბ. ვანოუკოვის
ლუმენის გვერდითი ჩამო-
რული ქმინის წყლით ხაყო-
ვებული სპილენძის მიღველი

1. ცილიანდრიული-კონს-
ტრუქციის ბუნჯი; 2. კონსტრუქ-
ციის წყლის შესასვლელი არხი;
3. შესასვლელი არხის და ღიათი-
ნური ღერი; 4. წყლის გამო-
სასვლელი არხი.

ტორისის მხარეებთან შეერთებულია შტინისა და წილის სიფონები. ლუმენიდან ნაღნობის ავარიული გამოშვება შპურების საშუალებით ხდება. ლუმენის ფუნდამენტი რკინახეტონისგან არის დამზადებული, ზოლო ქურის კარკასი - ლითონისგან.

ლუმენისა და სიფონის ქველები სამი რიგი ქრომ-მაგნეზიტის აგურით არის ამოვებული შპოტის ჩანაყარზე. ქვედიდან 900 მმ სიმაღლის დონეზე, ლუმენის ქურისა და წილის სიფონის კედლების წყობაში დატანებულია ექსონები, რომლებიც ნაგლინი კვადრატული სპილენძის მიღებისგან არის დამზადებული.

ლუმენის შახტს 3900 მმ სიმაღლის ექსონებისზეული სარტყელი გააჩნია. სარტყელი საცეცხლი კონსტრუქციის ექსონების სამი რიგისგან შედგება. ექსონებით სიბოის არიანება არანაკლებ $25,1 \cdot 10^4$ კვლ/ჯ/(მ/ს) შეადგენს.

ლუმენის ექსონები დამზადებულია 80-100 მმ სისქის სწორკუთხა ფილებისგან (600x1300 მმ), რომლებიც საერთო ჩარჩოზე სექციებადაა შეერთებული. ყველა მიმდებარე სექცია მყარად უკავშირდება კარკასს და ამავე დროს სექციები, როგორც კორიზონტალური, ასევე ვერტიკალური მიმართულებებით არის ერთმანეთთან დამკრებელი. ლუმენის ექსონირებული ქრილის ფრაგმენტი III.15.ა. სურათზეა ნაჩვენები.

ლუმენში ორი კონსტრუქციის ექსონი გამოიყენება - ქმინების და ჩვეულებრივი. ჩვეულებრივი ექსონი ქმინების ექსონებისგან იმით

სპილენძისგან დამზადებული ლუმენის ქმინის მიღველი, რომელიც წყლით ცივდება (სურ. III.15.ბ.) თავისი კონსტრუქციით, საჭიროების შემთხვევაში, ლუმენის გაჩერების გარეშე ნაღნობის გამოშვების საშუალებას იძლევა. მიღველის აირის მისაწოდებელ ღერძულას არხში კონუსური ფორმის საცობია (ბუნიკი) შეყვანილი.

ქმინის პირი საცობის კონუსური ნაწილით იმდენად მჭიდროდ იცვლება, რომ მასში ნაღნობის შესხმა გამოიციხებულია. ქმინის სახელურზე დაყენებული ურდულის ჩაკეტვით ღერძულას არხში აირის შესვლა წყდება. ქმინის მუშა მდგომარეობაში გადაყენის დროს საცობი გამოიღება, აირის შებერვა განახლდება, ზოლო ქმინის პირზე გამყარებული ნაღნობი ძალაყინით ჩახერგტას ექვემდებარება.

ლუმენის თალი, რომელიც ექსონირებულია, იხსნება. მას მასალის ჩასატყირითი ორი ღიობი (მჭიდი) გააჩნია. ანალოგიურად არის შესრუ-
ლებული შტინისა და წილის სიფონების თალებიც.

მტერის გატანის შემცირების მიზნით აპტიკის შესასვლელთან ჩაყენებულია სპილენძის მიღებისგან დამზადებული ტიხარი (სურ. III.14.12), რომელიც წყლით ცივდება. ტიხრის სიმაღლე 700 მმ-ია. იგი თაღზეა ჩამოკიდებული. დნობის შედეგად წარმოქმნილი აირები ღუმელიდან აპტიკის მეშვეობით ზევით ადის. აპტიკიდან მიერთებულია კვსონირებული მტერის კამერა, რომელშიც აირით წატაცებული ნაღობის წვეთები და მტვერი იჭრება. აპტიკისა და კამერის თაღები კვსონირებულია და მოსასხნელი კონსტრუქციისაა. მტერის კამერიდან აირები საკვამლე მილის გავლით საერთო აღობჭურვილად ადის. საკვამლე მილი, რომლის დიამეტრი 2500 მმ-ია, შამოტის აგურით არის აგებული. გაუხშობელობის რეგულირების მიზნით ღუმელიდან აირების გასასვლელსა და საკვამლე მილს შორის საფარია ჩაყენებული.

მტერის დამჭერ კამერაში აირის ნაკადის სიჩქარის მკვეთრი ვარდნის შედეგად მტერის მსხვილი ფრაქცია იღექება კამერის ბუნკერის ნაწილში, საიდანაც მტვერი შნეკის საშუალებით პერიოდულად საბრუნო მტერის ბუნკერში გადაიტვირთება.

შტინის ნაღობი ღუმელიდან უწყვეტ ნაკადად განიდევნება შტინის სიფონით და ღარის (რომელიც აირის სანთურიც ხურდება) გავლით შტინის მიქსერში (საგროვებელში) გროვდება, საიდანაც პერიოდულად ციციხებში ჩამოსხმება. ციციხების ტრანსპორტირებისთვის ურიკები გამოიყენება. ურიკების საშუალებით შტინი უჯრ მთაუარ განში გაიტანება, ხოლო შემდეგ ზიდური ამწეს საშუალებით კონვერტერში ისხმება დაუხალასებელი სპილენძის მისაღებად.

ფოლადისგან დამზადებულ ცილინდრული ფორმის მიქსერის გარსაცმს ყელზე ღობი გაჩნია. მიქსერის ტორსებზე ორი ღერძულას ხერვლია განლაგებული. ერთი მათგანი ნაღობის გამოსაშვებად არის გაიზნული, მეორეთი კი საწვავი მოწყობილობა შეკავებული (მიქსერი აირ-ჰერის სანთურით ხურდება). შიგნიდან მიქსერი ქრომ-მაგნეზიტის აგურით არის ამოვებული. მიქსერის ამპრავი და მისაბრუნებელი მოწყობილობა ჩვეულებრივ კონვერტერზე დაყენებული მოწყობილობის მსგავსია.

აირების განდევნის მიზნით მიქსერის ყელისა და ციციხის თავზე განლაგებულია ქოლგა, რომელიც ენტილატიის სისტემას უერთდება.

ღუმელში წარმოქმნილი წიდა უწყვეტად მოედინება წიდის სიფონიდან და ღარის (რომელიც კვსონირებულია და ხურდება) საშუალებით წიდის საგროვებელში გადადის, საიდანაც პერიოდულად გადმოსხმება საციკალური წიდის საზიდ რკინიგზის ჯამებში (ჯამი 37ტ-მდე წიდას იტევს). შზიდაეები თბომავალის საშუალებით გადაადგილდება ნაყარი წიდის ადგილამდე. წიდის საგროვებელი სალექი მოწყობილობის როლსაც თამაშობს. სამ დღეში ერთხელ საციკალური საშურე მოწყობილობის მეშვეობით საგროვებლიდან გამოდის 10-12ტ შტინი, რომლის შემადგენლობა სადნობ ღუმელში მიღებული შტინის შემადგენლობის ანალოგურია. საგროვებლიდან გამოსული შტინი საბრუნო მასლების გუბურაში ისხმება, ხოლო შემდეგ გუბურიდან მყარ მდგომარეობაში იტირთება კონვერტერში გადასამუშავებლად.

წიდის საგროვებელი ოთხკუთხედ სტაციონარულ ჭურჭელს (ტეჯადობას) წარმოადგენს (25პ² სასარგებლო მოცულობით). მისი ფუნდამენტი სვეტებიანია, ხოლო გარსაცმი ლითონისგან არის დამზადებული. საგროვებლის ქვედი სამი რიგი ცეცხლგამძლე აგურით არის ამოვებული, ხოლო კედლები ქრომ-მაგნეზიტის აგურით არის აშენებული. ნაღობის დონემდე კედლებში სპილენძის კვსონობია ჩაყენებული. წინა ტორსის კედელზე სამი აირ-ჰერის სანთურაა განლაგებული (აირის ზარჯი 120-150 პ/სთ შეადგენს). უკანა ტორსის კედელში ჩაყენებულ ფანჯარაში შეყვანილია ღარი, რომელშიც ღუმელიდან უწყვეტ ნაკადად წიდა მოედინება. გრძე კედელში მოთავსებულია ჩამოსხმული სპილენძისგან დამზადებული წიდის გამოსაშვები კვსონირებული ციხოლა და საგროვებელში ჩარჩინილი შტინის გამოსაშვები შური. საგროვებლის ჩამოსაკიდი თაღი 460 მმ სისქის ქრომ-მაგნეზიტის ბლოკისგან შედგება. წიდის საგროვებლიდან აირების არინება საკვამლე მილის (დიამეტრით 1020 მმ) მეშვეობით ხორციელდება. მილი შამოტის აგურებით არის აგებული და წნევის მარეგულირებელი საფარით არის აღჭურვილი.

აირის დანადგარ-მოწყობილობა ღუმელის დნობის ზონაში ბუნებრივი აირის მისაწოდებლად და სიფონების, საგროვებლებისა და ნაღობების გადასაშვები ღარების გასათბობად არის განკუთვნილი. მაგისტრალური აირ-გაყვანილობიდან ბუნებრივი აირი 0,6-0,8 კას. წნევით მიეწოდება აირ-მარეგულირებელ პუნქტს, სადაც აირის წნევა 0,335-0,340 კას.-მდე ეცემა. პუნქტიდან აირი

გადაღის ღუმელის არ-მარეველებელ დანადგარში, საიდანაც იგი დნობისა და გათბობის სისტემაში შედის. ღუმელი კონცენტრატის განყოფილების კოლექტორიდან შემოსული ტექნოლოგიური ჰაერით მარაგდება. ჰაერი 0,340 კას. წნევით შედის ჰაერის გამტარ გაყვანილობაში, რომელიც საათში 1500 მ³ ჰაერის ნაკადს ატარებს. ჰაერის ტექნოლოგიური ჟანგბადით (92-95%O₂) გამდიდრება ჰაერის შერევის კვანძში ხორციელდება. შერევის კვანძში შესვლამდე ჟანგბადის წნევა 0,02 კასით მეტი უნდა იყოს ტექნოლოგიური ჰაერის წნევაზე.

ღუმელის კესონირებული ელემენტების გასაცივებლად ქარხნის წყალმომარაგების ტექნიკური საბრუნო წყალი გამოიყენება. ღუმელზე წყლის (სისტემებში 0,8-1,0 კას. წნევით შედის) ხარჯი 600-700 მ³ით შეადგენს.

წინასწარ განსაზღვრული შემადგენლობის შტეინის მისაღებად ეანიუკოვის ღუმელში სხვადასხვა სახისა და შემადგენლობის სპილენძის ნედლეულის გადამუშავება შეიძლება. ღუმელში გადასამუშავებლად გამოიყენება როგორც ფლოტაციური კონცენტრატები (6-8% ტენიანობით), ასევე მსხვილნაჭროვანი სელექტიური (შერჩეული) მაღანი.

ღუმელიდან მიღებულ ძირითად პროდუქტებს შტეინი, ნაყარი წილა, მტვერი და აირები წარმოადგენს.

კაშში შემავალი კომპონენტების ქიმიური შემადგენლობა და მათი ფიზიკური მახასიათებლები მოყვანილია III.4. და III.5. ცხრილებში

ცხრილი III.4.

კაშის კომპონენტების ქიმიური შემადგენლობა, %

კაშის კომპონენტები	Cu	Ni	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	O ₂	სხვა
სპილენძის კონცენტრატი	20,7-22,3	1,5-1,8	39-40	33-34	0,5-0,9	0,4-0,8	0,4	0,3	0,8	1,5მდე
სელექტიური მაღანი	19-22	2,5-3,0	36-38	28-30	3,2-4,0	1,4-1,6	0,6-1,4	0,9-1,2	-	3,5მდე
სპილენძის-მტვერი საბრუნო მასალები	7,0-16,0	1,0-2,0	41,0-46,0	5,0-8,0	16,0-21,0	0,7	0,7	1,3	12,8	-
სპილენძის კონცენტრატის ნაშკუა	21,0-23,7	1,6-1,9	35,0-39	0,6-1,3	10,0-18,0	0,8	0,6	1,0	17,9	2,2
ქვიშაქვა	-	-	1,3-2,6	-	78-80,0	0,7-1,2	0,3-0,6	-	-	1,8-3,5

ცხრილი III.5.

კაშის კომპონენტების ფიზიკური მახასიათებლები

კაშის კომპონენტები	ტენიანობა, %	ნაყარი მასა ტ/მ ³	ბუნებრივი გვერდობის კუთხე, გრად.	სისხო
სპილენძის კონცენტრატი	7,8-8,0	2,3	60-65	90% კლასის - 1,25 მკმ
სელექტიური მაღანი	4,0-6,0	2,6-2,7	60-65	-1+50მმ
სპილენძის-მტვერი საბრუნო მასალები	3,0-4,0	3,0-3,2	45-50	1+25მმ
სპილენძის კონცენტრატის ნაშკუა	4,0-6,0	2,6	60	80-82% კლასის - 1,25 მკმ
ქვიშაქვა	4,5-6,0	2,3-2,35	55-60	-1,0+100მმ

მიღებული შტეინის პროცენტული ქიმიური შემადგენლობა: 40-50 სპილენძი, 4,5-5,5 ნიკელი, 20-27 რკინა, 23,6-24,3 გოგირდი და 2,5-3,0 სხვა დანარჩენი ელემენტები. წილისა - 0,55-0,65 სპილენძი, 0,13-0,22 ნიკელი, 0,03-0,05 კობალტი, 43,7-45,8 რკინა, 0,9-1,2 გოგირდი, 29,0-31,5 კაშიწა (SiO₂), 1,7-2,4 კალციუმის ოქსიდი (CaO), 1,2-1,6 მაგნიუმის ოქსიდი (MgO) 4,2-4,5 და ალუმინის ოქსიდი (Al₂O₃). ღუმელიდან გამავალი წილის ტემპერატურა 1523-1575°K-ია. ღუმელიდან

წარმავალი აირების ქიმიური შემადგენლობა (პროცენტებში): 18-40 გოგირდის ანჰიდრიდი (SO_2), 0,5 გოგირდოვანი ანჰიდრიდი (SO_3), 1,8 ჟანგბადი, 5-7 ნახშირბადის ოქსიდი (CO_2), 25-33 წყალი (H_2O) და 45-50 აზოტი (N_2).

წარმავალ აირებში ჟანგბადის არსებობა კაშმის ჩასატვირთ ადგილებიდან, აპტიკიდან და ლუმელის წყობიდან შეწოვილი ჰაერით არის განპირობებული. წარმავალი აირების ტემპერატურა აპტიკის შესასვლელთან 1473°K შეადგენს. შესაბამისი ჰაერის ჟანგბადით გამოიდრება აირების მოცულობას ამცირებს და შესაბამისად აირებში გოგირდის დიოქსიდის შემცველობას ზრდის.

ლუმელის კაპიტალური რემონტის ან გაჩერების შემთხვევაში სადნობი აგრეგატის ხელახლა გაშვება ლუმელში 10-12 მ³ ცხელი შტინის (შტინის წინასწარი გამოდნობა ამრეკლ ლუმელში ხორციელდება) ჩასხმით (ღარის საშუალებით) იწყება. შტინის ნაღობს ემატება აგრეთვე 15-30 მ³-ის ოდენობით კონვერტერული წიდა ისე, რომ ნაღობის საერთო ღონე ქმინების ღერძის ქვევით გადაიდეს და ღერძიდან 50-100 მმ-ით იყოს დაშორებული.

ლუმელში ნაღობის ჩასხმის შემდეგ ბერეა ჟანგბადით მდიდრდება და ლუმელში კაშმის პერიოდული ჩატვირთვით ნაღობის ღონე ქმინებამდე აიყვანება. ამ ოპერაციების დროს კესონირებული ელემენტების ცეცხლურ ზედაირებზე წარმოიქმნილი გარნისაგი თბური დატვირთვისა და ეროზიისგან იცავს კესონებს. ქმინებში შესაბამისი აირის ჭარბი წნევის 0,07-0,08 კას.-მდე გაზრდის შემდეგ ლუმელში ბერეის სამუშაო რეჟიმი მყარდება და უწყვეტი ჩატვირთვის პროცესი იწყება. წილისა და შტინის ნაღობების ნაკადის უწყვეტი დინების დამყარების შემდეგ ლუმელში ნორმალური სამუშაო რეჟიმი იქმნება.

იმ შემთხვევაში, თუ სხვადასხვა მიზეზების გამო ლუმელში ნაღობების ჩასხმა შეუძლებელი ხდება, მაშინ ლუმელის სამუშაო რეჟიმში გადაყვანა კაშმის თანდათანობითი გადნობის მეთოდით ხორციელდება.

1.1.5. სპილენძის შტინის კონვერტირება

სპილენძის შტინის კონვერტირება, ანუ მისი დაუხალასებელ სპილენძად (სპილენძის შემცველობა, როგორც წესი, 98-99%-ის ზღვრებშია) გარდაქმნა ძირითადად პირს-სმითის პერიოდული მოქმედების პორიზონტალურ მბრუნავ კონვერტერში (იხ. სურ. II.1.) ტარდება. ფოლადისგან დამზადებული ცილინდრული ფორმის კონვერტერის გარსაკმი შიგნიდან მაგნეტიზის ან ქრომ-მაგნეტიტის აგურით არის ამოვსებული.

კონვერტერი ბანდაჟების საშუალებით ოთხ წველ გორგოლაჭს ეყრდნობა. გარსაკმზე დამაგრებული კილანა შარაენადი, რომელიც დაკავშირებულია რედუქტორთან და ელექტროძრავასთან, კონვერტერს თავისი პორიზონტალური ღერძის გარშემო შემოტრიალების საშუალებას აძლევს. კონვერტერის ზედა ნაწილში განლაგებულია ყელი, საიდანაც კონვერტერში ისხმება თხევადი სპილენძის შტინი, იტვირთება მყარი მასალები, აირინება აირები, გადმოსისხმება კონვერტერული წიდა და დაუხალასებელი სპილენძი.

კონვერტერის უკანა მხარის მთელ სიგრძეზე 48-52 ქმინია რიგში ჩაყენებული. კონვერტერის ზედა, მუშა მდგომარეობაში ყოფნის დროს ნაღობში მოქცეული ქმინებიდან 90-96 კას. წნევით ჰაერი შეიბერება. უფრო მაღალი წნევით შებერვა ნაღობის ვაშხეფეასა და გადამოწვევებას იწვევს. კონვერტერში შესული ქმინების ლიობებში ნაღობის გამყარების ტენდენცია შეიმჩნევა, რაც ნაღობის ჰაერით გაციების შედეგად ხდება. ამ მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელია ქმინების ხშირი ჩაწმენდა. ქმინების ჩაწმენდა ფოლადის ძალაყინის საშუალებით ხორციელდება. თანამდროვე პირობებში ეს ოპერაცია, რომელიც „ჩახვერტის“ სახელწოდებით არის ცნობილი, პნემატიკური მოწყობილობის საშუალებით ხორციელდება. ასეთი მოწყობილობა რიგში ჩაყენებული ყველა ქმინის ჩახვერტას 30 წმ-ის განმავლობაში უზრუნველყოფს. ქმინების ლიობის დიამეტრი 3-5 სმ ტოლია. ქმინების საშუალებით წუთში 600-650 მ³-მდე ჰაერი შეიბერება კონვერტერში. რიგის ბოლოებში ჩაყენებული რამდენიმე ქმინი ხშირად არ გამოიყენება კონვერტირების დროს, რათა კონვერტერის ბოლოების ცეცხლგამძლე ამონაგი დროზე ადრე არ გატყდეს და კოროზიის გამო არ დაზიანდეს. ლუმელში მადნის ნედლეულის დნობისა და კონვერტირების საამქროების ერთმანეთთან ახლო

განლაგება ძალზე მიზანშეწონილია – მცირდება შტეინის გადაზიდვისა და მისი ნაღობის ციკლებში გაციკების დრო. შტეინის გაციკება ციკხვის შიგა ზედაპირზე გამყარებული ფენების წარმოქმნასა და მათ დაგროვებას უწყობს ხელს. გამყარებული ფენების დაგროვებით ციკხვის მოცულობა მცირდება და გამყარებული მასის ტევების (დამტვრევის) და მისი დნობის ლუმელში ან კონვერტერში გადამუშავების ზედმეტი ოქსიდაციების ჩატარების აუცილებლობა იქმნება.

საილენძის შტეინის კონვერტირება პერიოდული მოქმედებისა და ორი სტადიისაგან შედგება. კონვერტირების პირველი, ანუ თეთრი შტეინის მიღების სტადია რკინის სულფიდის სწრაფ დაყენებასთან არის დაკავშირებული, რის შედეგადაც რკინის ოქსიდი და გოგირდის დიოქსიდი წარმოიქმნება. რკინის ოქსიდი, რომელიც ფლუსს (SiO_2) უერთდება, წიდაში გადადის და ცალკეედება საილენძის სულფიდის ნაღობისგან (თეთრი შტეინისგან).

მეორე სტადიაზე საილენძის სულფიდის ნაღობში ჰაერის შებერვა გრძელდება და საილენძის სულფიდის დაფანგვით ლითონური საილენძი წარმოიქმნება. კონვერტირების პროცესი პერიოდული მოქმედებისა და მისი ხანგრძლივობა დამოკიდებულია დნობის ლუმელში მიღებულ შტეინის ხარისხზე (შტეინში საილენძის შემცველობა 25-დან 55%-მდე ბერყეობს). ყველა შემთხვევაში – მდიდარი თუ ღარიბი შტეინი საილენძით, ნაღობში ჰაერის შებერვა გრძელდება მანამ, სანამ რკინა და გოგირდი არ განიღვენება და მიღებულ დაუნაღასებელ ლითონში საილენძის შემცველობა 98%-ზე მეტი არ იქნება.

საილენძის შტეინი ძირითადად FeS -სა და Cu_2S -გან შედგება, ამიტომ კონვერტირების პროცესში ძირითადად ეს ორი ნაერთი მონაწილეობს. კონვერტირების პირველ სტადიაზე სულფიდური რკინა მთლიანად იჟანგება და დაჟანგვის შედეგად წარმოიქმნება რკინის ოქსიდის (FeO) კაემიწასთან (SiO_2) ურთიერთქმედებით წიდა წარმოიქმნება (რეაქცია II.14.). თუ პირველ სტადიაზე სულფიდური საილენძის (Cu_2S) რაღაც ნაწილი Cu_2O -მდე დაიჟანგება (რეაქცია II.15.), მაშინ Cu_2O -ისა და FeS -ის ურთიერთქმედებით Cu_2O ისევ Cu_2S -მდე აღდგება (რეაქცია II.16.).

კონვერტირების რკინოვანი წილისგან განთავისუფლების შემდეგ საილენძის შტეინის კონვერტირების მეორე სტადია იწყება. მეორე სტადიაზე Cu_2S -ის (თეთრი შტეინის) დაფანგვით დაუნაღასებელი ლითონური საილენძი მიიღება (რეაქციები II.15., II.17.)

კონვერტირების პერიოდული მოქმედების მთლიან ციკლში გადამუშავებული შტეინის ჯამური წონა დასალოებით 160 ტონას შეადგენს. ამ რაოდენობას ემატება 50 ტ-მდე ფლუსი, 40–50 ტ-მდე საილენძის შემცველი მყარი მასალები (საილენძის ჯართი, შტეინი, წიდა, გამყარებული ნაღობი და სხვა სახის საბრუნო მასალები). ამ მთლიანი ჩანატვირთიდან 65 ტ დაუნაღასებელი საილენძი მიიღება, ხოლო დანარჩენი ნაწილი წილისა და აირების სახით ცალკეედება.

კონვერტერში მასალა თანმიმდევრობით იტვირთება. ცეცხლგამძლე ამონაგის დაცვის მიზნით ცარიელ კონვერტერში პირველად საბრუნო ჯართი იტვირთება. ამ დამცველი ფენის თავეზე ისხმება დნობის ლუმელში მიღებული 1040°C -მდე გადახურებული 60–75 ტ თხევადი შტეინი. კონვერტერში ჰაერის ბერვის დაწყების შემდეგ კონვერტირები მუშა პოზიციაში ტრიალდება (სურ. II.12.ა) და პირველი სტადიის პირველი ციკლი იწყება. დასალოებით 10 წუთის შემდეგ წილის ფორმირებისთვის კონვერტერში 12–14 ტ SiO_2 -ის შემცველი ფლუსი იტვირთება. პროცესის ტემპერატურა 1200°C -ის ფარგლებშია. ქმინების ღიობების გასუფთავების მიზნით, კონვერტირების პირველი სტადიის პირველი ციკლის ხანგრძლივობის 60% ქმინების ჩახვერტის ოპერაციებს ეთმობა.

დასალოებით 1 საათის ბერვის (ჰაერის გაჭრევით) შემდეგ მუშა მდგომარეობიდან შეტრიალებით კონვერტირები წილის გადმოსხმისა და შტეინისა და სხვა დანამატების ჩატვირთვის ოპერაციების ჩასატარებელ პოზიციებში დგება (სურ. II.12.ა). ჰაერის ბერვა კონვერტერში წილის გადმოსხმის პოზიციაში (სურ. II.12.ა) მისი შეტრიალების შემდეგ წყდება. კონვერტირიდან 40–50 ტ-ის ოდენობით გადმოსხმული წიდა გადასამუშავებლად დნობის ლუმელში ბრუნდება, ხოლო კონვერტირები შტეინის ახალი პორციით (35 ტ-ის ოდენობით) ივსება (სურ. II.12. პოზიცია – ა). შტეინთან ერთად კონვერტერში საილენძის ჯართის მცირე რაოდენობაც იტვირთება. ოპერაციების დამთავრების შემდეგ კონვერტირები ისევ მუშა პოზიციაში დგება და ჰაერის ბერვის განახლებით ერთსაათიანი ციკლი მეორდება. მეორე ციკლის პროცესში ქმინების ჩახვერტის (გასუფთავების) რიცხვი

საკრძობლად მცირდება და ამასთან ერთად დანამატი ფლუსის რაოდენობაც უფრო ნაკლები (80ტ) ხდება (პირველი ციკლთან შედარებით, მეორე ციკლში ჟანგვას უფრო ნაკლები რაოდენობის რკინა ექვემდებარება, შესაბამისად, უფრო ნაკლები რაოდენობით წარმოიქმნება წიდაც).

კონვერტირების პირველი სტადია დაახლოებით 6 ციკლისგან (ბერეის ციკლისაგან) შედგება. ციკლების გამოვრებით ჯარათისა და ფლუსის დანამატების რაოდენობა თანდათან მცირდება. ბერეის ბოლო ციკლში კონვერტირება ჩასატვირთი ფლუსის რაოდენობა 2-ტ-მდე მცირდება. კონვერტირების მთლიანი პროცესი (კონვერტირების ორივე სტადია), რომელიც კონვერტირში ჩატვირთული შტინის საერთო რაოდენობის დაუსხალასებელ სილინებში გარდაქმნას ითვალისწინებს, პერიოდულია და 12 საათი გრძელდება. კონვერტირული წიდა დიდი რაოდენობის სპილენძს (2-5%) შეიცავს და ამიტომ გადამუშავების გარეშე მისი გადაყრა დაუშვებელია. კონვერტირისგან გადმოსხმულ წიდას თან მიჰყვება შტინისა და სპილენძის ნაწილაკები. შტინი, რომელიც მაგნეტიტში იხლართება, მიჰყვება აგრეთვე წიდას. წიდიდან სპილენძის ამოღების მიზნით, როგორც წესი, წიდა თხევად მდგომარეობაში კონვერტირისგან პირდაპირ დნობის ლუმელში მიემართება გადასამუშავებლად.

კონვერტირების პირველ სტადიაზე შტინებში FeS-ის FeO-მდე ინტენსიური ჟანგვის დროს FeO-ის შემდგომი დაჟანგვის შედეგად ადვილად წარმოიქმნება მაგნეტიტის (Fe_3O_4) მნიშვნელოვანი რაოდენობა. კონვერტირების პროცესის ტემპერატურის პირობებში ($1200^{\circ}C$) მაგნეტიტი მღვრადი ოქსიდია. ვინაიდან მაგნეტიტი საკმაოდ ინერტულია ქიმიურად, იგი ადვილად არ უერთდება ფლუსს SiO_2 -ს და ამიტომ წიდას ფორმირებაში მონაწილეობას არ ღებულობს. თუმცა, მაგნეტიტი წიდაში იხსნება. მაგნეტიტის წიდაში ხსნადობა ტემპერატურაზე დამოკიდებული (ტემპერატურის გაზრდით ხსნადობა იზრდება) და მისმა შემცველობამ წიდაში შეიძლება 30% მიაღწიოს. წიდას მაგნეტიტით გაჯერების შემთხვევაში ხსნადობა მაგნეტიტის გამოლექვის შესაძლებლობა იქმნება. მაგნეტიტის გამოლექვის შედეგად წიდა პეტეროგენიზაციას განიცდის, თუ წიდა კონცენტრატის დნობის ლუმელში გადასამუშავებლად დაბრუნდება, მაშინ მას მაგნეტიტს თან გაჰყვება. ლუმელში მაგნეტიტი ლუმელის ძირისაკენ სწრაფად ტენდენციით გამოირჩევა. ამიტომ მაგნეტიტის „ტყევის“ უკონტროლოდობით მაგნეტიტი ლუმელის ფსკერზე დაგროვდება, რაც ლუმელის სათბობის სრული წვისთვის საჭირო სივრცეს შეზღუდავს და წიდასა და შტინის ფორმირებისა და მათი განცალკევების არეს შეაფერხებს. ლუმელის ფსკერზე მაგნეტიტის დაგროვება დაუშვებელია. წინააღმდეგ შემთხვევაში ლუმელის გაჯერების საშიშროება შეიქმნება.

მეორე მხრივ, მაგნეტიტის საკმაოდ დიდი პროცენტული რაოდენობა საჭიროა კონვერტირის ამონაგის დაცვისა და სწრაფი ეროზიის თავიდან აცილებისთვის. ამიტომ მაგნეტიტის „ტყევა“ კონვერტირში უნდა დაბალანსდეს და მისი დიდი რაოდენობით წიდას ნაღობში გადასვლა უნდა გამოირიცხოს, რათა დნობის ლუმელში კონვერტირული წიდას გადამუშავების დროს ლუმელის სამუშაო რეჟიმი არ დაირღვეს. დადგენილია, რომ Fe_3O_4 რაოდენობის მართვისთვის კონვერტირში განსახლებული სიჭარბით უნდა იყოს წარმოდგენილი თავისუფალი SiO_2 . თავისუფალი SiO_2 რკინის ოქსიდს (FeO) მანამ შეუერთდება, სანამ იგი მაგნეტიტამდე (Fe_3O_4) დაიჯანგება. მაგნეტიტის შემცირება შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიც, თუ შტინის ნაღობში საკმაო რაოდენობით იქნება წარმოდგენილი FeS. იგი ამცირებს Fe_3O_4 -ის რაოდენობას და ამით რკინის ოქსიდის (FeO) წიდაში გადასვლას ხელს უწყობს (რეაქცია III.10.). დნობის ლუმელში მაგნეტიტის შემცირების სხვა ზეჯ არსებობს, მაგალითად, კონვერტირული წიდიდან მაგნეტიტის დნობის ლუმელში გადასვლისა და იქ დაგროვების თავიდან აცილების მიზნით, ზოგიერთ ქარხანაში კონვერტირული წიდა დნობის ლუმელში არ ბრუნდება. იგი ციფდება, იმსხვრევა, ფხვიერდება და სპილენძის ამოღების მიზნით ფლოტაციური გამოდირების შემდეგ ამა თუ იმ ხერხით გადამუშავდება.

კონვერტირების პროცესის შედეგად წარმოიქმნება დიდი რაოდენობის წარმავალი აირები, რომლებიც მტვერსა და SO_2 -ს შეიცავს. აირებიდან მტვერი მტვერის კოლექტორებში ცალკეედება. თუ მტვერისგან გასუფთავებული აირი დიდი რაოდენობით SO_2 -ს შეიცავს, მაშინ იგი გოგირდმჭავას წარმოებაში გამოიყენება.

1.1.8. კონვერტირება და სპილენძის სულფიდური კონცენტრატის დნობის შეთავსება ერთ აპარატში

კონვერტირების ოპერაციების განხორციელების დროს უანგბადით გამდიდრებული ჰაერის შებერვა აჩქარებს უანგვის პროცესს, როდის მეშვეობითაც სულფიდური რკინა (FeS) წიდაში გადადის, ხოლო სულფიდური სპილენძი (Cu_2S) ლითონურ სპილენძად გარდაიქმნება. პროცესის დაჩქარებასთან ერთად უანგბადით გამდიდრებული ჰაერი უანგვითი რეაქციის ეგზოთერმული სითბოს რაოდენობის გაზრდის საშუალებას იძლევა. კონვერტირების პროცესში გამოყოფილი დამატებითი სითბო შეიძლება გამოყენებულ იქნას სპილენძის ნელი კონცენტრატის გასაღნობად. ამ შესაძლებლობის კონკრეტული წინაპირობების საუბრეზე დაუშვავა და შეიქმნა პროცესი, რომელიც სპილენძის ნელი კონცენტრატის დნობასა და კონვერტირებას ერთ აპარატში აერთიანებს. სპილენძის ნელდულის გადამუშავების ამგვარი ხერხი გამოიყენება იაპონიაში და აშშ-ში. ამ ხერხის ძირითადი ნაკლი აპარატის ცეცხლგამძლე ამონაგის ხშირ ცვეთაში მდგომარეობს. უანგბადით გამდიდრებული ჰაერის შებერვა ქიმიის არეში ცეცხლგამძლე ამონაგის გადახურებასა და მის მწყობრიდან გამოსვლას იწვევს, რაც საგრძნობლად აძვირებს გადამუშავების პროცესს.

შეთავსებული პროცესების ჩასატარებლად პირს-სმიტის მოდიფიცირებული კონვერტერი გამოიყენება. კონვერტერი შესაბამისი ჰაერის უანგბადით გამდიდრების დამატებითი მოწყობილობით არის აღჭურვილი. გარდა ამისა, რეაქტორს (კონვერტერს) გააჩნია სველი კონცენტრატისა და დაცემენტებით (წყალხსნარიდან სპილენძის გამოლეკვის მეთოდი) მიღებული სპილენძის ნაღებს წნეებით შესაფერქვევი მოწყობილობა, რომელიც 10%-მდე ტენის მქონე მასალის შეფრქვევას უზრუნველყოფს. უანგბადით გამდიდრებული (25–30%-მდე) ჰაერის შებერვა რეაქტორში კონცენტრატის შეფრქვევის მომენტიდან იწყება და შეფრქვევის ბოლომდე გრძელდება. კონცენტრატის ჩატვირთვის დამთავრების შემდეგ უანგბადით გამდიდრებული ჰაერის შებერვა არ წყდება — იგი გრძელდება მანამ, სანამ რეაქტორში ჩატვირთული მყარი მასა ბოლომდე არ ჩაღნება შტეინის ნაღნობში. კონცენტრატის მიწოდების სიჩქარე 1–2 ტ/წთ-მდე მერყეობს. რეაქტორში შექმნილი ხელსაყრელი კინეტიკური პირობები აჩქარებს დნობას და რკინისა და გოგირდის სწრაფ დაჟანგვას უწყობს ხელს. ჩვეულებრივი კონვერტირების პროცესისგან განსხვავებით, ამ შემთხვევაში რეაქტორში (კონვერტერში) ჩასატვირთი მასალის მთლიანი რაოდენობის ორი მეხუთედი სპილენძის კონცენტრატსა და სხვა სპილენძმშემცველ (სპილენძის ნაღები, ჯარი) დანამატს წარმოადგენს, რაც 40%-ით ზრდის რეაქტორიდან წარმაველი აირების რაოდენობას. აირებით მტკიცედმტკიცებში გამოკალკეებული მტკერი რეაქტორში ბრუნდება. წარმაველ აირებში SO_2 -ის კონცენტრაცია იზრდება, რაც უანგბადით გამდიდრებული ჰაერის შებერვით არის განპირობებული. რეაქტორში კონცენტრატის შეფრქვევისას აირებში SO_2 -ის კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა შეინიშნება, რაც გოგირდმშემცველი მასალის ჩატვირთვით არის გამოწვეული. კონცენტრატის ჩატვირთვამდე SO_2 -ის კონცენტრაცია აირებში 4,5%-ს შეადგენს, ხოლო კონცენტრატის რეაქტორში შეფრქვევისას აირებში მისი კონცენტრაცია 6,5–9,5%-მდე იზრდება. იმის გამო, რომ რეაქტორში ჩატვირთული კონცენტრატის, გარდა მაგნეტიტის (Fe_3O_4), ყველა სახის ოქსიდური ნაერთის (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO) მინარევებს შეიცავს, რეაქტორში (კონვერტერში) წილის რაოდენობა იზრდება (ჩვეულებრივი კონვერტირების პროცესთან შედარებით). რეაქტორში კონცენტრატით შეტანილი ოქსიდური ნაერთები წილის ფორმირებაში იღებს მონაწილეობას. რეაქტორში მაგნეტიტი (Fe_3O_4) დიდი რაოდენობით არ წარმოიქმნება, რაც იმით აიხსნება, რომ ცალკე შეტანილი ფლუსის SiO_2 -ს შეფრქვეულ კონცენტრატში შემავალი SiO_2 -იც ემატება, რაც ხელს უწყობს FeO -ს აქტიურ გადასვლას წიდაში (FeO ვეღარ ასწრებს მაგნეტიტამდე დაჟანგვას, იგი SiO_2 -ს უერთდება და წიდაში გადადის). ამიტომ მაგნეტიტის რაოდენობა დაახლოებით იმდენია, რამდენიც ჩვეულებრივი კონვერტირების პროცესის (კონცენტრატის შეტანის გარეშე) დროს წარმოიქმნება.

კონვერტერში 60–70 ტ შტეინის (30–40% Cu შემცველობით) ჩასხმის შემდეგ, შტეინის ნაღნობში, რომელიც ქიმიებს (ქიმიები დაფარულია ნაღნობით) ფარავს, ჰაერის ან უანგბადით გამდიდრებული ჰაერის შებერვა იწყება. ნაღნობის ტემპერატურის $1120^{\circ}C$ -მდე გაზრდის შემდეგ კონვერტერში კონცენტრატის (30–35% Cu შემცველობით) ან კონცენტრატისა და სხვა სპილენძ-შემცველი მასალის ნარევი შეფრქვევა (1–2 ტ/წთ სიჩქარით) 60–70 ტ ოდენობით. შეფრქვევის პერიოდში ნაღნობში მხოლოდ უანგბადით გამდიდრებული ჰაერი შეიბერება. შებერვა შტეინში

კონცენტრატის ჩაღობამდე გრძელდება. წილის ფორმირებაში მონაწილეობას იღებს კონცენტრატით შტანნილი კვარცი (კონცენტრატი 10% SiO_2 -ს შეიცავს) და 10 ტ-ის ოდენობით დანამატი ფლუსი (70% SiO_2 -ის შემცველობით). კვარცისა და რკინის ოქსიდის (FeO) ურთიერთქმედებით წილა ფორმირდება. კონვერტერში ჰაერის შებერვა ორსათნახვევარი გრძელდება (ამ დროის 75–85% ჟანგბადით გაზდიდრებულ ჰაერის შებერვაზე იხარჯება). კონვერტერიდან გადმოსხმული წილა, რომელიც 3,7%-მდე სილინძმს შეიცავს, საღნობ ლუმელში გადასაშუალებლად იგზავნება.

კონვერტერში მეორეჯერ ჩატვირთული მასალა 35 ტ შეიწის, 30 ტ კონცენტრატსა და 10 ტ ფლუსს შეიცავს. ჰაერის შებერვა ამაჯერად საათნახვევარი გრძელდება (ამ დროის 75% ჟანგბადით გაზდიდრებული ჰაერის შებერვაზე იხარჯება). ეს ციკლი 4–5-ჯერ მეორდება და, ამასთან, კონვერტერში ჩასატვირთი მასალის (შტინი, კონცენტრატი) რაოდენობა თანდათან მცირდება. ჩატვირთვისა და შებერვის ოპერაციების გამოორების შედეგად კონვერტერი თეთრი შტინის (Ca_2S) ნაღნობით ივსება. შევსების შემდეგ კონვერტერში მასალის ჩატვირთვა წყდება (დასაშუბა მცირე რაოდენობით ისეთი მასალის ჩატვირთვა, რომელიც სილინძმის დიდი შემცველობით გამოირჩევა – სილინძმის ანოდური ნარჩენები) და ნაღნობში ჰაერის (ჟანგბადით გაზდიდრების გარეშე) შებერვის საბოლოო ეტაპი იწყება. ეტაპის ხანგრძლივობა 3 საათს შეადგენს. ამ ეტაპზე ჰაერის შებერვის შედეგად თეთრი შტინი (Ca_2S) დაუხალასებელ სილინძმად გარდაიქმნება. დაუხალასებელი სილინძმი, რომელშიც სილინძმის შემცველობა 99%-მდე იზრდება, რაფინირების ეტაპზე გადასაშუალებლად იგზავნება. რეაქტორი (კონვერტერი) ამოგებულია ქრომ-მაგნეზიტის აგურებით. რეაქტორის დიამეტრი დაახლოებით 4 მ შეადგენს, ხოლო მისი სიგრძე 9 მ აღწევს.

11.7 სილინძმის სულფიდური კონცენტრატების დნობა – კონვერტირების შეთავსებული უწყვეტი ავტოგენური პროცესი.

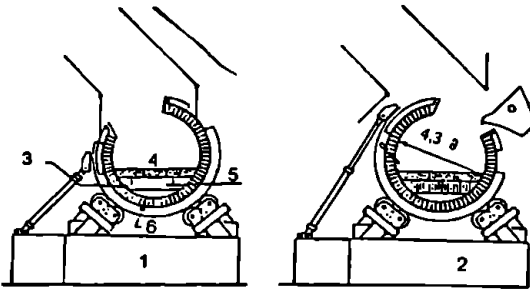
სილინძმის სულფიდური კონცენტრატების გადამუშავების ეს პირომეტალურგიული ხერხი, რომელშიც კონცენტრატის დნობის, შტინის წარმოქმნისა და კონვერტირების (შტინის დაუხალასებელ სილინძმად გარდაქმნა) პროცესები შეთავსებულია უწყვეტ რეჟიმში მომუშავე ერთ აპარატში, კონცენტრატიდან პირდაპირ დაუხალასებელი სილინძმის მიღებას თითაღისწინებს.

რეაქტორში ნეღლი კონცენტრატი დაგუნდაეებული მასალის სახით იტვირთება. ჩატვირთული კონცენტრატი ჯერ დნება, ხოლო შემდეგ ნაღნობში Ca_2S -ისა და FeS -ის ურთიერთქმედებით შტინი წარმოიქმნება. მასალის გადნობა, ძირითადად, შტინის კონვერტირების დროს გამოყოფილი ჭარბი ეგზოთერმული სითბოს ხარჯზე ხორციელდება. კონვერტირების პირველი რეაქცია, რომელიც დიდი რაოდენობის ეგზოთერმული სითბოს გამოყოფით გამოირჩევა, რეაქტორში ექითარდება ქმინების საშუალებით შებერილი ჰაერის ჟანგბადის მეშეობით. ამ რეაქციის შედეგად რკინის სულფიდი იჟანგება და რკინის ოქსიდი და გოგირდის დიოქსიდი წარმოიქმნება (რეაქცია II.13.). რკინის ოქსიდი კვარცის ფლუსთან ურთიერთქმედებით წილას წარმოქმნის, ხოლო SO_2 წარმავალ აირებს უერთდება.

წილის ($\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) ფორმირების შემდეგ კონვერტირების მეორე საფეხური იწყება, სადაც Ca_2S -ის დაჟანგვის შედეგად დაუხალასებელი ლითონური სილინძმი წარმოიქმნება (რეაქციები II.15., III.17.). წილის ფორმირებისა და Ca_2S დაჟანგვის რეაქციებიც გამოყოფს ეგზოთერმულ სითბოს, რომელიც რეაქტორში წარმოქმნილ საერთო ეგზოთერმულ სითბოს ემატება.

ამ ხერხით მიღებული ლითონური პროდუქტი (დაუხალასებელი სილინძმი) მაღალი ხარისხისაა, წილა კი სილინძმის საკმარ რაოდენობას შეიცავს და იგი სილინძმის ამოღების მიზნით გადამუშავდება.

უწყვეტი მოქმედების ერთ-ერთი აპარატი, რომელიც ნორანდის კომპანიამ (კანადა) შექმნა, ცილინდრული ფორმისაა, და თავისი გარეგნობით პირს-სმითის კონვერტერს წააგავს (სურ. III.16.). რეაქტორის სიგრძეში ჩაყენებული ქმინების ბოლოები ნაღნობშია ჩაშვებული (რეაქტორის მუშა მდგომარეობაში). რეაქტორის ვერტიკალური მდგომარეობიდან შეტრიალებით (რეაქტორი 54°-ით ტრიალდება) ნაღნობის დონე დაბლა იწევს და ქმინები ნაღნობის გარეთ ექცევა. რეაქტორის ფულადის გარსაცმი ქრომ-მაგნეზიტის აგურებით არის ამოგებული. რეაქტორი დღე-ღამის განმავლობაში 100 ტ დაგუნდაეებული კონცენტრატის გადამუშავებას უზრუნველყოფს (ზოგიერთი თანამედროვე



სურ. III.6. ნორანდის დნობა - კონვერტირების რეაქტორის ქროლია

1. აარის (პერის ფანჯადის) შეხერცის მდგომარეობაში
2. ჩასატყირთ მდგომარეობაში
3. ქმინება
4. წიდა
5. შტეინის
6. სპილენძის

სითბო (ეგზოთერმული სითბოს შევსების მიზნით) მიეწოდება რეაქტორის აბაზანას. წილის გადმოსაშვების მხარეზე მოთავსებულ წვის მოწყობილობასთან შედარებით, მყარი მასალის ჩასატყირთის მხარეზე განლაგებული წვის მოწყობილობა საშუალო უფრო დიდი სიმძლავრით გამოირჩევა.

მყარი ჩასატყირთი მასალა დაგუნდაებული (6-დან 12,5 მმ-მდე) კონცენტრატისა და ნაჭროვანი (12-25 მმ) კვარცის ფლუსისგან შედგება. დაგუნდაების წინ კონცენტრატს ემატება აირების ნაკილიდან გამოცალკეებული მტკერი. სატყირთი მოწყობილობა, რომელიც რეაქტორის ბოლოშია ჩამაგრებული, ღია ხერხიდან უწყვეტ ნაკადად კონცენტრატის გუნდებასა და ფლუსის ნაჭრებს ავლენს რეაქტორში. ნაღობის ზედაპირზე მოხვედრილი მასალა დიდი სიჩქარით დნება აბაზანაში. რეაქტორის სიგრძის დაახლოებით ორი მესუდი მასალის ჩასატყირთის ბოლოდან რიგში ჩამაგრებულ ქმინებს უკავია. ქმინები ერთმანეთის ცენტრებიდან 15 სმ დაშორებითაა განლაგებული (სულ ცამეტი ქმინია ჩამაგრებული რეაქტორში). ქმინების დიამეტრი 5 მმ შეადგენს. რეაქტორში შეხერილი 70°C-მდე გახურებული ჰაერის მოცულობა სარეაქტორ ზონას საკმარის რაოდენობით აწვდის ფანგბალს, რომელიც ჩატყირთულ მასალაში შემაჯალ გოგირდსა და რკინას მთლიანად ფანგავს და დაუხალასებელი სპილენძისა და წილის წარმოქმნას უზრუნველყოფს. თუ ნაღობის ზედაპირიდან ქმინები საკმარის სიღრმეზეა (0,9მ) ჩამკებული, მაშინ შესაძლებელი ხდება ფანგბალის 95-100%-ის ურთიერთქმედება შტეინთან. ფანგბალის ათვისების ასეთი მაღალი და მდგრადი მაჩვენებელი საშუალებას იძლევა წინასწარ განისაზღვროს ფანგბალის ის რაოდენობა, რომელიც ამა თუ იმ შემადგენლობის 1 ტ კონცენტრატს ესაჭიროება.

რეაქტორის აბაზანა, სადაც ერთდროულად ორი უწყვეტი პროცესი - კონცენტრატების შტეინზე დნობა და შტეინის კონვერტირებით სპილენძის მიღება ხორციელდება, დიდი აქტიურობით გამოირჩევა. შეხერილი ჰაერი ნაღობს მუდმივი მოძრაობის პირობებს უქმნის, რაც კონვერტირების პროცესში გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბოს დნობის ზონაში გადატანასა და რეაქტორში შემაჯალ კომპონენტების ერთმანეთთან დაკავშირებას ხელს უწყობს.

ნაღობში რეაქტივების განვითარების შედეგად განსაზღვრული სიმკვრივის მქონე სამი თხევალ ფენა წარმოიქმნება: წილის ზედა ფენა (30-38 სმ სისქის ფენა), შტეინის შუალედური ფენა (72-85 სმ სისქის ფენა) და სპილენძის ქვედა ფენა, რომელიც რეაქტორის ძირში მდებარე სალექარში გროვდება. რეაქტორიდან სპილენძის ნაღობის გამოშვებამდე სალექარში სპილენძის ფენის სისქის გაზრდა მხოლოდ 25-30 სმ-მდეა დასაშვები, ხოლო სპილენძის ნაღობის ნაწილობრივი გამოშვების შემდეგ სალექარში დარჩენილი სპილენძის ფენის სისქე მხოლოდ 10-12 სმ-მდე უნდა იყოს შემცირებული.

რეაქტორში, წილის ნაღობის ზედაპირთან, ტემპერატურა 1235°C აღწევს, ხოლო რეაქტორიდან გამოშვებული სპილენძისა და წილის ნაღობების ტემპერატურები შესაბამისად 1205 და 1220°C-ია. რეაქტორში კონცენტრატის (23-24%) სპილენძის შემცველობით) გადამუშავების შედეგად პროდუქტის სახით მიიღება დაუხალასებელი სპილენძი, რომელიც 97% სპილენძისა და 1,9-2%-მდე გოგირდს (მისი შემცველობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე ჩვეულებრივი კონვერტირების დროს

რეაქტორი 800 ტ ნელელეულიდან დღე-ღამეში 200 ტ სპილენძს აწარმოებს, მისი სიგრძე 20 მ შეადგენს). რეაქტორის სიგრძე 10 მ-ია, ხოლო შიგა დიამეტრი 2,5 მ აღწევს. რეაქტორის ძირის შუა ნაწილში განლაგებულია სალექარი, რომელშიც სპილენძი გროვდება. სალექარს 2,5 სმ-იანი გამოსაშვები ხერხი გააჩნია. წილის გამოსაშვები ხერხი, მასალის ჩასატყირთის მოპირდაპირე მხარის ბოლოშია მოთავსებული. ნაღობის სასურველი სამუშაო დონის შენარჩუნების მიზნით, სპილენძისა და წილის გამოშვება რეაქტორიდან პერიოდულად ან უწყვეტად ხორციელდება. რეაქტორის ორივე ბოლოში განლაგებულია აირის წვის მოწყობილობა, საიდანაც დამატებით

მიღებულ სპილენძში, რომელიც 0,02–0,1% გოგირდს შეიცავს) შეიცავს. ასეთი სპილენძის გადამუშავება (გოგირდის მოცილების მიზნით) ანოდის სადნობ ლუმებშია შესაძლებელი, მაგრამ ვინაიდან ეს ოპერაცია ხანგრძლივია, უფრო ხელსაყრელია სპილენძის ნაღობის გადამუშავება ჩვეულებრივი კონვერტირების პროცესის გამოყენებით. ამიტომ, რეაქტორიდან მიღებული დაუხალასებელი სპილენძი, გოგირდის მოცილების მიზნით, ჩვეულებრივ კონვერტერში ისხმება და კონვერტირების მხოლოდ მეორე საფეხური ტარდება (Ca_2S -ის სპილენძში გარდაქმნის საფეხური).

რეაქტორიდან მიღებული წილა 8–12%-მდე სპილენძს შეიცავს. წილაში სპილენძი, ძირითადად, ბურთულების სახით არის ჩართული. ბურთულები 30%-მდე მაგნეტიტს (Fe_3O_4) შეიცავს. სპილენძით მდიდარი წილიდან სპილენძის ამოღება ორი ხერხით შეიძლება განხორციელდეს. ერთ შემთხვევაში წილის გადამუშავება ხდება ჩვეულებრივ კონვერტერში, სადაც დნობის ლუმულიდან მიღებული შტეინის კონვერტერების პროცესი ხორციელდება. მეორე შემთხვევაში წილა წყლით გრანულირდება. წერილად დაქუცმაცებული გრანულები ფლოტაციური მეთოდით მდიდრდება. გამოდრეხის შედეგად სპილენძის კონცენტრატის (სპილენძის შემცველობა 47% აღწევს) და კვლები (სპილენძის 0,5% შემცველობით) მიიღება.

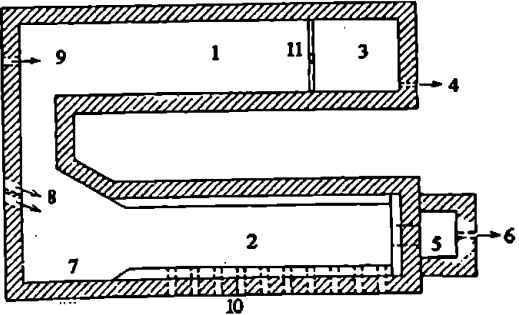
რეაქტორის ყელიდან (სპილენძის სალექარიის ზეით არის განლაგებული) გამოშვებული აირების ტემპერატურა 1320°C აღწევს. აირებში SO_2 -ის შემცველობა 4%-მდეა. იმ შემთხვევაში, თუ საწვავ მოწყობილობაში შეშვებული ჰაერი გამოდრეხებულია ყანგადით (ჰაერი 50% O_2 შეიცავს) და ქმინებში შებერილი ჰაერი 35% ყანგადას შეიცავს, მაშინ რეაქტორიდან წარმატებულ აირებში SO_2 -ის შემცველობა 13%-მდე იზრდება. რეაქტორის ყელიდან გამოშვებული გახურებული აირები შედის ზონში, რომელიც წყლით ცივდება. მტკერდამჭერ მოწყობილობაში გაელის შემდეგ გასუფთავებული აირები გოგირდმჟავას წარმოების ქარხანაში მიემართება.

ფორკრას სახელწოდებით ცნობილი უწყვეტი მოქმედების პროცესი (დაბუშვება ავსტრალიაში) ანალოგიურია პროცესისა, რომელიც ნორანდას რეაქტორში ხორციელდება. სხვაობა მხოლოდ აპარატურულ გაფორმებაშია. ფორკრას რეაქტორი (ლუმული) თავისი ფორმით ჩვეულებრივი დნობის ლუმელის მსგავსია. ადრინდელი კონსტრუქციის ლუმელი (სურ. III.17.) ნალის (Ω) ფორმისაა და დღე-ღამეში 72ტ გამოშვარლ კონცენტრატს ამუშავებს. მოვიანებით აგებული ლუმელი (სურ. III.18.) ოთხკუთხა ფორმისაა – იგი ვიწრო და გრძელია

პირველი ლუმელის (სურ. III.17.) Ω -ის ერთ ფეხში (მზარეში) კონვერტირების პროცესი ხორციელდება, ხოლო მეორე ფეხში წილის გასუფთავება მიმდინარეობს. კონვერტირების ზონის სიგანე – 1,85, ხოლო სიგრძე 8,55 მ-ია. ლუმელის სიმაღლე 4 მ აღწევს. ლუმელის გვერდის კედელში, რიგში ჩაყენებულია 10 საპაერო ქმინი.

ქმინები აბაზანისკენაა დახრილი იმდენად, რომ ქმინებიდან შებერილი ჰაერის ნაქალი კონვერტირების ფეხის ცენტრალური ხაზის გასწვრივ ლუმელის ფსკერის მახლობლად ხედება. ლუმელის კედლიდან მოშორებით ჰაერის შებერვა ამცირებს ცეცხლგამძლე ამონაგის ცვეთას და ახანგრძლივებს მათ მუშაობას. ქმინების ლუმელის ფსკერთან მიახლოება აირ-ნაღობის აქტიურ ურთიერთქმედებას უწყობს ხელს და ამასთან ჰაერის ყანგადლის 100%-იან ათვისებას უზრუნველყოფს.

კონვერტირების ზონაში (ფეხში) შტეინის დაყანგვის შედეგად დაუხალასებელი სპილენძი და რკინის ოქსიდი წარმოიქმნება. რკინის ოქსიდის ფლუსთან ურთიერთქმედებით კი წილის ფორმირება იწყება. საწყისი კომპონენტების დნობისა და ერთმანეთთან ურთიერთქმედების შედეგად ამ ზონაში (ფეხში) განსხვავებული



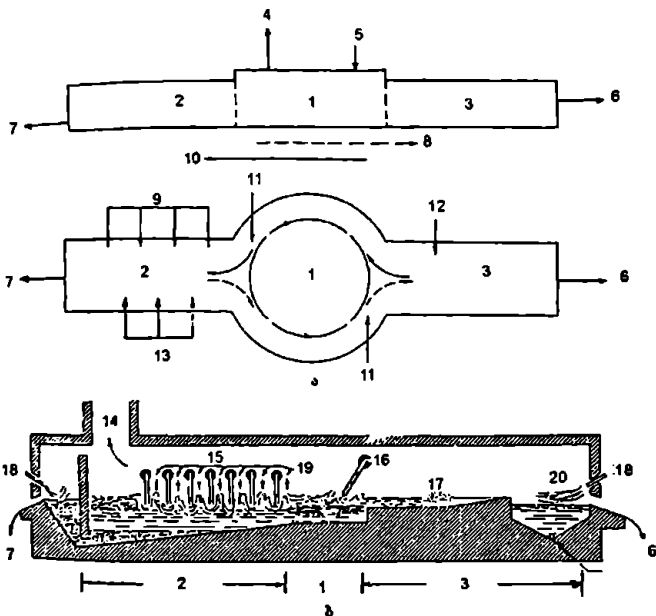
სურ. III.17. ფორკრას Ω ფორმის ლუმელი (ზედი ზევიდან). 1 წილის გასუფთავების შტო (ზონა); 2 კონვერტირების შტო (ზონა); 3 წილის საგროვებელი ჭა; 4 წილა; 5 სპილენძის საეროვებელი ჭა; 6 სპილენძის; 7 დნობის სექცია; 8 კონცენტრატის; 9 კონცენტრატის ან პირიტი; 10 ქმინების შესისვლელია; 11 კამხალი.

სიმკვრივის მქონე საში თხევადი ნერთი წარმოიქმნება. გრავიტაციული ძალის ზემოქმედებით თხევადი ნერთებიდან ნაღობში საში ერთმანეთისგან განცალკევებული ფენა ყალიბდება — წილის ზედა ფენა, შტინის შუალედური ფენა და დაუხალასებელი სპილენძის ქვედა ფენა, რომელიც უწყვეტ ნაკადად მიედინება კონვერტირების ზონის ბოლოში განლაგებული დაუხალასებელი სპილენძის საგუბრისკენ და იქ გროვდება. საგუბრიდან სპილენძის ნაღობი ფორმებში ჩამოისხმება და 1500კგ-იანი ზოდების სახით რაფინირების ეტაპზე გადასამუშავებლად იგზავნება.

ლუმელის მოპირდაპირე ფეხი (ზონა), რომლის სიგანე 2,5, სიგრძე 9,5 და სიმაღლე 2,6 მ-ია, წილის გასასუფთავებლად გამოიყენება (სურ. III.17.). ამ ზონაში წილის ნაღობი მშვიდ მდგომარეობაშია და მასში ჩართულ შტინისა და ლითონის ბურთულებს ქვედა მომდევნო ფენებში (უფრო მძიმე ნაღობის ფენები) ჩაშვების საშუალება ეძლევა. დაწრეტის შემდეგ წილა ლუმელის ბოლოში, ფეხის თავზე განლაგებულ კამხალზე გადადის და წილის საგუბარში გროვდება. საგუბრიდან წილა უწყვეტ ნაკადად გადმოდის და იყრება.

ღნობის პროცესი მიმდინარეობს კონვერტირების ფეხის ძირის კუთხეში — სექციაში, რომელიც კონვერტირებისა და წილის გასუფთავების ფეხებს (ზონებს) აერთიანებს.

ლუმელში გამოშრალი კონცენტრატი და აირებიდან გამოცალკევებული, დაგუნდაებული მტვერი იტვირთება. გამოშრალი კონცენტრატი მარცვლების სისხოს მიხედვით ორად იყოფა — ერთ ფრაქციაში 4,7 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლებია თავმოყრილი, მეორეში კი 4,7 მმ-ზე უფრო დიდი ზომის მარცვლები (მარცვლების მაქსიმალური ზომა 19 მმ-ს აღწევს). წერილმარცვლოვანი მასალა ღნობის ზონაში ორი ხერეულიდან იტვირთება, ხოლო წილის გასუფთავების ზონაში ერთი პოზიციიდან ხდება წერილმარცვლოვანი მასალის ჩატვირთვა. მსხვილნაჭროვანი მასალა კი სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით კონვერტირების ზონაში აბაზანის მიერ სიგრძეზე იფანტება. კონვერტირების ზონაში იტვირთება აგრეთვე გამოშრალი კვარცის ფლუსი.



სურ. III.18. ყორკას ოსსკუთხედი ფორმის ლუმელი.

ა. ხედა გვერდიდან და ზემიდან. ბ. ვერტიკალური ქრალი.

1. ღნობის ზონა; 2. კონვერტირების ზონა; 3. წილის გასუფთავება; 4. წარმოებული აირები; 5. ჩასატყვართ მასალა; 6. წილა; 7. სპილენძი; 8. წილა; 9. პაერო-ფანებალი; 10. შტინის; 11. ჩასატყვართი მასალა; 12. კონცენტრატისაღმდგენი; 13. კვარცის ფლუსი; 14. ცხელი აირები; 15. ქშინები; 16. კონცენტრატი და ფლუსი; 17. კონცენტრატი ან პარტი; 18. საცეცხლე; 19. კვარცის ფლუსი; 20. მამშალა.

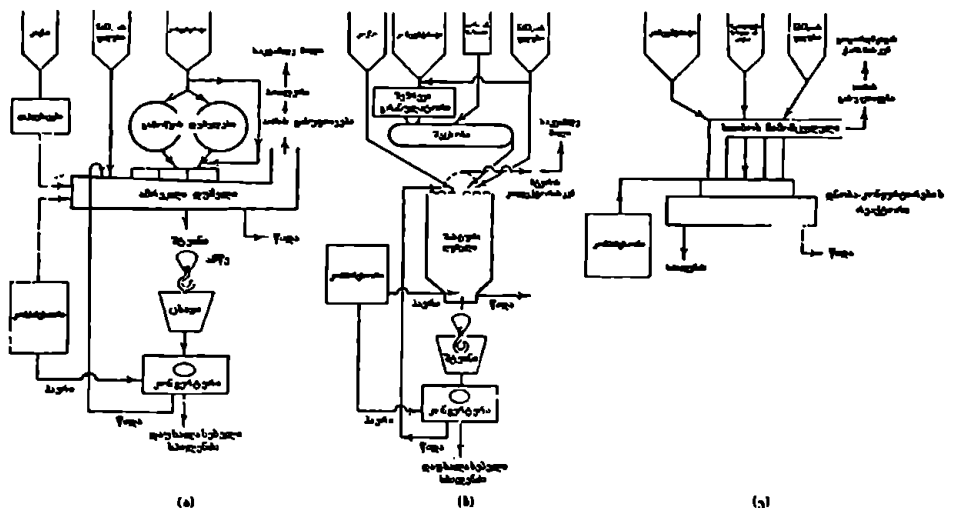
ლუმელში ჩასატვირთი კონცენტრატი 23,5% სპილენძს შეიცავს. კონცენტრატის გადამუშავების შედეგად მიღებულ პროდუქტში (დაუხალასებელი სპილენძი) სპილენძის რაოდენობა 98,75% შეადგენს. დნობის ზონაში სპილენძით მდიდარი შტეინი წარმოიქმნება (70–75% Cu შეიცავს), ხოლო კაშხალიდან გამოხვეული წიდა, რომელიც 0,5% Cu შეიცავს, ლუმელიდან გამოსვლის შემდეგ გადაიყრება.

წარმოქმნილი აირები კონვერტირების ფეხის ზედა ნაწილში განლაგებული საცემლე მილის საშუალებით ლუმელიდან განიღვებება. აირებს თან გააქვთ საწყის მასალაში შეხვეული გოგირდის მთლიანი რაოდენობა (გარდა იმ მცირე რაოდენობისა, რომელიც დაუხალასებელ სპილენძსა და წიდაში მინარეების სახით რჩება). აირებში SO₂-ის შემცველობა 9–14% შეადგენს. ლუმელში ჩატვირთული მასალის მთლიანი რაოდენობის 4% აირებით წაიტაცება. ლუმელიდან გატანილი მტკერი აირებისგან ცალკეედება და მისი დაგუნდაების შემდეგ კონცენტრატთან ერთად ისევ ლუმელში ბრუნდება. გასუფთავებული აირი გოგირდის ან გოგირდმეცას მილების მიზნით გადამუშავდება.

მეორე ტიპის (გორკრას) ლუმელი (სურ. III.18.), რომელიც 4–6-ჯერ უფრო მეტი ნედლეულის გადამუშავებას ითვალისწინებს წელიწადში, ვიდრე 2 ტიპის ლუმელი, ოთხკუთხა ფორმისაა და ამასთან ეიწრო და გრძელია. ჩატვირთვისა და დნობის ზონები ლუმელში გაერთიანებულია. მასალის ჩატვირთვა მისი ცენტალური ნაწილიდან ხორციელდება. ლუმელის ერთ ბოლოში კონვერტირების ზონა განლაგებული, ხოლო მეორეში – წილის დაწრეტის ზონა. ჰაერის ან ეანგბად-ჰაერის შესაბერი ქმნიები კონვერტირების ზონის ერთ მხარეზეა ჩამაგრებული. ამ ზონის ძირში წარმოქმნილი დაუხალასებელი სპილენძის ნაღობი საგუბარში გადაედინება, საგუბრიდან კი გარეთ გადის. რეაქტორის ქველი, სპილენძის საგუბრიდან დაწყებული, ლუმელის მთელ სიგრძეზე თანდათან მალდება ლუმელის მოპირდაპირე ბოლოში განლაგებულ კაშხალამდე, საიდანაც გასუფთავებული წიდა საგუბარში გადაედინება.

ნორანდის და მიკუბისის პროცესებთან შედარებით, გორკრას პროცესის უპირატესობა ისაა, რომ ერთ ლუმელში განხორციელებული პროცესიდან მიღებული წიდა ლუმელის გარეთ დამატებით გადამუშავებას არ საჭიროებს.

სპილენძის მადნის ნედლეულის პირომეტალურგიული გადამუშავების სხვადასხვა ვარიანტი სქემატურად შედარებულია III. 18' სურათზე.



სურ. III.18'. სპილენძის მადნის ნედლეულის პირომეტალურგიული გადამუშავების სხვადასხვა ვარიანტის სქემატური შედარება. ა. გამოწვა-არეცელოთი დნობა-კონვერტირება; ბ. უწყებობა-შებური დნობა-კონვერტირება; გ. უწყვეტა დნობა-კონვერტირება.

1.1.8. სპილენძის გამოდნობა ნარჩენებიდან

სპილენძის შენადნობის უკარით და ნარჩენები უკერ დასარისხებას ექვემდებარება და მხოლოდ შემდეგ ხდება მათი გადამუშავება აბრეკლ ან ელექტროლუშებში გადადნობით. საჭიროების შემთხვევაში გადნობის შემდეგ შენადნობი რაფინირებას განიცდის, სტანდარტულ ნორმამდე დაიყვანება და ბოყებში ჩამოსხმის შედეგად მიღებული შენადნობის ზოდები მომზადრებულთან იგზავნება.

ბნელად დასაზარისხებელი ნარჩენების (ან სტანდარტული ნორმებიდან შემადგენლობით ძალზე განსხვავებული ნარჩენების) გადამუშავება კი სპილენძის მიღებასა და სხვა ყველა ლითონის თანაურ ამოღებას ითვალისწინებს. ნარჩენებიდან მიღებული სპილენძი მეორადი სპილენძის სახელწოდებით არის ცნობილი.

მეორადი სპილენძის მისაღებად გამოიყენება სხვადასხვა სახის ნედლეული, რომელიც წარმოშობითა და შემადგენლობით ძალზე განსხვავებულია ერთმანეთისგან. ნედლეულის ძირითად სახეობებს წარმოადგენს წიდა, ლუმელის გამონატებები, საყალიბე მიწები და სხვა სახის მასალები, რომლებიც დეკლასირებული კატეგორიის ნარჩენებს განეკუთვნება. დაუხალასებელი სპილენძის მისაღებად გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა სახის სპილენძის შენადნობები (თითბერი, ბიმეტალი და სხვა). დასაყვანის ქვეყნებში სპილენძის 40% მეორადი ნედლეულიდან იწარმოება.

ნარჩენები სისხოს მიხედვით დაზარისხებას ექვემდებარება. წერილმარცვლოვანი ფრაქციის შეცხობა შესაცხობ მანქანებზე ხორციელდება. გასაღნობი მასალის სისხო 100-400 მმ შეადგენს.

ნარჩენების მეორად სპილენძზე დნობის პროცესი, როგორც წესი, შახტურ ლუმელებში ტარდება. დნობის პროცესი კოქსის გამოყენებით (კოქსის რაოდენობა კაზმის წონის 12-17%-ს შეადგენს) მიმდინარეობს. ფლუსის სახით კვარცი და კირქვა იხმარება. დნობის პროცესში ზოგიერთი მინარევის ნაწილი ორთქლდება და აირებში გადაის (მაგ. თუთია და ტყევა). მინარევის ძირითადი ნაწილი კი წიდასა და დნობის შედეგად მიღებულ დაუხალასებელ სპილენძს შორის ნაწილდება. მინარევის დიდი ნაწილი დაუხალასებელი სპილენძიდან კონვერტირების პროცესში განიღვნება. პროცესისთვის საჭირო ტემპერატურა არა მარტო მინარევის დაფანგვის ეგზოთერმული რეაქციის შედეგად ვითარდება, ტემპერატურის შექმნაში კონვერტერში დამატებული კოქსის შედეგად გამოყოფილი სითბოც იღებს მონაწილეობას. კოქსის ზარჯი 1 ტ სპილენძზე 5 კგ შეადგენს.

კონვერტირიდან მიღებული წიდა ცივდება, იმსხვრევა და შახტური დნობის კაზმში ირევა, ხოლო დაუხალასებელი სპილენძი რაფინირების ეტაპზე გადასამუშავებლად იგზავნება.

1.1.9. სპილენძის რაფინირება

დაუხალასებელი სპილენძის საშუალო შემადგენლობა მოყვანილია III.6. ცხრილში.

ცხრილი III.6

პირველადი და მეორადი ნედლეულიდან გამოდნობილი დაუხალასებელი სპილენძის საყარაულო შემადგენლობა, %

დასახელება	Cu	Fe	Ni	S	Zn	As	Sb
პირველადი სპილენძი	98,6-99,3	0,01-0,04	0,005-0,01	0,3-0,5	0,03-0,6	0,01-0,1	0,01-0,1
მეორადი სპილენძი	97,5-98,2	0,05-მდე	0,3-1,0	-	0,5-მდე	-	0,3-მდე

გარდა III.6. ცხრილში ჩამოთვლილი მინარევისა, დაუხალასებელი სპილენძი თითქმის ყოველთვის შეიცავს ბისმუტს, კალას, ტყეიას, სელენს, ტელურს, ხშირად ოქროს, ვერცხლს (ოქროს 100 გ/ტ ოდენობით და ვერცხლს 1000 გ/ტ-ზე), ასევე ვახსნილ აირებს, რომლებიც მცირე შემცველობის დროსაც კი მნიშვნელოვნად მოქმედებს სპილენძის მექანიკურ თვისებებზე (განსაკუთრებით პლასტიკობაზე). კეთილშობილი ლითონების (ოქრო, ვერცხლი) გარდა, ყველა სხვა მინარევი ამცირებს სპილენძის ელექტროგამტარობას.

პრაქტიკაში სპილენძის რაფინირების ორი მეთოდი გამოიყენება - ცეცხლოვანი და ელექტროლიტური.

სპილენძის ცეცხლოვანი რაფინირების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ზოგიერთ მინარეუს ეანგბადთან უფრო დიდი ნათესაური კავშირი გააჩნია, ვიდრე სპილენძს და ამასთან ერთად მათი ოქსიდები არ იხსნება გამძნარ სპილენძში; მანგანის ზემოქმედებით სპილენძის ნაღობში გახსნილი მინარეუების დაჟანგვა და მათი ოქსიდებად გარდაქმნა ხდება. წარმოქმნილი მინარეუების ოქსიდები, რომლებიც სპილენძთან შედარებით უფრო დაბალი სიმკვრივით გამოირჩევა, სპილენძის ნაღობის ზედაპირზე მოტივტივე ადვილად მოსაცილებელ წიბებს წარმოქმნის. ბისმუტი და კეთილშობილი ლითონები (აგრეთვე სელენისა და ტელურის დიდი ნაწილი) ცეცხლოვანი რაფინირების დროს არ განიდევენება. ადვილად აქროლადი მინარეუები აქროლით განიდევენება.

ელექტროლიტური რაფინირება სპილენძის ელექტროქიმიურ გახსნასა და ერთდროულად ელექტროლიტური აბაზანის კათოდზე მის გამოლექვას ითვალისწინებს. მინარეუები ან არ იხსნება ხსნარში და მყარი ნაწილაკების სახით ილექება აბაზანის ფსკერზე ან ხსნარში გადადის (იხსნება), ვინაიდან მათი განმუხტვის პოტენციალი სპილენძზე დაბალია. ელექტროლიტური რაფინირების მეთოდს მათი სისუფთავის სპილენძის მიღებასა და კეთილშობილი ლითონების თანაურ ამოღებას უზრუნველყოფს. კეთილშობილი ლითონები ზოგიერთ სხვა ძვირფას ლითონთან (სელენი, ტელური და სხვა) ერთად ელექტროლიტური აბაზანის ფსკერზე ნალექის სახით კორცენტრირდება. ელექტროლიტური რაფინირება შედარებით უფრო რთული და ძვირი პროცესია, ვიდრე ცეცხლოვანი რაფინირება, მაგრამ სპილენძის ელექტროლიტით გადამუშავების ხარჯების ანაზღაურებას ელექტროლიტის დროს თანაურად ამოღებული კეთილშობილი ლითონები უზრუნველყოფს.

მაღალი სისუფთავის ლითონებზე თანამედროვე მეთოდებიდან გამოიმდინარე, მსოფლიოში წარმოებული სპილენძის თითქმის მთელი რაოდენობა ელექტროლიტური მეთოდით სუფთავდება. დაუხალასებელი სპილენძიდან მინარეუების ძირითადი მასის წინასწარი განდევნა ცეცხლოვანი რაფინირებით, ელექტროლიტით გასუფთავებული სპილენძის ხარისხს ზრდის და ამასთან ელექტროლიტით გადამუშავების ხარჯები მცირდება. ამიტომ ელექტროლიტურ რაფინირებას ყოველთვის წინ უძღვის სპილენძის ცეცხლოვანი რაფინირების ეტაპი.

ცეცხლოვან რაფინირების დროს უფრო მცირე ზომის საღობი ღუმელები გამოიყენება, ვიდრე სპილენძის ნედლეულის დნობის პროცესში. რაფინირების ღუმელების აბაზანის ტეკადობა 20-400 ტ სპილენძს შეადგენს, მისი სიღრმე 400-900 მმ, სიგრძე 15 მ და სიგანე 5 მ-ია. რაფინირების პროცესი ტარდება 1130-1150°C-ზე, ამიტომ ღუმელის გათბობა მყარი სათბობის გამოყენებით არის შესაძლებელი. მყარი სათბობი შედარებით მცირე ზომის ღუმელების გასათბობად გამოიყენება. დიდი ღუმელები თბება მასუთით, ბუნებრივი აირით ან ფხენილისებრი მყარი სათბობით.

დაუხალასებელი სპილენძის რაფინირება ხშირად ცენტრალიზებული წესით ხორციელდება სპეციალურ რაფინირების ქარხნებში, სადაც დაუხალასებელი სპილენძი ზოდების სახით გადააქვთ. სხვა შემთხვევებში სპილენძის რაფინირება ნედლეულის დნობის ქარხნებში ხორციელდება, სადაც რაფინირების ღუმელში სპილენძი თხევადი სახით იტვირთება. ცეცხლგამძლე ამონაგის დაცვის მიზნით სპილენძის ნაღობის ჩასხმის წინ ღუმელში სპილენძის ჯართი იტვირთება. სათბობი თავისუფალი უნდა იყოს გოგირდისგან ან მცირე რაოდენობით უნდა შეიცავდეს მას, რათა ღუმელის აირების SO₂-მა გოგირდით არ გააჭუჭყიანოს გასასუფთავებელი სპილენძი.

აბაზანა შედგება თუჯის ფილემისგან შემდგარი გარსაცივისგან, რომელიც ბოძებზეა შეყენებული. აბაზანა ამოღებულია კვარცის ან მაგნეზიტის აგურებით, ხოლო ღუმელების კედლები აგებულია მაგნეზიტის ან შამოტის აგურისგან. თალოვანი კამარა აწყობილია დინასის აგურისგან.

სპილენძის ცეცხლოვანი რაფინირება პერიოდული პროცესია. ღუმელში სპილენძის თხევადი სახით ჩატვირთვას დაახლოებით 1 საათი სჭირდება, ხოლო სპილენძის ზოდების ჩატვირთვა და მათი გადნობის პროცესი 9-12 საათი გრძელდება, რაც მთელი ციკლის 50% შეადგენს. ყოველ ციკლში შედის შემდეგი თანამიმდევრულად ჩასატარებელი ოპერაციები: გადნობა (თუ სპილენძი მყარი სახით იტვირთება ღუმელში), მინარეუების დაჟანგვა, ნაღობში გახსნილი აირების განდევნა, სპილენძის გაწვანგვა და ჩამოსხმა.

დაჟანგვის პროცესი და წარმოქმნილი წიბის გადმოღება დაახლოებით 2-4 საათს გრძელდება. ნაღობში პაერის შებერვა (შეკუმშული პაერის წნევა 55-70 კასი შეადგენს) ზემოდან ხდება 10-30 მმ დიამეტრის ფოლადის მილებით, რომლებიც ცეცხლგამძლე წებოვანი ცემენტის ნარევიტ არის დაფარული.

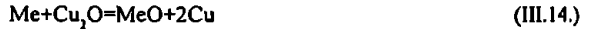
ჰერის შებერვა ნაღობის არევასა და აქაფებას (ბუშტების გამოყოფას) იწვევს, რის გამოც შებერვის ეს პერიოდი ნაღობის „ღელვის“ სახელით არის ცნობილი. ჟანგვის პროცესი ნაღობში წარმოქმნილი ჰერის ბუშტების ზედაპირზე მიმდინარეობს. იფანება აბაზანის ნაღობში შემავალი ყველა კომპონენტი (გარდა კუთლიშობილი და სხვა ზოგიერთი ძვირფასი ლითონისა), რომელთა ოქსიდების დისოციაციის დრეკადობა ჰერში მყოფი ფანგბადის პარციალურ წნევაზე დაბალია (ანუ სპილენძი და ყველა მინარევი).

თითოეული ლითონის ჟანგვის სიჩქარე პროპორციულია მისი კონცენტრაციისა აბაზანაში. ამიტომ ყველაზე დიდი სიჩქარით თვით სპილენძი იფანება:



ჟანგვის პროცესში CuO -ს წარმოქმნა შეუძლებელია, ეინაიდან მისი ორთქლის დრეკადობა ჟანგვის ტემპერატურაზე მაღალია. სპილენძის ქვეყანგი იხსნება გამდნარ სპილენძში და სპილენძის ნაღობის შებერილი ჰერით არევის გამო იგი თანაბრად ნაწილდება აბაზანის მთელ მოცულობაში.

მინარეების დაფანგვა ზორციელდება შემდეგი რეაქციით:



მინარეუთა ოქსიდების ნაღობის ზედაპირზე ამოტივტივებით წიდა წარმოიქმნება. ამ რეაქციის (III.14.) დადებითი თბური ეფექტის გამო (ლე-შატელიეს წესის თანახმად) ტემპერატურის დაწვეისას რეაქციის წონასწორობა მარჯვნივ იხრება. მინარეების განდენის სისრულე ტემპერატურის დაწვეით იხრდება. მაგრამ გასაგები მიზეზების გამო ტემპერატურის დაწვეა სპილენძის გამყარებებზე არ შეიძლება. ჟანგვით რაფინირებას ხელს უწყობს სპილენძის ნაღობის ზედაპირიდან წიდის მოცილება ან ნაღობში ოქსიდების კონცენტრაციის შემცირება (რაც ოქსიდების ნაკლებდისოცირებად კიბიურ ნაერთებში გადაყვანით არის შესაძლებელი). ამით აიხსნება რაფინირების საუკეთესო შედეგები შევა ქველან ლუმელებში, სადაც ლუმელის ამონაგიდან წიდაში გადასული კაემიწა კრავს ოქსიდებს მყარ სოლიატებად.

მინარეების დაფანგვის თანმიმდევრობა ფანგბადთან მათი ნათესაური კავშირის უნარიანობის კლებას უნდა შესაბამებოდეს, ანუ მიმდევრობით უნდა დაიფანგოს: Al, Si, Mn, Zn, Fe, Ni, As, Sb, Pb, Bi. სინამდვილეში კი ყველა მინარევის დაფანგვა ერთდროულად, მაგრამ სხვადასხვა სიჩქარით ხდება. მინარეების დაფანგვის სიჩქარე დამოკიდებულია არა მარტო ფანგბადთან ნათესაური კავშირის სიდიდეზე, არამედ სპილენძში მათი კონცენტრაციის ფარდობებზე, წიდის წარმოქმნის უნარიანობაზე, აქროლობაზე, ჟანგვის რეაქციის სიჩქარეზე და მთელ რივ სხვა ფაქტორებზე.

კუთლშობილი ლითონები, რომლებსაც სპილენძთან შედარებით უფრო დაბალი ნათესაური კავშირი აქვთ ფანგბადთან, ცეცხლოვანი რაფინირების დროს არ განიდევენება და სპილენძში რჩება. ბისმუტი და ნიკელი ძალზე მცირე რაოდენობით განიდევენება.

დაუსაღასებელ სპილენძში გოგირდის მინარევი Cu_2S -ის სახით არის წარმოდეენილი. იგი Cu_2O -სთან ურთიერთქმედებით იფანება, რის შედეგადაც გოგირდი SO_2 -ში გადადის და სპილენძიდან აირის სახით განიდევენება (იხ. რეაქცია II.17.).

სელენისა და ტელურის ნათესაური კავშირი ფანგბადთან გოგირდზე უფრო ნიკებია, ამიტომ ჟანგვით რაფინირების დროს ეს ელემენტებიც არ განიდევენება სპილენძიდან.

მინარეების დაფანგვის ოპერაცია გრძელდება მანამ, სანამ წიდის წარმოქმნა და მისი ლუმელიდან გადმოლება და სპილენძის ნაღობის Cu_2O -ით გაჯერება არ დასრულდება. ოქსიდით გაჯერებული, ანუ ე.წ. „დამჯდარი“ სპილენძის ნაღობის ნიმუშის გაციევისას მისი ზედაპირი იზნიქება (ნიმუში მოცულობაში პატარაედება) და ნიმუშის გამყარებულ ზედაპირზე ადეილად შეინიშნება ჩაზსეტილი ადეილი. გამყარებული ნიმუში ადეილად ტყდება და ტეხილი ზედაპირი მსხვილკერისტალური ატებულებითა და მოწითალო – აგურის შეფერილობით გამიირჩევა. ოქსიდით გაჯერებული („დამჯდარი“) სპილენძი 6-დან 10%-მდე Cu_2O -ს შეიცავს. წიდის გადმოლების შემდეგ ნაღობის დაფანგვისგან დაცვის მიზნით მის ზედაპირზე ზის ნახშირი ან კოქსი იყრება.

რაფინირების მამდევრო ოპერაცია, ანუ ე.წ. სპილენძის „ლიზისი“ შემჭიდროებისთვის ნაღობში გასხნილი აირების განდენას ითვალისწინებს. სპილენძის ლიზინი წიდისგან თავისუფალი ლითონის

აბაზანაში ნელი ხის მორების ჩაშვებით ხორციელდება. მორების ჩაშვებისას ნაღობში წყლის ორთქლის ინტენსიური გამოყოფა იწყება. ორთქლით ნაღობის აქტიური არევა გოგირდის ჟანგის რეაქციის დასრულებასა და SO_2 -ისა და სხვა აირების ნაღობიდან განდევნას უწყობს ხელს. ნაღობში გახსნილი აირების განდევნის შედეგად სპილენძის გააქციება ხდება.

შემდგომი ოპერაცია, იგივე სპილენძის ღიზინი ჭედლობისთვის სპილენძის ნაღობის განჟანგვას (აღდგენას) ითვალისწინებს. ამ ოპერაციის დროს ნაღობში ჩაშვებული ნელი ხის მორები უფრო დლი ხნით ყოვრდება ნაღობში. ნაღობის აქტიური არევის გამო Cu_2O -ს აღდგენა ადვილად ხორციელდება. განჟანგვის პროცესი ხის შშრალი გადადენის პროდუქტების მეშვეობით ხორციელდება, მაგალითად:

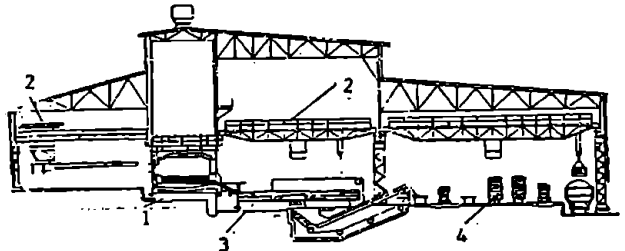


აღდგენის შედეგად სპილენძი ჭედადი ხდება. ამ ოპერაციის შედეგად ჟანგბადის შემცველობა სპილენძის ნაღობში 0,9%-დან („დაბჯდარი“ სპილენძის ნაღობში ჟანგბადის რაოდენობა) 0,1–0,03%-მდე მცირდება.

ზოგიერთ თანამედროვე ქარხანაში ძვირადღირებული ნელი მორების ნაცვლად წარმატებით გამოიყენება აირადი და თხევადი აღმდგენები (არაკონვერსირებული და კონვერსირებული ბუნებრივი აირი, ამიაკი, პროპანი, ბუტანი და მათი ნარევი, დაბალგოგირდიანი მახუთი). სპილენძის ღიზინის ორივე ოპერაცია ერთ ეტაპზე ხორციელდება. ყველა სახის აღმდგენი ერთი და იგივე როლს ასრულებს – სპილენძის ოქსიდს ლითონურ სპილენძამდე აღდგენს. აღმდგენი რეაგენტის შერჩევა დამოკიდებულია მის ღირებულებასა და ხელმისაწვდომობაზე. აღმდგენ რეაგენტებს შორის ყველაზე ეფექტურია ბუნებრივი აირი.

სპილენძის ღიზინის პროცესი სუსტ ჟანგვით ატმოსფეროსა და 1120–1130°C-ის ტემპერატურების ზღვრებში ტარდება. განჟანგვის პროცესის დამთავრება ნაღობიდან აღებული სინჯის ანალიზით დგინდება – ზარისხიანი სხმული სიმკვრივითა და გადატების ადვილზე სექტისებრი სტრუქტურითა და ვარდისფერი შეფერილობით უნდა გამოირჩეოდეს.

რაფინირებული სპილენძი ლუმელოს კედელში განლაგებული ვერტიკალური ხერელიდან გადმოედინება. სპილენძის ჩამოსხმა რაფინირების სააპეროშივე ხდება (სურ. III.19). ჩამოსხმისთვის რიგში ჩაყვებული ბუყები ან კარუსული ტიპის მანქანები გამოიყენება. ჩამოსხმული სპილენძი სხედასხეა ნამზადის ფორმას ღებულობს. მომდევნო ეტაპზე (ელექტროლიტური რაფინირება) გადაამუშავების მიზნით სპილენძი ანოდების სახითაც ჩამოსხმება.



სურ. III.19. სპილენძის ცეცხლოვანი რაფინირების სააპერო. 1. რაფინირების ღუმელი; 2. აშვ; 3. ჩამოსხმული მანქანა; 4. ანოდები.

ჩამოსხმული ანოდი სიმკვრივითა და პოზოგენურობით გამოირჩევა და იგი საკმაოდ მდგრადია ელექტროლიტური გადაამუშავების დროს.

სპილენძის (ანოდური სპილენძის) ელექტროლიტური რაფინირება ელექტროინდუსტრიისთვის საჭირო ზარისხისა და სისუფთაის სპილენძის მიღებასა და კეთილშობილი და სხვა ფერადი ლითონების თანაურ ამოღებას ითვალისწინებს. თანაური ამოღების აუცილებლობა მადნებში კეთილშობილი ლითონების ძალზე დაბალი შემცველობით არის განპირობებული. ასეთი ტიპის მადნების მშოლოდ კეთილშობილი ლითონების ამოღების მიზნით გადაამუშავება პრაქტიკულად გართულებული და ეკონომიკურად წამგებიანია.

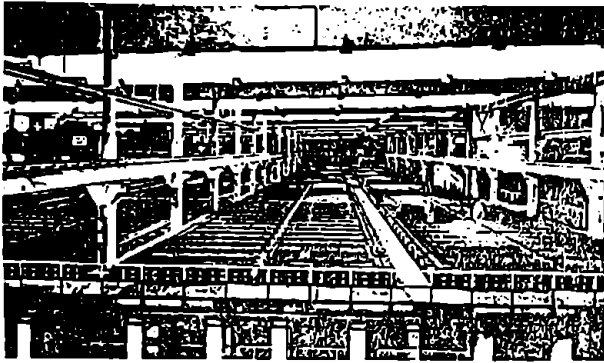
მსოფლიოში წარმოებული ვერცხლის 75% სპილენძისა და ტყვიის მადნიდან არის მიიღებული თანაური პროდუქტის სახით.

ელექტროლიტური რაფინირების დროს ნელეულის სახით გამოიყენება დაუხალასებელი სპილენძი, რომელიც ზოგიერთი მინარეისგან წინასწარ სუფთავდება ცეცხლოვანი რაფინირებით.

ცეცხლოვანი რაფინირების ეტაპზე დაუხალასებელი სპილენძიდან ვანგბადისა და გოგირდის დიდი ნაწილი, ხოლო სხვა მინარევების შერეუ რაოდენობა განიღვენება.

პრაქტიკოდან გამოდინარე, ცეცხლოვანი რაფინირების საამქროში ჩამოსხმული ანოდების ზომა და წონა განსაზღვრულ ფარგლებში იცვლება და შესაბამისად შეადგენს: $70 \times 45 \times 7,6-90 \times 90 \times 3,8$ სმ და $160 - 270$ კგ-ს. ანოდში სპილენძის შემცველობა დაახლოებით $99,4\%$, ხოლო მინარევების რაოდენობა $0,6\%$ შეადგენს.

კათოდის საწყისი ფურცელი, რომელიც ელექტროლიტიდან დასაღები სპილენძის საფენს წარმოადგენს, $1,75$ მმ სისქისაა და დაახლოებით $3,6-6$ კგ-მდე იწონის. კათოდი უფრო ვრცელი ($2-5$ სმ-ით) და განიერია ანოდზე. კათოდური ფურცელი სპეციალურად გაპირალბებულ და გახეთილ ნამზადზე სპილენძის გამოლეკვით მზადდება.



სურ. III.20. სპილენძის ელექტროლიტური რაფინირების საამქრო.

საშუალოდ $8,5-19$ სმ მანძილითაა დაშორებული. მათ შორის (ზუსტად ცენტრში) და აბაზანის ორივე ბოლოში კათოდის ფურცლებია ჩაკიდებული. ელექტროლიტური რაფინირების შედეგად ერთი ანოდისა და ორი კათოდური მასა მიიღება. კათოდის სისქე დაახლოებით $1,25$ სმ-მდე იზრდება და მისი წონა 115 კგ-მდე მატულობს.

აბაზანიდან კათოდების ამოღება მათზე დაღებილი სუფთა სპილენძის მყარი ფენით, 14 დღის შემდეგ ხდება, ხოლო 28 დღის შემდეგ ნარჩენი ანოდები (საწყისი წონის $8-15\%$ რჩება) ამოიღება. ამოღებული ნარჩენი ანოდები ირეცხება და ანოდის სადნობ ღუმელში გადასამუშავებლად იგზავნება.

ელექტროლიტში უხსნადი ნაწილაკები შლამის სახით აბაზანის ფსკერზე გროვდება (ელექტროლიტში გახსნილ ერთი ტონა ანოდისა და დაახლოებით $4-5$ კგ შლამი გამოიყოფა). შლამი დროდადრო ამოიღება აბაზანიდან და სასარგებლო ელემენტების (ოქრო, ვერცხლი, პლატინა, სელენი, ტელური და სხვა) ამოღების მიზნით გადაამუშავდება.

თეორიული გათვლებიდან გამოდინარე, ელექტროლიტი, რომელიც 40 გ/ლ CuSO_4 -ისა და 200 გ/ლ H_2SO_4 -გან შედგება, უნდა მოქმედებდეს მხოლოდ როგორც სარეაქციო არე და მასში სპილენძის კონცენტრაცია თითქმის უცვლელი უნდა რჩებოდეს. პრაქტიკულად კი ელექტროლიტის დროს, როგორც წესი, სპილენძის კონცენტრაცია იზრდება, რამაც შეიძლება ელექტროლიტის პროცესის მოშლა გამოიწვიოს. ამიტომ ჭარბი სპილენძის განდევნის მიზნით, ხსნარი გადასამუშავებლად გადის სპეციალურ ელექტროლიტურ აბაზანებში, სადაც სპილენძის ანოდების ნაცვლად ტყვიის უხსნადი ანოდები გამოიყენება. უხსნადი ანოდების გამოყენების შემთხვევაში ელექტროლიტში დაგროვილი ჭარბი სპილენძი სპილენძის კათოდზე იღებება და ამით ხსნარში სპილენძის კონცენტრაციის სასურველი დონე მყარდება.

ელექტროლიტის დროს აუცილებელია აგრეთვე ხსნარის აქტიური ცირკულაცია (არევა). წინააღმდეგ შემთხვევაში ხსნარის განმრეკებისკენ სწარფვის გამო მისი ფენებად დაყოფის საშიშ-

აბაზანები (ელექტროლიტ-ზიორები), რომლებიც ელექტროლიტურ საამქროშია განლაგებული (სურ. III.20.), ძირითადად, რკინაბეტონისგან მზადდება. კოროზიული ზემოქმედებისგან დაცვის მიზნით აბაზანა ტყვიით, ასფალტით ან პლასტიკატით არის ამოვსებული.

ელექტროლიტის ერთ-ერთ საამქროში თითოეულ აბაზანაში ელექტროდების ჩასაკიდ ჩარჩოზე ჩაკიდებულია 38 ანოდი და 39 კათოდი. აბაზანის სიგრძე 4 , სიგანე 1 და სიღრმე $1,5$ მ-ია. ანოდები ერთმანეთის ცენტრებიდან

რობა შეიქმნება. ხსნარის განსრველებისკენ სწრაფა ანოდისა და კათოდის ახლომდებარე ხსნარის არეებში მიმდინარე მოვლენებიდან გამომდინარეობს – ანოდთან ხსნარში გადასული სპილენძი ანოდის ირგვლივ მდებარე ხსნარს აკრებს სპილენძის სულფატით, რომელიც მაღალი სიმკვრივის გამო ხსნარში იძირება, ხოლო ხსნარიდან კათოდზე სპილენძის გადასული კათოდის ირგვლივ მდებარე ხსნარის გაზავება ხდება გოგირდმჟავით, რომელიც დაბალი სიმკვრივის გამო ზევით ადის. ხსნარის ცირკულაციის გარეშე ამ ორი ფენის სწრაფი განცალკევების პირობები იქმნება, რითაც ელექტროლიზის პროცესი რთულდება და აბაზანის სამუშაო რეჟიმი იზღვება. ხსნარის ცირკულაცია მისი აბაზანაში ქვევიდან შესულია და ზემოდან გადოსვლით ხორციელდება.

დროის განსაზღვრულ ინტერვალებში აბაზანიდან ხსნარის საკმარის რაოდენობა გადმოდერას ექვემდებარება ძირითადი მინარევების – ნიკელისა და დარიშხანის მოცილების მიზნით. დასაშვებ ზღვარზე უფრო მეტი რაოდენობით ამ მინარევების ხსნარში დაგროვება კათოდის გაჭუჭყიანების საშიშროებას ქნის. ხსნარის გასასუფთავებლად გამოიყენება ელექტროლიტური აბაზანა, რომელშიც თანმიმდევრულად ჩართულია სამი ტყეის ანოდი და სპილენძის კათოდები. ელექტროდების პირველი წყვილი კარგი ხარისხის სპილენძს იძლევა, მეორე წყვილში უფრო დაბალი ხარისხის სპილენძი მიიღება და ამიტომ იგი ანოდების სადნობ ღუმელში გადასამუშავებლად იგზავნება. მესამე წყვილის კათოდზე დარიშხანის მდიდარი, ძალზე დაბალი ხარისხის სპილენძის ნალექი წარმოიქმნება. დარიშხანიანი სპილენძის ნალექი სპილენძის საწყისი წიაღისეული ნედლეულის დნობის ღუმელში გადამუშავდება.

სპილენძისგან თავისუფალი ელექტროლიტური ხსნარი, რომელიც ძირითადად ნიკელის სულფატსა და გოგირდმჟავას შეიცავს, ტყეისგან დამზადებულ საორთქლებელში მუშავდება (ხურდება 6–7 საათის განმავლობაში) მანამ, სანამ შეეავს კონცენტრაცია ხსნარში 1000 გ/ლ-მდე არ გაიზარდება. ხსნარის გაციკების შედეგად ნიკელის უწყლო სულფატი გამოილეკება, რომელიც ფილტრაციით ცალკედება ელექტროლიტისგან. რეგენერირებული და გასუფთავებული მჟავახსნარი ელექტროლიზის სამუშაოში ბრუნდება.

სპილენძის ელექტროლიზით რაფინირების დროს, ვოლტერის „მულტიპლის“ ელექტრომერთების სისტემა გამოიყენება.

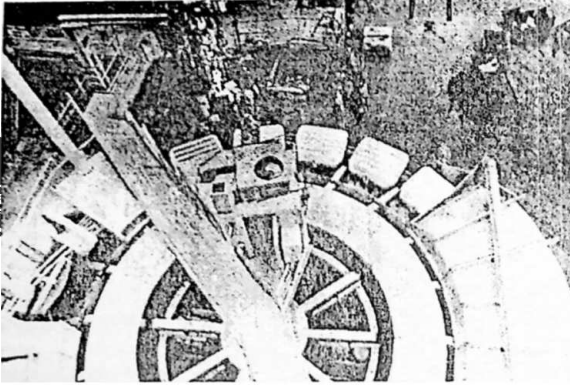
ანოდების ერთმანეთთან ახლო განლაგებით აბაზანაზე ძაბვა მინიმუმამდე დაყვანილი და იგი საშუალოდ 0,25 ვოლტს შეადგენს. გამოსავალი, დენის მიხედვით (ლითონის გამოსავლიანობა) 90% აჭარბებს, ხოლო კათოდის ზედაპირზე დენის სიმჭიდროვე 200–250 ამპ/მ² ზღვრებშია. ორვალენტიათი სპილენძის შემთხვევაში, ფარადების კანონის თანახმად, დენის მიხედვით 100%-ანი გამოსავლიანობის პირობებში 1 ამპ-სთ 1,186 გ სპილენძს გამოლეკავს.

ელექტროლიზის არევა მისი უწყვეტი ცირკულაციით ხორციელდება. ელექტროლიტური ხსნარი ჯერ ორთქლით სახურებელ კოდებში 60°C-მდე თბება, ხოლო შემდეგ შემკრებ კოდებში გადაიტუმბება. შემკრები კოდებიდან ხსნარი თვითდინებით (9–18 ლ/წთ სიჩქარით) ცალკეულ ელექტროლიტურ აბაზანაში ჩაედინება.

ცირკულაციის განხორციელების მიზნით, ელექტროლიტი აბაზანის ზევიდან გადმოდის, ხოლო დანაკლისის შევსება აბაზანის ძირიდან ხდება. აბაზანის ძირიდან ზევითკენ ამავალი ელექტროლიტის ნაკადი ელექტროლიტში ჩამავალი ანოდის უხსნადი კომპონენტების ნაწილაკების თავისუფალ სვლაზე ზეგავლენას ვერ ახდენს და ისინი შლამის სახით აბაზანის ფსკერზე გროვდება.

ელექტროლიზის ეფექტიანობის გაზრდის მიზნით, გარდა იმისა, რომ ელექტროლიტი ხურდება, მას მცირე რაოდენობით წებო და მარილი ემატება. წებოს დამატებით (4,5 გ ერთ ტონა გამოლეკილ სპილენძზე) კათოდზე დალეკილი სპილენძის ხარისხი უზრუნველდება, ხოლო მარილის საკმარისი რაოდენობით (მარილის დამატების შედეგად ქლორიდის კონცენტრაცია ხსნარში 0,012–0,03 გ/ლ ტოლი ხდება) დამატება ხსნარიდან გამოლეკავს ვერცხლს, ბისმუტს ან ანთიმონს, რომლებიც მინარევების სახით შეიძლება იმყოფებოდეს ხსნარში.

ელექტროლიტური რაფინირების შედეგად მიღებული კათოდური სპილენძი (კათოდები) საგულდაგულოდ ირეცხება და მხოლოდ ამის შემდეგ პირდაპირ მიწოდება მომხმარებელს (სხვადასხვა შენადნობების დამზადების მიზნით) ან ღუმელში (ამრეკლ ღუმელში ან ელექტროღუმელში)



სურ. III.21. სპილენძის მავთულის ძელაკების ჩამოსხმა.

ერთ ტონა კათოდურ სპილენძზე 200-300 კეტ-სთ შეადგენს.

დნება და სხედასხვა ნაშადის სახით ჩამოსხმება (სურ. III.21-ზე ნაჩვენებია სპილენძის მავთულის ძელაკების ჩამოსხმა).

ზოგჯერ კათოდური სპილენძის განთავსების მიზნით (განთავსებული კათოდური სპილენძი გამოირჩევა სირბილით, პლასტიკურობით და გაზრდილი ელექტროგამტარობით) სპილენძის დნობის და ჩამოსხმის პროცესები გენერატორის აირის ატმოსფეროში ტარდება. ელექტროლიტური რაფინირების შედეგად 99,98%-იანი სისუფთავის სპილენძი მიიღება. თანამედროვე ქარხნებში გამოსავალი, დენის მიხედვით 98% აღწევს. ელექტროენერჯის ხარჯი

1.2. სპილენძის ნედლეულის ვადამუშავება პილრომეტალურგაყვადი ხერხით

სპილენძის თანამედროვე მეტალურგიაში პილრომეტალურგია მნიშვნელოვან როლს არ თამაშობს. პილრომეტალურგის განვითარებას ხელს უშლის ის გარემოება, რომ ამ ხერხით მადნის გადაამუშავების დროს ნედლეულიდან სპილენძთან ერთად კეთილშობილი ლითონების თანაური ამოღება შეუძლებელია. ამ ძვირფას ლითონებს კი, თანამედვე ელემენტების სახით ხშირად შეიცავს სპილენძის მადანი. გარდა ამისა, სპილენძის მადნების ფლოტაციური გამდიდრების საქმეში მიღწეულმა წარმატებებმა მნიშვნელოვნად შეაღწიროვა პილრომეტალურგის გამოყენების სფერო. პილრომეტალურგის გამოყენება ყველაზე სარგებლიანია იქ, სადაც კაერის მინიმალური ტემპერატურა 0°C აღემატება და სადაც შესაძლებელია ღია ცის ქვეშ ან შენობებში, რომლებიც არ თბება, ნედლეულის ხსანრებით გამოტუტვა ექვემდებარება. ამიტომაცაა, რომ პილრომეტალურგიაში ფართო განვითარება ჰპოვა ამერიკისა და აფრიკის კონტინენტებზე.

სპილენძის ბუნებრივი შენაერთებიდან მხოლოდ მინერალი ქალკანტიტი ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) იხსნება კარგად წყალში. სპილენძის დანარჩენი მინერალები პრაქტიკულად არ იხსნება წყალში.

სპილენძის წყლით გამოტუტვისთვის საჭიროა სპილენძის სულფატში ან ამონიუმის კომპლექსურ მარილში გადაყვანა. ქიმიური რეაქციების განვითარებისთვის გამოტუტვის პროცესში წყალში ხსნად რეაგენტები გამოიყენება.

სპილენძის მინერალების სულფატში გადასაყვანად გოგირდმავური გამოტუტვის მეთოდს გამოიყენება. დამხმარე რეაგენტების სახით იხმარება გოგირდმავა და რკინის სულფატი.

ამიაკის მეთოდის გამოყენების დროს სპილენძის მინერალები ამონიუმის კომპლექსურ მარილებში გადაყვანას ექვემდებარება. დამხმარე რეაგენტების სახით ამ შემთხვევაში გამოიყენება ამიაკი და ნახშირმავა ამონიუმი.

სპილენძის გამოტუტვის სისქარე დამოკიდებულია რეაგენტების ღირფუზიის სიჩქარეზე მადნის მარცვლების შიგნით, რაც უფრო მეტად არის დაქუცმაცებული მადანი, მით უფრო ნაკლები დრო სჭირდება სპილენძის გადაყვანას მადნიდან ხსნარში. მადანი, რომელშიც წვრილ-წვრილიადა ჩაწინწკლული მკვრივი სტრუქტურის მქონე მინერალები, უფრო წმინდა დაქუცმაცებას საჭიროებს, ვიდრე ფორიანი და ფხვიერი მადანი. ფორიანი და ფხვიერი მადანი, როგორც წესი, მის მასაში ხსნარის პერკოლაციით (გაჟონებით) გამოიტუტება, ხოლო მინერალებით წვრილ-წვრილად ჩაწინწკლული მადანი, საგულდაგულოდ წმინდა დაქუცმაცების შემდეგ კოდში ხსნარის არევის მეთოდით გამოტუტვას ექვემდებარება. გასათვალისწინებელია, რომ დაქუცმაცება საქმარე ძვირი პროცესია და ამიტომ,

პერკოლაციით გამოტუტეასთან შედარებით, ხსნარის არეული გამოტუტვა გაცილებით უფრო ღირს ბარჯთან არის დაკავშირებული.

სპილენძის ნედლეულის გამოტუტვის შედეგად მიღებული სხვადასხვა სახის სპილენძშემცველი დელახსნარიდან სპილენძის დაღვევა მომდევნო ეტაპზე დაღვევის სხვადასხვა ზერხით ხდება.

1.2.1. სპილენძის ნედლეულის გამოტუტვა

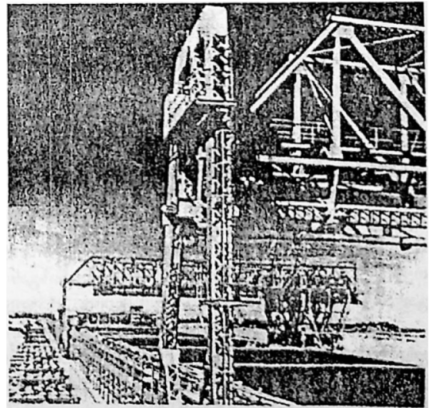
სპილენძის ოქსიდური მადნებისა და კონცენტრატების გამოტუტვის პროცესები ატმოსფერულ წნევაზე ტარდება კოდებში ხსნარის პერკოლაციით, ან ხსნარის არეული, ანდა ნედლეულის შექუჩებული გროვის ღია ცის ქვეშ პერკოლაციით გამოტუტვის მეთოდის გამოყენებით. ზოგიერთი მადნის ქანები როგორც ოქსიდური, ასევე სულფიდური სპილენძის მინერალებს შეიცავს. თუ ასეთი შერეული ტიპის მადანი სპილენძის საერთო შემცველობის მიხედვით მაღალი ხარისხით გამოირჩევა, მაშინ ოქსიდური და სულფიდური მინერალების განცალკევების მიზნით მიზანშეწონილია მისი წინასწარი გაზიდვება. ამ შემთხვევაში გაზიდვების შედეგად სულფიდური მინერალები თავს იყრის მადნისგან გამოყოფილ კონცენტრატში, ხოლო ოქსიდური მინერალები, რომლებიც ნარჩენში რჩება, გამოტუტვით ცალკეედება ფუჭი ქანისგან. არიზონის შტატის (აშშ) ერთ-ერთ ქარხანაში შერეული ტიპის სპილენძის მადნის გაზიდვებით მადნიდან გამოყოფილი სულფიდური კონცენტრატი ფანგვით გამოწვას განიცდის. გამოწვის შედეგად წარმოქმნილი SO_2 -დან მიღებული გოგირდმჟავა კი გამოწვეარი კონცენტრატის (ოქსიდური ნაწილის) გამოსატუტად გამოიყენება.

სპილენძის ოქსიდური მადნის (1,4–2,1%Cu) ღირს მასშტაბებში გადასამუშავებლად ჩილში გამოიყენება კოდში ხსნარის პერკოლაციით გამოტუტვის როგორც პერიოდული, ასევე ხსნარის წინაღობის პრინციპით გამოტუტვის უწყვეტი პროცესები.

გამოტუტვის ორივე პროცესში მოქმედებს პრინციპი, რომლითაც ახალი მადანი სუსტი მჟავით გამოიტუტება, ხოლო ხსნარში ნაწილობრივ დაშვებული (გამოტუტული) მადანი — ძლიერი მჟავით. პერკოლაციის განხორციელება შესაძლებელია როგორც კოდში ხსნარის ზევიდან ჩამვებით, ასევე კოდის ძირიდან ხსნარის შეშვებით. ორივე შემთხვევაში გამოტუტვის პროცესის საერთო ხანგრძლივობა 5–6 დღეს შეადგენს.

გამოტუტვის წინ მადანი ჯერ იმსხვრევა და შემდეგ ქუცმაცდება. დაქუცმაცებული მადნის მარცვლების მაქსიმალური ზომა 9,5–12,5 მმ ფარგლებშია. უფრო წვრილმარცვლოვანი ფრაქცია, რომელიც შერეულია ზომაზე დაქუცმაცებულ მადანში, გარეცხვით უნდა ჩამოცილდეს ძირითად მასას. წინააღმდეგ შემთხვევაში წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკები დიდი ზომის მარცვლებს შორის გაიჭედება და პერკოლაციის პროცესი დაირღვევა.

ყოველ გამოსატუტ კოდში დაახლოებით 7–11 ათას ტონამდე დაქუცმაცებული მადანი იტვირთება. კოდის სიგრძე 45, სიგანე 33,5 და სიღრმე 6 მ-ია. კოდი ბეტონისგან არის დამზადებული და შიგნიდან მტავაზდგრაფი აგურით ან მასტით არის ამოვსებული. კოდებში 7500 ტ მადნის ჩატვირთვას დაახლოებით 15 საათი სჭირდება. ამიტომ გამოტუტვის პროცესში, დროის დაკარგვის თავიდან აცილების მიზნით, ძირითად კოდებში ჩატვირთვისთვისა და გადმოტვირთვის ოპერაციების დროს ტექნოლოგიურ პროცესში ერთდება გამოსატუტ მასალით დატვირთული რამდენიმე დამატებითი (სათადარიგო) კოდი. ყოველი ასეთი ოპერაციის განხორციელებას ერთი დღე უსაჭიროება. ჩილეს ერთ-ერთ ქარხანაში სპილენძის ოქსიდური მადნის გამოტუტვის ოპერაცია ნაჩვენებია III.22. სურათზე.



სურ III.22. სპილენძის ოქსიდური მადნის გამოტუტვის ქარხანა ჩილში.

პერიოდული მოქმედების პერკოლაციის დროს მადანი გამოშვებულ ხსნარში იტირდება (იტბორება) და მასში ყოფნება (სველდება) განსაზღვრული დროის (წინასწარ გათვლილი ხანგრძლივობით) განმავლობაში (8-დან 24 საათამდე). ნელი მადნის საზეურ დასველების შედეგად მიღებულ ხსნარებში სპილენძის შემცველობა შესაბამისად 42, 32 და 22 გ/ლ შეადგენს. ხსნარების ერთმანეთთან შეერვის შედეგად მიღებული ნარევი დალექვის სააპქროში იგზავნება სპილენძის ამოსაღებად, ხოლო ნაწილობრივად გამოტუტული მადანი კიდევ ორჯერ გამოტუტვას ექვემდებარება ძლიერ ხსნარში. შედეგად მიიღება ხსნარები, რომლებშიც სპილენძის შემცველობა 1,9 გ/ლ ტოლია. ამ ხსნარებში საკმაო რაოდენობით რჩება მგაეა და ამიტომ იგი პირველადი და მეორადი გამოტუტვის პროცესებში გამოიყენება. ხსნარებში ხუთჯერ დასველების შემდეგ კოდში ჩარჩენილი მადნის მყარი ნარჩენი რამდენჯერმე წყლით ირეცხება და შემდეგ გადაიყრება, ხოლო ნარევიც ხსნარები, რომლებიც 9-დან 1 გ/ლ-მდე სპილენძის შეიცავს, ერთად იყრება და სპილენძის ამოღების მიზნით დალექვის სააპქროში იგზავნება.

პერიოდული პერკოლაციისგან განსხვავებით, წინააღმდეგ ხსნარებში პერკოლაციის დროს მადანი უბრალოდ კი არ სველდება (იბირება) ხსნარში, არამედ ხსნარი ცირკულაციას განიცდის მადნიან კოდში და ამასთან ერთად იგი ნელი დინებით კოდდან კოდში გადაადგილდება. კოდში ხსნარის ცირკულაციის სიჩქარე დღე-ღამეში 2,5 ტ ხსნარი ერთ ტონა მადანზე, ხოლო ხსნარის კოდთან კოდში გადაადგილების სიჩქარე დღე-ღამეში 0,8 ტ ხსნარია.

ახალი (ძლიერი) მგაეა-ხსნარი დადოქაჩება იმ მადნიან კოდში, რომელშიც მადანმა ექვს დღე-ღამიანი გამოტუტვა უკვე განიცადა. აქედან კი ხსნარი ნელი დინებით ეკლავ ექვსი დღე-ღამის განმავლობაში კოდდან კოდში გადადინება და საბოლოოდ ყოფნება კოდში, რომელშიც ახლად ჩატვირთული მადანი მხოლოდ ერთი დღე-ღამის განმავლობაში იტუტებოდა. ამ კოდის ხსნარი, რომელიც 42 გ/ლ სპილენძს შეიცავს, სპილენძის ამოღების მიზნით დალექვის სააპქროში იგზავნება, ხოლო გამოტუტვის უხსნადი ნარჩენი მრავალჯერადი გარეცხვის შემდეგ გადაიყრება. უხსნადი ნარჩენის ნარევიც წყალი დალექვის სააპქროში იგზავნება ხსნარების გასაზავებლად.

საწყისი ძლიერი მგაეა-ხსნარი, რომელიც გამოტუტვის პროცესში გამოიყენება, 75% გოგირდმგაეას შეიცავს, ხოლო გამოტუტვის შედეგად მიღებულ დედახსნარში, საიდანაც სპილენძის დალექვა (ამოღება) ხდება, გოგირდმგაეას შემცველობა 14% შეადგენს. აგრესიული გოგირდმგაეა-ხსნარების გადენა ტყვის, პლასტიკატის ან ხისგან დამზადებული მილების მეშვეობით ხორციელდება.

პერკოლაციით გამოტუტვის ორივე მეთოდში (პერიოდულში და ხსნარის წინააღმდეგინი ნაკადების მეთოდში) სპილენძის გამოსავლიანობა 90% შეადგენს.

კოდში ხსნარის არევით გამოტუტვა გადასამუშავებელი მადნის სისხოზეა დამოკიდებული. მარცვლოანი (ქვიშისმგაერი) მასალის გამოტუტვა მის უძრავ ფენაში ხსნარის გაყოფით (პერკოლაცია) ხორციელდება. წმინდად დაქუცმაცებული მადნის (წმინდად დაქუცმაცება აუცილებელია, თუ მადანი შემჭიდროებული სტრუქტურისაა და მასში მინერალები წერილ-წერილადაა ჩაწინწყლული) პერკოლაციით გამოტუტვა გამოუსადეგარია, ეინაიდან წერილი ნაწილაკები მჭიდრო ფენებად ედება ერთმანეთს და ხსნარის შეღწევაადობას აძენლებს. ამიტომ მადანი, რომელიც წმინდა დაქუცმაცებას ექვემდებარება, პულაში უნდა გამოიტუტოს (მადნის ნაწილაკები ხსნარის უწყვეტი არევით შეტივტივებულ მდგომარეობაშია შეკავებული).

არევით გამოტუტვა გამოიყენება მაშინაც, როცა მადანი სპილენძის, როგორც ოქსიდურ, ასევე სულფიდურ მინერალებს შეიცავს. ამ შემთხვევაში მადანს სულფიდური მინერალების ნაწილი ფლოტაციური გამდიდრებით გამოყოფა, ხოლო მადნის დანარჩენი ნაწილი, რომელიც სპილენძის ოქსიდური მინერალებისა და ფუჭი ქანისგან შედგება, იმდენად არის დაქუცმაცებული, რომ მისი გადაშუშება ხსნარის პერკოლაციით არაუეფექტური ხდება.

ხსნარის არევით გამოტუტვა გამოიყენება აგრეთვე კარბონატ-შემცველი ოქსიდური მადნების გადასამუშავებლად. კარბონატების ხსნართან ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება აირადი ნახშირბადის დიოქსიდი, რომელიც ძალზე ართულებს როგორც ხეით, ასევე ქვევით მიმართულ პერკოლაციის პროცესს. ამიტომ კარბონატის შემცველი სპილენძის ოქსიდური მადნების გადასამუშავებლად უპირატესობა ხსნარის არევით გამოტუტვის მეთოდს ენიჭება.

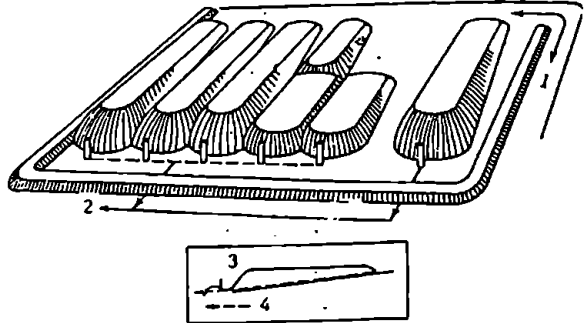
ხსნარის არევით გამოტუტვის პროცესს ტარდება პარეკა კოდებში (სურ. II.2.4.) ან კოდებში, რომლებიც აღჭურვილია მექანიკური (სურ. II.2.2.) ან ერთდროულად მექანიკური და პნემატიკური

(პერის ნაკადის მეშვეობით) შემრევი მოწყობილობებით. ორივე ტიპის კოდი შიგნიდან ამოგებულია კოროზიულად მდგრადი მასალით (ტყვია, აგური, რეზინი, პლასტიკატი). გამოტუტვის პროცესი 4-5 საათი გრძელდება და ამ დროის განმავლობაში 90%-ზე მეტი ლითონი გამოიტუტება. ხსნარში გოგირდმჟავას რაოდენობა 9-11 გ/ლ შეადგენს.

არიზონის ტბატის (აშშ) ერთ-ერთ სპილენძის ქარხანაში არეული გამოტუტვის მეთოდით დღეში 10000 ტ ოქსიდური მადანი (Cu-1%) გადამუშავდება. დაქუცმაცებული მადანი 5 საათის განმავლობაში იტუტება კოდებში, რომელთა დიამეტრი 9, ზოლო სიმაღლე 9,5 მ-ია. კასკადურად განლაგებული კოდები (შიგნიდან რეზინითაა ამოგებული), რომლებიც მექანიკური შემრევი მოწყობილობებით არის აღჭურვილი, წელიწადში 36000 ტ სპილენძის მიღების საშუალებას იძლევა. ერთი ტონა მადნის გამოსასუტად 115 კგ გოგირდმჟავა იხარჯება.

გამოტუტული მადნის პულა სასქელებლებში (სურ. I.10., I.11.) გადადის. სასქელებლიდან ხსნარი (დედახსნარი) სპილენძის ამოღების მიზნით დალექვის სააქროში იგზავნება, შესქელებული პროდუქტი კი ვაკუუმ-ფილტრზე იფილტრება და შედეგად ფილტრატი და კეკი მიიღება. კეკი წყლით გარეცხვის შემდეგ გადაიყრება, ზოლო ფილტრატი და ნარეცხი წყლები დედახსნარს უერთდება.

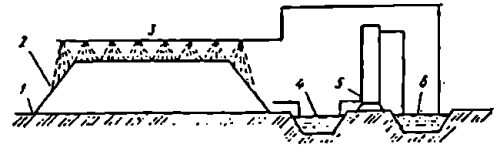
გროვის (შექუჩებული მადნის) გამოტუტვის მეთოდი საკმაოდ დიდ მასშტაბებში გამოიყენება სპილენძის ლარიბი მადნების (0,4-0,5% Cu) გადასამუშავებლად. ამ შემთხვევაში გამოტუტვა მადნის გროვაში ხსნარის პერკოლაციით (გროვას ზევიდან ესხმება ხსნარი) ხორციელდება, მაგალითად, ამ ზერხით არიზონაში (აშშ), სპილენძის ლარიბი მადანი წინასწარ მომზადებულ დაქანებულ მადანზე (ხსნარ-გაუმტარი ზედაპირით) გროვებდა ქუჩდება და გროვები ზევიდან ხსნარის დასხურებით იტუტება (სურ. III.23., III.24.).



სურ. III.23. გამოსატუტი გროვების განლაგების სქემა.
1. მისადგომი გზა; 2. დედახსნარი; 3. ხედა გვერდიდან; 4. ხსნარის ნაკადის მშაროულება ხსნარის საგროვებელი სისტემისკენ.

გროვების შექუჩება აწვე მანქანის საშუალებით ხდება. თითოეულ გროვას ზევიდან მოსასხურებელი მოწყობილობების მეშვეობით ხსნარი ესხურება (სურ. III.24.). მოსასხურებელი მილის ყოველი ხერხულიდან ხსნარი 200 გ/წმ სიჩქარით ესხურება მადნის გროვას.

გროვის გამოტუტვის პირველ ციკლში მადნის გამოსატუტად გამოიყენება ექსტრაქციის პროცესის ბოლო კოდიდან ვადმოსხმული რაფინატი, რომელიც წინასწარ გოგირდმჟავათი გაზავებას განიცდის (20 გ/ლ H₂SO₄) და რომელშიც სპილენძის შემცველობა 2 გ/ლ შეადგენს. პირველ ციკლში გამოტუტვის პროცესის ხანგრძლივობა 60 დღეს შეადგენს. გამოტუტვის მეორე ციკლიც 60 დღე გრძელდება. გამოტუტვის ეს ციკლი პირველი ციკლისგან იმით განსხვავდება, რომ მადანი მხოლოდ რაფინატით იტუტება გოგირდმჟავას დამატების გარეშე (რაფინატში გოგირდმჟავას შემცველობა 5-7 გ/ლ შეადგენს). დედახსნარი, რომელიც 1 გ/ლ სპილენძსა და 3-და 4-მდე გ/ლ H₂SO₄ ში შეადგენს, გამოსხულით ექსტრაქციის სააქროში გადაიტუმბება გადასამუშავებლად.



სურ. III.24. სპილენძის გამოტუტვა მადნის გროვაზე ხსნარის დასხურებით.
1 ხსნარ-გაუმტარი საფენი 2 გროვა; 3 მისასხურებლები; 4. დედახსნარის საგროვებელი; 5. ხსნარიდან ლითონის დასალექი დანადგარი; 6. ვალარიბებული ხსნარის საგროვებელი.

ხმალიდან ხელფიდური მადნებისა და კონცენტრატების გადასამუშავებლად გამოტუტვის ხედასხვა მეთოდები გამოიყენება. მათ შორის უფრო მეტად გავრცელებულია ადგილზე გამოტუტვის, გროვის გამოტუტვის, კოდებში ატმოსფერულ წნევაზე პერკოლაციით და ავტოკლავში ხსნარის არეით (როგორც მაღალ, ასევე ატმოსფერულ წნევებზე) გამოტუტვის მეთოდები. სულფიდების ატმოსფერულ წნევაზე გამოტუტვის დროს აუცილებელი ხდება მათი წინასწარი გადაყვანა სულფატებსა და ოქსიდებში, რომლებიც ადვილად იხსნება გოგირდმჟავა და სამჟავლენტანო რკინის სულფატების წყალხსნარში. სულფიდების პირდაპირი გამოტუტვა ატმოსფერულ წნევაზე შესაძლებელია სამჟავლენტანო რკინის ქლორიდის ხსნარში.

სულფიდური კონცენტრატებიდან სპილენძის გამოტუტვა შესაძლებელია ძლიერი ამონიუმის ხსნარით ავტოკლავში მაღალი წნევის ქვეშ. სპილენძი იმ მცირერიცხოვან ლითონებს განეკუთვნება, რომლებიც ამონიუმის კომპლექსურ იონებს წარმოქმნის და სელექტიურ გამოტუტვას ექვემდებარება. უანგადა-ამაყ ამონიუმის ხსნარში დაბალ წნევაზე (ატმოსფერულ წნევაზე) მისაღობულ წნევაზე) გამოტუტვა, სხვა გამოტუტვის პროცესებთან შედარებით, ახალია სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გადამამუშავებში.

ადგილზე გამოტუტვა ყველაზე იაფი გამოტუტვის მეთოდია და იგი მიწისქვეშ მალარობიდან მადნის ამოღების გარეშე ტარდება. ყველა შემთხვევაში, მადნის ზარისხის მიუხედავად (მდიდარია თუ ღარიბი მადანი), სპილენძის შემცველი ქანი მხოლოდ მაშინ გამოიტუტება, თუ იგი საკმარის ფორიანია და ხსნარი ადვილად შეაღწევს მასში. მალარობი გამოიგრეული და დაშხვრეული მადნის ნაჭრების სიღრმე 10 სმ არ უნდა აღემატებოდეს. მალარობი მადნის საბადოს გარშემო განლაგებული ქანი დიდი სიმკვრივით უნდა გამოირჩეოდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში (თუ ქანი ფორიანი იქნება), ხსნარი გაფონავს მასში და დაიკარგება. თუ სულფიდური მინერალების ზედაპირები რეგულარობით წყლისა და ჰაერის ზემოქმედებას განიცდის, მაშინ სულფიდები ბუნებრივად დაიფანება წყალში ხსნად სპილენძის სულფატებად. სპილენძშემცველი ხსნარები მალაროს ჩაღრმავებული ადგილებიდან ამოიტუტება მიწის ზედაპირზე სპილენძის დალექვის მიზნით. სპილენძის გამოლექვის შემდეგ ხსნარები ისევ მალარობი ბრუნდება და გამოტუტვის ციკლი მეორდება.

სპილენძის სულფიდური მინერალების წყალში ხსნად ფორმში გადასვლას ხელს უწყობს როგორც ბაქტერიალური უანგა, ასევე მადანში შემაველი პირიტის (თუ მადანი შეიცავს პირიტს) მეშვეობით სამჟავლენტანო რკინის სულფატის წარმოქმნა (II.21., II.22., II.23. რეაქციები). სპილენძის მადანი, რომელიც პირიტს არ შეიცავს, გოგირდმჟავა ხსნარში (წყალზე დამატებული გოგირდმჟავას რაოდენობა 5-ჯერ აღემატება ხსნარში გახსნილი სპილენძის რაოდენობას) უნდა გამოიტუტოს. მიწისქვეშ (ადგილზე გამოტუტვა) გამოტუტვის დროს სპილენძის ხსნარში გახსნის სიჩქარე ძალზე დაბალია (1% თვეში), მაგრამ კამბიტალდაბანდებაც დაბალია, რის გამოც 0,5%-ზე ნაკლები სპილენძშემცველი მადნების გადამამუშავებაც კი ეკონომიკური თვალსაზრისით გამართლებულია. გროვა გამოტუტვის (შექმრებული მასის გამოტუტვის) მეთოდი ადგილზე (მიწისქვეშ) გამოტუტვის პროცესის მსგავსად, დამოკიდებულია მადნის ბუნებრივ დაფანგვაზე, რომელიც სულფიდური მინერალების ჰაერთან და წყალთან უწყვეტი კონტაქტის პირობებში შეიძლება განხორციელდეს. როგორც წესი, ამ მეთოდით გამოიტუტება სპილენძის მდიდარი საბადოდან ამოღებული ნარჩენი ღარიბი მადნები, რომლებშიც სპილენძის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია და რომელთა გადამამუშავებაც გამდიდრების მეთოდებით და მომდევნო პრობლემატურ გოგირდი პროცესებით უწყებიათ. გამოტუტვის ოპერაციები იგივე თანმიმდევრობით ტარდება, როგორც სპილენძის ოქსიდური მადნების გროვაგამოტუტვის დროს. შექმრებულ გროვას, რომელიც სპილენძის სულფიდების ბუნებრივი დაფანგვის შედეგად წარმოქმნილ წყალში ხსნადი ოქსიდებისა და სულფიდებისგან შედგება, ზემოდან გოგირდმჟავიანი ხსნარი ესხურება. მადანში ხსნარის პერკოლაციის შედეგად სპილენძის ოქსიდური და სულფიდური ნარჩენები ხსნარში იხსნება. გროვის ძირიდან გამოსული ხსნარი, რომელიც საგუბარში გროვდება, 1,5 გ/ლ სპილენძს შეიცავს. საგუბრიდან დედახსნარი გამოლექვის პროცესზე გადადის. სულფიდური მადნების გროვაგამოტუტვის ეს პროცესი ძალზე ნელია და 10-15 სმ ზომის მქონე მადნების ნაჭრების გამოტუტვას სასურველი გამოსავლიანობით რამდენიმე წელიწადი ესაჭიროება.

კოდში პერკულაციით გამოტუტვის მეთოდი სპილენძის შერეული მადნების (მადანი შეიცავს სპილენძის როგორც სულფიდურ, ასევე ოქსიდურ მინერალებს) გამოსატუტად გამოიყენება. სპილენძის სულფიდური და ოქსიდური მინერალები ერთად იტუტება წყალხსნარში, რომელიც

გოგირდმგავასა და სამჟალენტანი რკინის სულფატს შეიცავს. გოგირდმგავა სპილენძის ოქსიდს ხსნის ხსნარში, ხოლო რკინის სულფატი სპილენძის სულფიდს თანგავს სპილენძის სულფატამდე, რომელიც აგრეთვე ხსნარში იხსნება.

გამოტუტვის პროცესი, სპილენძის ოქსიდური მარცვლოვანი მადნის პერკულაციის მეთოდით გამოტუტვის შესავსებად, ტარდება ტყვიით ამოგებულ ბეტონის დიდ კოდებში (სიგრძე – 55, სიგანე 20 და სიმაღლე 6 მ). თითოეულ კოდში 10000 ტ მადანი 8 დღის განმავლობაში იტუტება. მადნის გამოტუტვის პროცესში გამოიყენება აგრეთვე ხსნარის წინაღობიანი ნაკადებით გამოტუტვის მეთოდი (ძლიერი ხსნარი პირველად რვა დღის გამოტუტულ მადანთან ურთიერთმოქმედებს). დალექვის საამქროში გადასვლამდე დედახსნარი ახალი მადნის გამოსატუტად გამოიყენება.

პერკოლაციის პროცესში ხსნარი კოდის ძირსა და ხის ფილტრს შორის ჩამაგრებული ტყვიის მილის მეშვეობით ქვევიდან ზევით მიედართება. კოდის ზევიდან გადმოსული ხსნარი ჯერ არხში ჩაედინება, ხოლო შემდეგ არხიდან ტუშბოს საშუალებით მომდევნო კოდში გადაიტუმბება. გამოტუტვის პროცესში მადნის მყარი ნარჩენი საში დღის განმავლობაში 10-ჯერ ირეცხება და მხოლოდ ამის შემდეგ გადაიყრება. ნარეცხი წყლები კი სპილენძის ამოღების მიზნით დალექვის საამქროში იგზავნება.

გამოსატუტი მადნის ოქსიდური ნაწილი 0,6% სპილენძს შეიცავს, ხოლო სულფიდური ნაწილი – 0,7% სპილენძს (სპილენძის საერთო შემცველობა მადანში 1,3%-ია). გამოსატუტი მადანი წინასწარ იმსხვრევა (9,5 მმ ზომის მარცვლებად). დამსხვრეული მადნიდან, წერილმარცვლოვანი მასის მოცილების მიზნით, მადანი კოდში ჩატვირთამდე წყლის ნაკადით ირიცხება. განცალკევებული წერილმარცვლოვანი მადანი ცალკე გამოიტუტება კოდებში ხსნარის არევის მეთოდით.

მადნის ოქსიდური მინერალებიდან სპილენძის ამოღება 97% შეადგენს, ხოლო სულფიდური მინერალებიდან – 79%-ს. წყალხსნარში სამჟალენტანი რკინის სულფატის შემცველობა დასაყანგი სულფიდური სპილენძის რაოდენობაზე დამოკიდებული. პრაქტიკიდან გამოძინარე, საშუალოდ, სამჟალენტანი რკინის სულფატის შემცველობა ხსნარში 7,5 გ/ლ ტოლია.

კოდებში პერკოლაციით გამოტუტვის მეთოდი გამოიყენება აგრეთვე სპილენძის შერეული მადნის გამოღობის შედეგად მიღებული ოქსიდური და სულფიდური კონცენტრატების ცალ-ცალკე გამოსატუტად. ამ ხერხით სპილენძის მადნების გადამუშავება დიდ მასშტაბებში ტარდება ზამბიასა და ზაირში. მარტო ზაირში ამ ხერხით წელიწადში 300000 ტ სპილენძი იწარმოება. არიზონის (აშშ) ერთ-ერთ ქარხანაში წელიწადში ოქსიდური კონცენტრატიდან 35000 ტ სპილენძი იწარმოება, ხოლო სულფიდური კონცენტრატიდან – 30000 ტ სპილენძი. სულფიდური კონცენტრატი გამოტუტვის წინ თანვეით გამოწევა განიცდის – გამოწევის შედეგად წარმოქმნილი SO₂ გოგირდმგავას მისაღებად გამოიყენება (გოგირდმგავა კი გამოტუტვის პროცესში გამოიყენება). ნაშევის გამოტუტვის შედეგად დარჩენილი უხსნადი ილიკატური რკინის ღუმელში აღდგენით კი მიიღება ღრუბლისებრი რკინა, რომელიც ხსნარებიდან სპილენძის დაცემენტებით დალექვის პროცესში გამოიყენება.

შაღალა წნევის ქვეშ ავტოკლავში გამოტუტვის მეთოდი, რომელიც, ძირითადად, სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გადამუშავებას ითვალისწინებს, ნიკელის, სპილენძისა და კობალტის სულფიდური ფლოტაციური კონცენტრატის (კოლექტიური კონცენტრატის) გამოსატუტადაც გამოიყენება. ასეთ კონცენტრატში სპილენძი წამყვან კომპონენტს არ წარმოადგენს, მისი შემცველობა კონცენტრატში 2%-ია, ხოლო ნიკელის 10%.

გამოტუტვის პროცესი ორი საფეხურისგან შედგება. ორივე საფეხურზე ოთხგანყოფილებიანი ავტოკლავები გამოიყენება. პირველი საფეხური 85°C-სა და 827 კპას. წნევაზე ტარდება, მეორე კი – 80°C-სა და 896 კპას-ზე. გამოტუტვის საერთო დროის 1/3 პირველ საფეხურზე იხარჯება, ხოლო 2/3 – მეორე საფეხურზე. გამოტუტვის რეაქტია ეგზოთერმულია და ამიტომ ზედმეტი სითბოს არინების მიზნით ავტოკლავში შეყვანილია საციებელი კლანკილები. ავტოკლავები აღჭურვილია პროპელერებით, რომელთა მეშვეობითაც ხსნარი ირევა და მადნის ნაწილაკები შეტივტივებულ მდგომარეობაში ურთიერთქმედებს ხსნართან, რაც გამოტუტვის საუკეთესო პირობების შექმნას უწყობს ხელს. ავტოკლავის მიახლოებითი ზომებია: სიგრძე – 13,5 და დიამეტრი 3,35 მ.

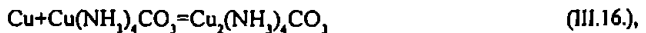
გამოტუტვის პროცესში სულფიდური მინერალები წყალხსნარში გახსნილ თანგაბადთან და ამიაკთან ურთიერთქმედებს, რის შედეგადაც წყალში ხსნადი ამინები წარმოიქმნება. გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარი დალექვის საამქროში იგზავნება.

დაბალ წნევაზე არბიტრის (ანკონდას კომპანია) გამოტუტვის პროცესი სპილენძის სულფიდური კონცენტრატის პულპის გამოტუტვას ითვალისწინებს განგაბად-ამიკ-ამონიუმის სულფატის სისტემის ხსნარში, 70°C-სა და 1 კპას (ატმოსფერული წნევის 1/3 წნევაზე) წნევაზე გამოტუტვის პროცესში სულფიდური სპილენძი ხსნარში გადადის (ხსნარში იხსნება) სპილენძის ამონო-სულფატის (CuNH_4SO_4) სახით, ზოლო პირიტი (FeS_2) არ იხსნება და მყარი მასის სახით რჩება ხსნარში. ასეთი ტიპის ხსნარებთან სპილენძის ამოღება (დალექვა) ორი ზერხით შეიძლება განხორციელდეს. პირველში გამხსნელი ექსტრაქციის გზით მიიღება ჯერ სპილენძით გამამდიდრებელი ხსნარი, შემდეგ კი გამდიდრებული ხსნარიდან ელექტროლიზით ლითონური სპილენძი გამოილექება. ხსნარიდან სპილენძის ამოღების მეორე ზერხი უფრო ახალი და ეფექტურია. იგი გამოირიცხავს ხსნარიდან სპილენძის ამოღების ორეტაპურ პროცესს (ექსტრაქციასა და ელექტროლიზს) და ხსნარიდან სპილენძის პირდაპირ სპილენძის ამონიუმის სულფატის სახით გამოლექვის საშუალებას იძლევა. გამოლექვის პროცესი ხსნარის SO_4 -ით დაბუშვების გზით ხორციელდება და იგი 1/3-ით უფრო ნაკლებ ხარჯებთან არის დაკავშირებული, ვიდრე სპილენძის ხსნარად ამოღების ორსაფეხურიანი პროცესი.

ეურადლებას იმსახურებს სპილენძის რკინიანი სულფიდის – ქალკოპირიტის (CuFeS_2) საშუალებით რკინის ქლორიდით გამოტუტვის სიმეტის (კეიპროსის საბადოების კორპორაცია) პროცესი, რომელიც შედარებით ახალია და რომელშიც სპილენძი ერთვალენტიანი სპილენძის ქლორიდის სახით გადადის (იხსნება) დედახსნარში. სულფიდური კონცენტრატი (50% მინუს 200 მეშის სისხით) საშუალებით რკინის ქლორიდის ხსნარის წინაღობით ნაკლებით იტუტება ატმოსფერულ წნევაზე. ხსნარიდან ერთვალენტიანი სპილენძის ქლორიდის გამოლექვის (ვაკუუმის ან ხსნარის გაცილების მეშვეობით) შედეგად სპილენძის ქლორიდის კრისტალები წარმოიქმნება. კრისტალების წყალბადით აღდგენის პროცესი, რომელიც მდლარე ფენის რეაქტორში ტარდება, გრანულების სახით ლითონური სპილენძის მიღების საშუალებას იძლევა.

თეთონაბადა სპილენძისა და სპილენძის კარბონატული ნედლეულის გადაშუშვება ამიკური გამოტუტვით არის შესაძლებელი. ნედლეულიდან ჯერ თეთონაბადი სპილენძის მარცვლოვანი ფრაქცია გამოიყოფა გრავიტაციული გამდიდრებით, ხოლო შემდეგ დარჩენილი დაქუცმაცებული მასა ორვალენტანი სპილენძის ამონიუმის კარბონატულ ხსნარში გამოტუტვება ქვევით მიმართული პერკოლაციის პერიოდული მოქმედების პროცესის მეშვეობით.

სპილენძის კარბონატის გამოტუტვა ამიკისა და ამონიუმის კარბონატულ (ნახშირმჟავა ამონიუმ) ხსნარში ხორციელდება, ხოლო თეთონაბადი სპილენძის გამოტუტვაში კი, ამიკისა და ამონიუმის კარბონატის გარდა, ხსნარში გახსნილი ფანგბადი მონაწილეობს. თეთონაბადი სპილენძი ჯერ ერთვალენტანი სპილენძის ამონიუმის კარბონატში იხსნება:



ხოლო შემდეგ ორვალენტანი სპილენძის ამონიუმის კარბონატის ფანგბადთან და ამონიუმის კარბონატთან ურთიერთქმედებით ერთვალენტანი სპილენძის ამონიუმის კარბონატი წარმოიქმნება:



გამხსელის როლს ფაქტობრივად ერთვალენტანი სპილენძის ამონიუმის კარბონატი ასრულებს, რომელიც ხსნარში სპილენძის გახსნით ისევ ორვალენტანი სპილენძის ნაერთად აღდგება.

გამოტუტვის პერიოდული პროცესი ტარდება ფოლადის კოვებში, რომელთა დიამეტრი 16,5 მ-ია, ხოლო სიმაღლე 3,5 მ. თითოეული კოდი 1000 ტ მყარ ნედლეულს იტევს. ამიკის ორთქლის შეკავების მიზით კოდეი დახურულია. ნედლეულის 12 საათიანი დასველების შემდეგ დედახსნარი, რომელიც 5% სპილენძის შეიცავს, ამიკის განდენის მიზნით ორთქლით ირეცხება, ხოლო შემდეგ დალექვის საამქროში იგზავნება. სპილენძის ამოღება 80%-ის ფარგლებშია.

ამიკური გამოტუტვის მეთოდი სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გადასამუშავებლად არ გამოდგება (სპილენძის სულფიდები არ ურთიერთქმედებს ამიკთან და ამონიუმის კარბონატთან). გარდა ამისა, ამ მეთოდის ნაკლი კიდევ ისაა, რომ გამოტუტვის პროცესი პერმეტულად დახურულ აპარატებში ტარდება და მისი განხორციელებისთვის ძვირადღირებული რეაგენტების გამოყენება საჭირო. მოუხვდავად ამისა, ამიკური გამოტუტვის მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა

გადასამუშავებელ მანდებში შემავალი ფუჭი ქანები შედგება მაგნიუმისა და კალციუმის კარბონატული მინერალებისგან, რომლებიც გოგირდმჟავას ზემოქმედებით იშლება.

1.2.2. სპილენძის დალექვა ხსნარებიდან

სპილენძის ოქსიდური მანდების გამოტუტვისა და რეცხვის შედეგად მიღებული დედახსნარები ელექტროლიტური და დაცემენტებით დალექვის მეთოდებით გადასამუშავდება. ელექტროლიტური დალექვა სპილენძით მდიდარი დედახსნარების გადასამუშავებლად გამოიყენება, ხოლო დაცემენტებით დალექვა სპილენძით ღარიბი დედახსნარებისა და გამოტუტვის უსხნადი ნარჩენების ნარევი ხსნარების გადასამუშავებას ითვალისწინებს.

სპილენძით მდიდარი დედახსნარები ელექტროლიზით გადასამუშავებლად ზოგჯერ გასუფთავების სტადიას გადის. ხსნარის გასუფთავებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მაშინ, როცა საწყისი გამოსატუტი ნედლეული შეიცავს მკაფიო ხსნად რკინას, რომელიც გამოტუტვის პროცესში ხსნარში გადადის და გამოტუტვის ციკლის დამთავრების შემდეგაც ხსნარში რჩება. დედახსნარში გახსნილი რკინა საგრძნობლად მოქმედებს ელექტროლიზის პროცესის მანძილზე. მაგალითად, თუ დედახსნარში რკინის კონცენტრაცია 4 გ/ლ აჭარბებს, მაშინ გამოსავალი, დენის მიხედვით, მკეთრად მცირდება და 80%-ზე ნაკლები ხდება. ხსნარში რკინის კონცენტრაციის შემცირებით კი გამოსავალი, დენის მიხედვით იზრდება და იგი 90%-ზე მეტი ხდება, როცა ხსნარში რკინის კონცენტრაცია 1 - 1 $\frac{1}{2}$ გ/ლ-მდე მცირდება. დედახსნარში რკინის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 1,2 გ/ლ-ს. ხსნარში გახსნილი რკინა, ძირითადად, ორვალენტური რკინის სახით არის წარმოდგენილი. თუ ორვალენტური რკინა დაიჟანგება სამვალენტური რკინამდე, მაშინ რკინა ხსნარიდან გამოილექება სამვალენტური რკინის ჰიდროოქსიდის სახით. რკინის სამვალენტური ფორმაში გადასაყვანად ხსნარს მანგანუმის დიოქსიდი ემატება და ამასთან ერთად, ხსნარის მკაფიანობის ნაწილობრივი განეიტრალების მიზნით, ხსნარში სპილენძის ჰიდროოქსიდის დანამატების (გაუილტურის შედეგად მიღებული კუკი) შეტანით pH-ის მაჩვენებელი 2,2-მდე იზრდება, რასაც რკინის გამოლექვის პროცესი მოჰყვება. ხსნარისგან რკინის ჰიდროოქსიდის ნალექის განცალკევება სასქელებელი კოდების მეშვეობით ხორციელდება.

სპილენძის ერთ-ერთი ჰიდრომეტალურგიული ქარხნის ტექნოლოგიური სქემის მიხედვით, გასუფთავებული ხსნარი, რომელიც 30-50 გ/ლ სპილენძს შეიცავს, სასქელებელ კოდებში იწირება და შემდეგ იფლტრება. გაფილტრული და გაკამკამებული ხსნარი ტყეით ამოგებულ კოდებში გროვდება. კოდებიდან ხსნარი ტყეის ან პლასტიკატის მიღების მეშვეობით ელექტროლიტური დარექვის საამქროში გადაიტუმბება. ელექტროლიტური საამქროს ყოველი განყოფილება ელექტროლიზორების (ელექტროლიტური აბაზანები) 24 სექციისგან შედგება. თითოეულ სექციაში ექვსი ელექტროლიზორია განლაგებული. ყოველ აბაზანაში ჩაყიდებულია 41 ანოდი და 40 კათოდი, რომლებიც მულტიპლის სისტემითაა შეერთებული. აბაზანის სიგრძე დაახლოებით 4,6, სიგანე 1,5, ხოლო სიღრმე 1,25 მ-ია. მუდმივი დენის სიმჭირდევით კათოდის 13 $\frac{1}{2}$ -ზე 160 ამპ. შეადგენს. ელექტროწერდის სისტემაში აბაზანები და სექციები ერთმანეთს თანამდევრობითაა ჩართული.

ელექტროლიზური აბაზანა რკინატეონისგან არის დამზადებული. აბაზანა შიგნიდან ამოვსებულია ტყეის ფურცლებით, ასფალტის მასტიკით ან შუმანრევი პოლიესტერით. ხსნარის გადასაქაჩი მილები პოლიეთილენისგან არის დამზადებული (დიამეტრი დაახლოებით 10-12 სმ ტოლია).

საწყისი კათოდის ფურცელი ოთხკუთხედი ფორმისაა (0,9x0,9 მ), მისი სისქე 5,5-6 მმ-ია, ხოლო წონა 5-5,5 კგ შეადგენს. ტყეისგან დამზადებული ანოდი 130-დან 230 კგ-მდე იწონის და ზომით კათოდის ტოლია. კათოდის ჩამოსაკიდებელი ღეროს ერთი ბოლო აბაზანის ელექტრომანზეა ჩამოკიდებული, ხოლო მეორე ბოლო - რეზინის იზოლატორზე. ტყეისგან ჩამოსხმულ ანოდებს, რომელთა წონა 136-დან 230 კგ-მდეა, ზედა გვერდებზე აბაზანაში ჩასაკიდებელი კაუჭები გააჩნია (კაუჭები ელექტროკონტაქტის როლსაც ასრულებს).

სპილენძის დალექვა ხორციელდება ელექტროლიტის ხსნარიდან, რომელიც გაკამკამებული დედახსნარისა და კონცენტრირებული გოგირდმჟავას (დედახსნარს ემატება კონცენტრირებული გოგირდმჟავა) ნარევისგან შეადგება. ელექტროლიტი 45-დან 55 გ/ლ გოგირდმჟავასა და 30-დან 45 გ/ლ-მდე სპილენძს შეიცავს.

ელექტროლიტის მაღალი შეყვანობა დაბალ ძაბვაზე ელექტროლიტის ჩატარების საშუალებას იძლევა.

კათოდის შემოხების ციკლი 6 დღე გრძელდება, რის შემდეგაც კათოდი მასზე დალექილი სპილენძით აბაზანიდან ამოიღება და იგი კათოდის ახალი ფურცლით იცვლება. ვინაიდან, ხსნარიდან ელექტროლიტური დალექვის დროს ინერტული ანოდები (ტყვიის ანოდები) გამოიყენება (ანოდი მხოლოდ დენის გადატანაში იღებს მონაწილეობას), მათი შეცვლა ელექტროლიტის დროს არ ხდება. ელექტროლიტის შედეგად მიღებულ კათოდურ სპილენძში სპილენძის შემცველობა 99,96%-ს შეადგენს. კათოდური სპილენძი დნობას განიცდის და ნაღობიდან ჩამოსისხმება შესაბამისი ფორმის ნაშხადი, რომელიც მომხმარებელს მიეწოდება. საწყის ელექტროლიტში შემავალი სპილენძის (30–50 გ/ლ) მხოლოდ ნახევარი გამოილეკება კათოდზე. გოგირდმჟავათი გამდიდრებული დარჩენილი ხსნარი (ხსნარიდან სპილენძის გამოლეკვის შედეგად გოგირდმჟავას კონცენტრაცია დარჩენილ ხსნარში იზრდება 35 გ/ლ-მდე) კი გამოიტუტვის საამქროში ბრუნდება და როგორც ახალი გამოხსნელი, ისე გამოიყენება. ელექტროლიტის სპილენძით გაღარიბება და გოგირდმჟავათი გამდიდრება შემდეგი რეაქციების მეშვეობით ხორციელდება:



სპილენძით ღარიბი დედახსნარების გადამუშავება მრავალი წლის განმავლობაში მხოლოდ დაკუმენტებით დალექვის მეთოდით ხორციელდებოდა. ამჟამად ხშირად გამოიყენება სპილენძით ღარიბი ხსნარების (Cu – 2 გ/ლ) გადამუშავების ორსაფეხურიანი, ალტერნატიული მეთოდი, რომელიც პირველ საფეხურზე ხსნარის სპილენძით გამდიდრებას გამხსნელით ექსტრაქციის პროცესით ითვალისწინებს, ხოლო მეორე საფეხურზე გამდიდრებული ხსნარიდან (Cu – 40–45 გ/ლ) სპილენძის გამოლეკვა ელექტროლიტური ხერხით ხორციელდება.

დაკუმენტება იათი პროცესსა და მისი გამოყენება ეკონომიკური თვალსაზრისით გამართლებულია სპილენძით ღარიბი (0,5–2,5 გ/ლ) დედახსნარებისა და უხსნადი ნარჩენების ნარეცხი წყლების გადამუშავებლად. გაზეხული ხსნარებიდან სპილენძის დაკუმენტებისთვის, როგორც წესი, გამოიყენება რკინის ჯართი, რომელზედაც დალექვის პროცესის ძირითადი დანახარჯი მოდის. მძიმე ჯართი ნაკლებად ეფექტურია ზედაპირის სიმციროს გამო და ამის გარდა მასში ხშირად ნახშირბადის შემცველობა მაღალია. ბოლო დროს დიდ მასშტაბებში გამოიყენება ღრუბლისებრი რკინა და ჩერჩილი ღრუბლისებრი რკინა.

ორივე მასალის (რკინის ჯართისა და ღრუბლისებრი რკინის) ხარჯი მათში შემავალი ლითონური რკინის რაოდენობაზე დამოკიდებულია.

სხვადასხვა ქარხანაში სხვადასხვა რაოდენობის ჯართი იხარჯება. ჯართის ხარჯი დიდად არის დამოკიდებული სამეალენტანი რკინის შემცველობაზე დედახსნარში. დაკუმენტების პროცესში სპილენძის გამოლეკვის დაწყებამდე სამეალენტანი რკინა მთლიანად ორეალენტანი რკინამდე უნდა აღდგეს და თავისუფალი გოგირდმჟავას უმეტესი ნაწილი უნდა დაიხარჯოს. დაკუმენტების პროცესში ერთდროულად ეითარდება შემდეგი რეაქციები:



მიმდინარე რეაქციებიდან მხოლოდ სპილენძის დაკუმენტების რეაქციაა (III.20.) სასურველი, დანარჩენი ორი (III.21., III.22.) კი რკინის კარგვას იწვევს, რის გამოც თეორიული გათვლებით დადგენილი ფარდობა, რომლის მიხედვითაც 1 კგ სპილენძი 0,890 კგ რკინით უნდა ჩაინაცლოს, პრაქტიკაში მნიშვნელოვნად იცვლება. ყველაზე კარგი ქარხნული მაჩვენებლის მიხედვით 1 კგ სპილენძის გამოსაღებად 2 კგ რკინის ჯართი იხარჯება.

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ პიროტინი (Fe₂S₃) სამეალენტანი რკინის ძალზე ეფექტური აღმდგენელია. ხსნარში ჩამუშავებული ნაჭროვანი პიროტინი რამდენიმე საათში აღადგენს სამეალენტან რკინას ორეალენტან რკინამდე:



(III.23.)

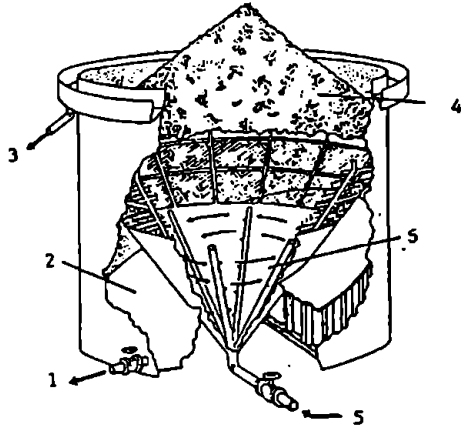
დაცემენტების პროცესში ჰიროტინის გამოყენება რკინის ხარჯის 35%-ით შემცირების საშუალებას იძლევა. დაცემენტებული სპილენძის ხარისში დამოკიდებულია რკინის ჯართის სისუფთავეზე. გაბნებურებული და დაეანგული რკინის ჯართი მნიშვნელოვნად აუარესებს დაცემენტებული სპილენძის ხარისხს. დაცემენტებული სპილენძის შემდგომი გადამუშავების პროცესის შერჩევა მის ხარისხზეა დამოკიდებული. ზედმეტად გაბნებურებული დაცემენტებული სპილენძი ამრეკლ ღუმელებში ან კონვერტერში გადამამუშავებლად იგზავნება, ხოლო მაღალი ხარისხის დაცემენტებული სპილენძი ელექტროლიზით რაფინირების მიზნით სადნობ ღუმელში დნება და ანოდების სახით ჩაშლისხმება.

სპილენძის დაცემენტების პროცესის ჩასატარებლად ამჟამად გამოიყენება როგორც ტყელი, ასევე ახალი ტიპის დანადგარები (კოდი ბრტყელი ძირით, კოდი კონუსური ძირით და სხვა). მათში მიმდინარე პროცესები პრინციპულად არ განსხვავდება ერთმანეთისგან.

კოდი კონუსური ძირით (სურ. III.25.) ევლანზე გვიანდელია და დიდი ეფექტურობით გამოირჩევა. მასში ხსნარიდან გამოლექილი სპილენძის სისუფთავე 90-95%-ით განისაზღვრება. სხვა ტიპის დანადგარებთან შედარებით კონუსურიძირიან კოდში ყოველ 1 კგ გამოლექილ სპილენძზე გაცილებით ნაკლები რკინის ჯართი იხარჯება. ავტომატიზებული კონტროლის სისტემითა და მასალის მექანიკური ჩატვირთვის მოწყობლობით აღჭურვილი კოდი 0,4-დან 4 კლ-მდე სპილენძის შემცველობის ხსნარებიდან სპილენძის 99%-ით ანოდების საშუალებას იძლევა. რკინის ჯართით დაცემენტების პროცესში სპილენძის ანოდება 99%-ს შეადგენს.

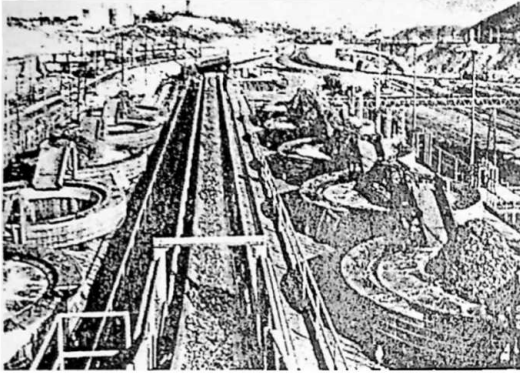
რკინის ჯართის ხარჯის შემცირება და დაცემენტებული სპილენძის გამოსავლიანობის ზრდა პროცესში მიმდინარე სამი მნიშვნელოვანი რეაქციის (III.20., III.21., III.22.) განვითარებასთან არის დაკავშირებული. ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ იმ შემთხვევაში, თუ გამოყენებული რკინის ჯართის ზედაპირის ფართობი დიდია, პირველი რეაქცია (III.20.) დიდ სიჩქარეს აეთარებს და დანარჩენ ორ რეაქციასთან (III.21., III.22. რეაქციებით რკინის ჯართის დიდი რაოდენობა იხარჯება) შედარებით უფრო ადრე მთავრდება.

კონუსოტის სპილენძის კორპორაციის ერთ-ერთ ქარხანაში გამოიყენება დაცემენტებით დასალექი დანადგარი, რომელიც შედგება 4,3 მ დიამეტრის მქონე მაღალი (7,3 მ) ხის კოდისგან. მის ძირში ჩაყენებულია უფანგავი ფოლადისგან დამზადებული კონუსი (კონუსის სიმაღლე 3,35 მ შეადგენს). კონუსის თავზე განლაგებულია 1,45 მ სიმაღლის კონუსური ბადე (ბადის ზერელების დიამეტრი 2,5 სმ ტოლია), რომელიც თავისი ზედა ბოლოთი ხის კოდს ეხებინება (სურ. III.25.). დაცემენტების პროცესი კონუსის გასუფთავებული რკინის ჯართით შევსებისა და კონუსის ძირიდან დედახსნარის შეტუმბვის შემდეგ იწყება. რკინის ჯართის ზედაპირზე გამოლექილი (დაცემენტებული) სპილენძი დიდი სიჩქარით შემაგალი ხსნარის მბრუნავი ნაკადით ჩამოირეცხება და ნაკადითვე კონუსის თავზე მოთავსებული ბადისკენ აიტაცება. ბადიდან სპილენძი ზერელების გაელით ხის კოდის ფსკერზე ვარდება და იქ გროვდება. ხის კოდის ფსკერზე დაგროვილი სპილენძი დროდადრო გადმოტვირთება. კოდის გადსაშვებიდან გადმოსხმული სპილენძით ნაწილობრივ გალარბებული ხსნარი მეორე სალექ დანადგარში შეიტუმბება და დაცემენტების პროცესი მეორედება. მეორე დანადგარიდან გადმონასხამი ნამუშევარი ხსნარი დამოტვირთის პროცესში გამოყენების მიზნით გამოტუტვის ხამქროში იგზავნება. სპილენძის ქარხანაში განლაგებული კონუსური ტიპის დაცემენტებით სალექი



სურ. III.25. სპილენძის დაცემენტების (სალექი) კოდი კონუსური ძირით.

1. სპილენძის ვადმოსატვირთი; 2. სპილენძის დაქრეტის და დაგროვების ზონა; 3. ვადარბებული ხსნარა; 4. რკინის ჯართი; 5. სპილენძშემცველი დედახსნარა და დინამიკური მოქმედების ზონა.

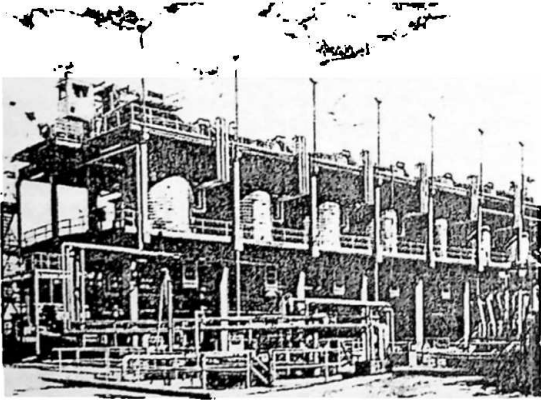


სურ. III.26. კონუსური ტიპის სპილენძის საღებეი დანადგარების ხედი ზევიდან.

ცირკულაციისთვის აბაზანაში ჩაყენებულია ბადე, რომელიც აკავებს რკინის ჯართს და მას აბაზანის ფსკერზე ჩასვლის საშუალებას არ აძლევს. ჯართზე დაცემენტებული სპილენძის მოსაცილებლად აბაზანა მუშა მდგომარეობიდან გამოიყენება და მილიდან (შლანგიდან) დიდი წნევით გამოშვებული წყლის ნაკადით სპილენძი ჯართიდან ჩამორეცხება. ჩამორეცხილი სპილენძი ბადის გავლით წყლის ნაკადთან ერთად აბაზანის ფსკერზე ჩაედინება და იქიდან სარქველის მეშვეობით საღებე კოლში ან ვაკუუმ-ფილტრში გადადის. კოლში დაწრეტილი სპილენძი დროვამოშვებით გადმოიტვირთება და სადნობ ქარხანაში იგზავნება. დაცემენტებით მიღებულ პროდუქტში სპილენძის შემცველობა 83%-მდე აღწევს.

დაცემენტების პროცესის ციკლში სპილენძით ყველაზე მდიდარი ხსნარი პირველ ორ აბაზანას მიეწოდება, სადაც ხსნარიდან სპილენძის მთელი რაოდენობის 60% გამოილეკება. აბაზანების მომდევნო წვეილში სპილენძის მთელი რაოდენობიდან 20%-ის დაცემენტება ხდება, ხოლო დარჩენილი სპილენძი დანარჩენ აბაზანებში ილეკება. ყველაზე აქტიურ აბაზანებში ჩამორეცხვისა და ჯართის დამატების ოპერაციები უფრო ხშირად ტარდება.

დაცემენტების პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება აგრეთვე დანადგარი, რომლის ძირითად



სურ. III.27. კონუსური ტიპის სპილენძის საღებეი დანადგარების ხედი, გვერდგანაძი.

დანადგარების ხელები ნარჩენებია III.26. და III.27. სურათებზე.

კონუსური ტიპის დანადგარი წუთში 11250 ლ ხსნარის გადაამუშავების საშუალებას იძლევა.

ზოგიერთ ქარხანაში დაცემენტების პროცესი ტარდება ტერასულად განლაგებულ მარტივი ტიპის აბაზანებში ან კოლდებში (მწკრივებში ჩაყენებულია 6-დან 10-მდე აბაზანა ან კოლი) ისე, რომ ხსნარი ერთი აბაზანიდან თვითიძინებით გადადის მეორეში, მეორე აბაზანიდან – მესამეში და ასე შემდეგ.

აბაზანა შეავადამძლე ხის მასალისგან ან ბეტონისგან მზადდება. მისი სიგრძე დაახლოებით – 3,7, სიგანე – 2,5 და სიღრმე – 1,5 მ-ია. ხსნარების უკეთესი

დაწილს ღარი (ღარი ძველ დროშიც გამოიყენებოდა სხვადასხვა ხსნარების გადასამუშავებლად) წარმოადგენს.

თანამედროვე პრაქტიკაში გამოიყენება ბრტყელძირიანი ღარი, რომელიც ხის მასალისგან ან ბეტონისგან მზადდება. მისი სიგანე და სიმაღლე 80x80 სმ-ია, ხოლო სიგრძე 490 მ აღწევს. ჯართის შესაკავებლად გამოიყენება ხის მასალისგან დამზადებული ბადე (6,5 მ-იანი ზერელებით), რომელიც ღარის ფსკერიდან 50 სმ დაცილებით არის ჩაკიდებული ღარში. ღარში თვითიძინებით მოძრავე დღე-ხსნარის ნაკადის ჯართთან ურთიერთქმედების შედეგად ხსნარიდან 98% სპილენძი გამოილეკება. დროვამოშვებით ღარი თავისუფლდება ხსნარისგან

(ღარი იცლება) და ჯართზე დაეკუმბებული სპილენძი წყლის ნაკადით ჩამორეცხება. ჩამორეცხილი სპილენძი ღარის ბოლოში გროვდება და წყლისგან იწრიტება. დაწრებული სპილენძი ღარიდან გადმოიტვირთება და სადნობ ქარხანაში იგზავნება. სპილენძამოცილი ხსნარი კი გამოტუტვის სააქქოში გადაიტუმება.

დაეკუმბების ალტერნატიული ზნაში, რომელიც სპილენძის ღარიდან ღვასხნარის გადამუშავების ითვალისწინებს, გამხსნელით ექსტრაქციისა და ელექტროლიზის პროცესები გამოიყენება. გამხსნელით ექსტრაქცია, რომელიც ზოგჯერ თხევად იონმომოცელობის სახელწოდებით არის ცნობილი, სითხეების იონმომოცელობის ემყარება. ღარიდან ღვასხნარების გადამუშავების ეს ზერხი პროცესული სპილენძის მისაღებად პირველად 1968 წელს 9 ქარხანაში იქნა გამოყენებული და უკვე 1977 წლისთვის ამ ზერხით წარმოებული მაღალი სისუფთავის სპილენძის ოდენობა წელიწადში 20000 ტ-ზე მეტს შეადგენდა აქედან 90000 ტ სპილენძი ზაჰისის ერთ-ერთ ქარხანაში იქნა გამოშვებული, 36000 ტ კი ჩილეში. ამჟამად გამხსნელით ექსტრაქციის ზერხი გამოიყენება ჰერუში, ზარში, უროსში, იასონაში და აშშ-ში.

ამერიკის შეერთებული შტატების სპილენძის ქარხნებში (არიზონისა და მონტანის შტატებში) გამხსნელით ექსტრაქციისა და ელექტროლიზის პროცესების ჩასატარებლად, ძირითადად, ერთმანეთის ანალოგიური ოპერაციები გამოიყენება. გამხსნელით ექსტრაქციის პროცესი ურანის ღვასხნარების გადამუშავების პროცესის (იხ. თავი 13.) მსგავსად ზორცილებდა. როგორც წესი, ღვასხნარებიდან ლითონის ამოღების თხევად-თხევადი იონური მიმოცელობის მეთოდი მინიმალურ კაპიტალდაზარებას ითხოვს. გამხსნელით ექსტრაქციის პროცესის ოპტიმატიზაციის მიზნით კოდში სპილენძის ნედლეულის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ღვასხნარის pH-ის მარჯვენელი 1,5-დან 2,5-მდე რეგულირდება ხსნარზე ლამის (ნედლეულის დაქუცმაცებით მიღებული ლამი) დამატებით. ხსნარის დაწრებისა და გაეკამების შემდეგ იგი საექსტრაქციო სააქქოში გადაიტუმება, სადაც ხსნარის სეკტისგან შემდგარი დანადგარის ერთ-ერთი სეკტის ზონაში ხდება და ურთიერთმოქმედებს წყალში შეურევე სელექტიურ ორგანულ გამხსნელთან ($14\%LiX$ -liquid ion exchange 64N და 86% ნავთის ნარევი). დანადგარში სითხეები წინაღობიანი ნაკადების პრინციპით მოძრაობს. შერევის ზონაში სითხეების ერთმანეთთან შეხებისას სპილენძი წყალხსნარიდან ორგანულ გამხსნელში გადადის.

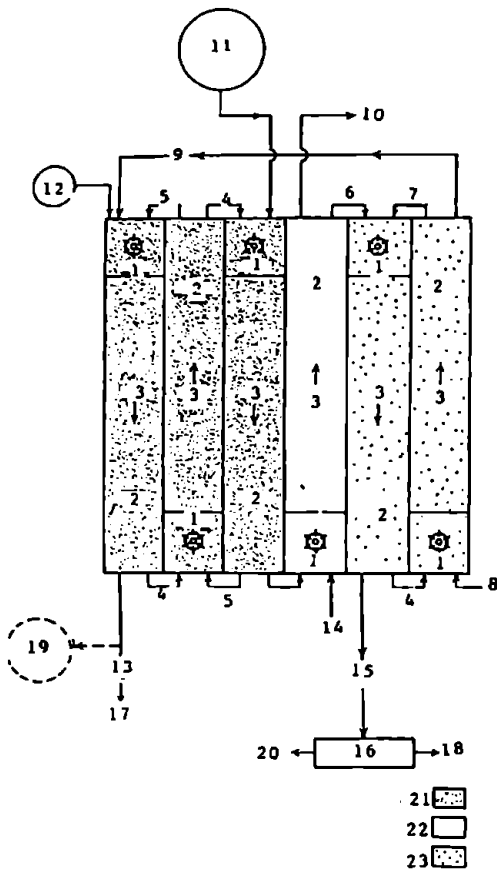
ორგანული გამხსნელის წყალთან შეურეველობა უზრუნველყოფს ორი ფაზის (წყალხსნარისა და ორგანული გამხსნელის) განცალკევებას. ორგანული გამხსნელი, რომელშიც კონცენტრირდება სპილენძი, წყალხსნარისგან განსხვავებით, გაიცილებით ნაკლები მოცულობისაა.

პროცესის პირველ საფეხურზე ექსტრაქციის შედეგად მიღება სპილენძით კონცენტრირებული ორგანული გამხსნელი და სპილენძამოცილი წყალხსნარი, ანუ ე.წ. „რაფინატი“.

მეორე საფეხურზე ორგანულ გამხსნელში კონცენტრირებული სპილენძის „გამოყენის“ (ამოღების), ანუ რექსტრაქციის პროცესი ტარდება. გამოყენის პროცესი სპილენძმუშეკელი ორგანული გამხსნელისა და ნამუშევარი (სუსტი) ელექტროლიტის წყალხსნარის ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს. რექსტრაქციის შედეგად სპილენძი ორგანული გამხსნელთან ელექტროლიტის წყალხსნარში გადადის. სპილენძისგან თავისუფალი ორგანული გამხსნელი (ექსტრაქტორი) ექსტრაქციის პირველ საფეხურზე ხელმოკრედ გამოიყენება; სპილენძით კონცენტრირებული ელექტროლიტი, რომელიც სპილენძის შემცველობით საეხებით აკმაყოფილებს ელექტროლიტური დაღვევის პროცესის მოთხოვნებს, ელექტროლიზის სააქქოში მიემართება გადასამუშავებლად.

არიზონის (აშშ) ერთ-ერთი ქარხნის საექსტრაქციო სააქქოს გადასამუშავებლად მიეწოდება სპილენძის მადნების გროვამოტუტვის შედეგად მიღებული ღვასხნარი. საექსტრაქციო დანადგარი (სურ. III.28.) თანმიმდევრულად განლაგებული სეკტებისგან შედგება. სამი სეკტი ექსტრაქციის პირველი საფეხურის (ექსტრაქციის) ჩასატარებლად და განკუთვნილი, ხოლო ორ სეკტში ექსტრაქციის მეორე საფეხური — რექსტრაქციის პროცესი ტარდება. საექსტრაქციო დანადგარში (სეკტებში) ხსნარების მოძრაობა წინაღობიანი პრინციპით ზორციელდება.

არიზონის მეორე, უფრო დიდ ქარხანაში (ანგუაქსი) ორ ნაკადად გაყოფილი (ნაკადების სიჩქარე შეადგენს 3500 გ/წთ) ღვასხნარი მიეწოდება პარალელურად მდგარ, ორ საექსტრაქციო დანადგარს. დანადგარის ოთხ სეკტში ექსტრაქციის პროცესი ტარდება, ხოლო ორ სეკტში —



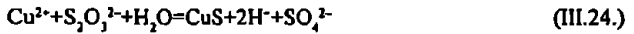
სურ. III.20. სპილენძის ელსტრაქცია გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარიდან.

1. შემრევი ზონა; 2. საწვლოში ზონა; 3. ნაყადის მამართლელება; 4. ორგანული გამბხსნელი; 5. წყალხსნარო; 6. ორგანული გამბხსნელი კონცენტრირებული სპილენძით (ელსტრაქცია); 7. ნაპუსეფარი (სუსტი) ელექტროლიტო; 8. სუსტი ელექტროლიტის დანამატო; 9. სპილენძ-ფაბოკლილო ორგანული გამბხსნელი; 10. ნარეცხი ხსნარის ნარსენი; 11. გამოტუტვის შედეგად მიღებული სპილენძის დედახსნარო; 12. ორგანული გამბხსნელის შუქრები; 13. რაფინატი; 14. სარეცხა ხსნარის დანამატო; 15. სპილენძით კონცენტრირებული ელექტროლიტო; 16. ელექტროლიტის სააქრო; 17. რევესტრაციის შემდეგ გამოტუტვის სააქროში; 18. კათოდური სპილენძო; 19. ორგანული ნაერთის განშეანგევი კოდი; 20. ელექტროლიტო რევესტრაციო; 21. ელსტრაქციის პროცესი (პირველი საფეხური); 22. ვარეცხვის პროცესი; 23. რევესტრაციის პროცესი (ელსტრაქციის მეორე საფეხური).

გამოყენების პროცესი. საელსტრაქციო სააქროში მიწოდებულ დედახსნარში სპილენძის შემცველობა 2 გ/ლ შეადგენს, ხოლო სააქროდან გამოსულ ელექტროლიტურ წყალხსნარში კონცენტრირებული სპილენძი 50 გ/ლ-ის ტოლია. ელსტრაქციის პროცესში მიღებული რაფინატი (სპილენძ-ფაბოკლილო დედახსნარო) 20 გ/ლ გოგირდმფაეასა და 0,08 გ/ლ ნარჩენ სპილენძს შეიცავს. რაფინატი გოგირდმფაეათი გამდიდრებისა და მასზე წყლის დამატების შემდეგ გამოტუტვის პროცესებში გამოიყენება, ხოლო სპილენძით კონცენტრირებული ელექტროლიტური ხსნარიდან სპილენძი ელექტროლიტში გამოილეკება; ნაპუსეფარი (სუსტი) ელექტროლიტი კი გოგირდმფაეათი მდიდრდება (130 გ/ლ-მდე) და ელსტრაქციის მეორე საფეხურს, რევესტრაციას უბრუნდება.

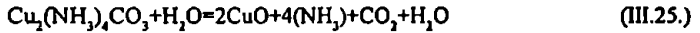
სპალენძის სულფიდური მადნების გამოტუტვით მიღებული დედახსნარების გადაამუშავების დროს, უმრავლეს შემთხვევაში, სპილენძის გამოლეკვა ხორციელდება ზუსტად ისეთივე პროცესებით, რომლებიც სპალენძის ოქსიდური მადნების გამოტუტვით მიღებული დედახსნარების გადაამუშავებლად გამოიყენება. მსგავსი გამოლეკვის პროცესების გამოყენება განპირობებულია იმით, რომ ატმოსფერულ წნევაზე გამოსატუტი სულფიდური მადანი წინასწარ უანგვით გამოწვას ექვემდებარება. უანგვითი გამოწვის პროდუქტები - ხსნადი სულფატები და ოქსიდები ადილად იხსნება ხსნარში და ოქსიდური მადნების გამოტუტვით მიღებული დედახსნარის მსგავს ხსნარებს წარმოქმნის. მდიდარი დედახსნარები აქვ ელექტროლიტით გადაამუშავდება, ხოლო ღარიბი ხსნარების გადაამუშავებლად დაცემენტებით დალეკვის მეთოდი გამოიყენება.

გამონაკლისს მხოლოდ ნიკელის, სპილენძის და კობალტის სულფიდების ფლოტაციური კონცენტრატის ამოკის ხსნარში მაღალ წნევაზე გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარების გადაამუშავება წარმოადგენს. ხსნარებში სპილენძისა და ამონიუმის სულფატის შემცველობა შესაბამისად 7 გ/ლ და 150 გ/ლ შეადგენს. სპილენძის გამოლეკვის მიზნით ხსნარი 120°C-მდე ხურდება. ვახურებით ხსნარიდან ამოკი ორთქილდება და ხსნარში გოგირდის იონები რჩება. გოგირდისა და სპილენძის იონების შეერთების შედეგად ხსნარიდან სპილენძის სულფიდი გამოილეკება.



დალექვის პროცესი ტარდება დახურული ტიპის გამოსადედ ქვაბში, რომელიც შებრევი მოწყობილობით არის აღჭურვილი. ხსნარი მასში შეშებული ორთქლის საშუალებით ხურდება. მთელი პროცესის განმავლობაში ხსნარი ირევა და გამოლექილი სუფიდი შეტვივრებულ მდგომარეობაში კავდება. პროცესის დამთავრების შემდეგ გამოლექილი სუფიდი იფილტრება და სპილენძის სადნობ ქარხანაში იგზავნება.

თეთნაბადი სპილენძისა და სპილენძის კარბონატული მადნის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარის გადასამუშავებლად კლინდრული ფორმის ფოლადის კასრი (კონუსური ბოლოთი) გამოიყენება. კასრში მოთავსებული ხსნარი ლუღლის ტემპერატურაზე მეტად ხურდება. გახურების პროცესში სპილენძის ამონიუმი იშლება და ხსნარი ამიაკისგან თავისუფლდება. პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ ამიაკის შემცველობა ხსნარში 0,01%-მდე არ შემცირდება. ხსნარიდან სპილენძი შავი ფერის ოქსიდის სახით გამოილექება:



გამოლექილი სპილენძის ოქსიდი იფილტრება და შრობის შემდეგ მოშმარებულს მიეწოდება. მადნიდან სპილენძის ამოღება 80% შეადგენს.

1.2.3. სპილენძის რაფინირება

სპილენძის ოქსიდური მადნების გამოტუტვით მიღებული ღვინახსნარებიდან ორი სხვადასხვა ნალექი მიიღება — კათოდური სპილენძი და დაკემენტებული სპილენძი. კათოდური სპილენძი მდიდარი ღვინახსნარებიდან ელექტროლიზით გამოილექება, ხოლო დაკემენტებული სპილენძი დაკემენტებით, ანუ ხსნარში სპილენძის იონების რკინით ჩანაცვლების შედეგად გამოილექება. ამ ნალექების რაფინირებისთვის (გასუფთავებისთვის) სხვადასხვა ხერხი გამოიყენება. კათოდური სპილენძის სისუფთავე საკმაოდ მაღალია და მისი შემდგომი რაფინირება მარტივი ხერხით შეიძლება განხორციელდეს. დაკემენტებული სპილენძი კი შეიძლება შედარებით სუფთა იყოს, ან ზედმეტად გაბინძურებული რკინის ჟანგით, ან სხვა მინარევებით, რომლებიც ხსნარიდან დაკემენტებულ სპილენძზე გადადის. დაკემენტებული სპილენძის ხარისხიდან გამომდინარე, იგი შემდგომი გადამუშავების ამა თუ იმ ეტაპზე იგზავნება. ზედმეტად გაბინძურებული სპილენძი ნელელულის სადნობ ლუმელებში გადამუშავდება, ხოლო შედარებით სუფთა დაკემენტებული სპილენძი ანოდების სადნობ ლუმელებში დანამატის სახით გამოიყენება.

მდიდარი ღვინახსნარებიდან ელექტროლიზით გამოლექილი კათოდური სპილენძი 99,96% სპილენძს შეიცავს. იგი მცირე რაოდენობით ზოგჯერ პირდაპირ მოშმარებულს მიეწოდება. კათოდური სპილენძის ძირითადი ნაწილი კი ღეროების, ზოდებისა და ბრტყელი ნაშადის სახით ჩამოისხმება. ხშირად ხარისხის გაუმჯობესების და ჟანგბადის 0,03%-მდე შემცირების მიზნით კათოდური სპილენძი უმნიშვნელო გადამუშავებას განიცდის ცეცხლოვანი რაფინირების ლუმელში. ლუმელში გარეცხილ კათოდურ სპილენძთან ერთად სხვადასხვა სპილენძის ჯართი იტვირთება. ჩატვირთული მასის (დნობის პროცესი 8–10 საათი გრძელდება) ნაღობში ჩაშვებული ფოლადის მილებიდან ჰერის შებერვით სპილენძის ნაღობის „ღელვის“ პერიოდი იწყება. ჰერის შებერვა გრძელდება მანამ, სანამ ნაღობში ჟანგბადის შემცველობა 0,9%-ს არ გაუტოლდება. ნაღობის ზედაპირზე წარმოქმნილი, მინარევების ოქსიდური ნაერთებისგან შემდგარი მოტიუტივე მასის გადმოღების შემდეგ ნაღობის შემდგომი დაჯანგვის აცილების მიზნით მის ზედაპირზე ნახშირი მოფრქვევა.

სპილენძის ღიზინის პროცესი ნაღობში ნელი ხის მორების ჩაშვებით იწყება და იგი 2 საათი გრძელდება. სპილენძის ღიზინის პროცესის შედეგად ჟანგბადის შემცველობა სპილენძში 0,03%-მდე მცირდება.

დაკემენტებული სპილენძის სისუფთავის ხარისხი დაკემენტების პროცესში გამოყენებული რკინის ჯართის სისუფთავეზეა დამოკიდებული. გაბინძურებული და დაჯანგული ჯართის გამოყენების დროს დაბალი ხარისხის სპილენძი მიიღება. სხვადასხვა ქარხანაში დაკემენტებით გამოლექილ

პროდუქტებში სპილენძის შემცველობა 50-დან 95%-მდე იცვლება. დაცემენტებული სპილენძის შემდგომი გადამუშავება მისი სისუფთავის ხარისხით განისაზღვრება.

მაღალი და საშუალო ხარისხის დაცემენტებული სპილენძი შესაბამისად ანოდების სადნობ ღუმელსა და კონვერტერში დანამატების სახით გამოიყენება, ხოლო დაბალი ხარისხის დაცემენტებული სპილენძი ნედლეულის დნობის ღუმელში გადამუშავდება.

წინასწარ გამოშვარი სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გამოტუტვით მიღებული დეფლუიზაციური იდენტურია ხსნარებისა, რომლებიც სპილენძის ოქსიდური ნედლეულის გადამუშავების დროს მიიღება. ამიტომ ამ დეფლუიზაციური გამოლეკილი პროდუქტებიც ზემოთ აღწერილი რაფინირების მეთოდებით გადამუშავდება – კათოდური სპილენძი დნება, ცეცხლოვანი რაფინირებით სუფთავდება და კომერციული ნაშაღების სახით ჩამოისხმება, ხოლო დაცემენტებული სპილენძი სისუფთავის ხარისხის მიხედვით ამ თუ იმ მეთოდით გადამუშავდება.

ამიაკის ხსნარიდან (რომელიც სპილენძის გარდა ნიკელსა და კობალტს შეიცავს) გამოლეკილი სპილენძის სულფიდური ნედლეულის დნობის ღუმელში ან კონვერტერში ბრუნდება გადასამუშავებლად. დიდი რაოდენობის დაბალი ხარისხის მასალა დნობის ღუმელში გადამუშავდება, ხოლო მაღალი ხარისხის მცირე რაოდენობის მასალა – კონვერტერში.

თეთნაბადი სპილენძისა და სპილენძის კარბონატული ნედლეულის გამოტუტვით მიღებული ამიაკის ხსნარიდან შავი ფერის სპილენძის ოქსიდი (CuO) გამოილეკება. სპილენძის ოქსიდი შრობის შემდეგ პირდაპირ მომხმარებელს მიეწოდება ან ლითონური სპილენძის მიღების მიზნით სადნობ ღუმელში ნახშირბადით აღდგენას ექვემდებარება.

თავი 2. ნიკელის მმტალურბია

ნიკელი, ძირითადად, სპეციალური ფოლადების წარმოებაში გამოიყენება. სუფთა სახით ნიკელი რკინისა და სხვა ლითონების კოროზიულსაწინააღმდეგო და დეკორატიულ საფარებად იზმარება (მონიკლება). ლითონური ნიკელის ნაწილი ელექტროტექნიკასა და ქიმიურ მრეწველობაში (კატალიზატორებად) გამოიყენება.

ბუნებაში ნიკელი, ძირითადად, სულფიდების, სილიკატებისა და არსენიდების სახით არის გავრცელებული. ლითონის მიღების ძირითად წყაროს სულფიდური მადნები წარმოადგენს. მცირე რაოდენობის ნიკელი მიიღება აგრეთვე დარიშხანშემცველი მადნებიდან.

სულფიდურ მადნებში ნიკელი მინერალ პენტლანდიტის, ანუ რკინისა და ნიკელის სულფიდების იზომორფული ნარევის (Ni,Fe)S სახით არის წარმოდგენილი.

სულფიდურ მადნებში ნიკელს, როგორც წესი, თან სდევს სპილენძი (ძირითადად მინერალ ქალკობრიტის სახით), კობალტი და პლატინის ჯგუფის ლითონები (პლატინა, ოსმიუმი, ირიდიუმი, როდიუმი, რუთენიუმი და პალადიუმი). სულფიდურ მადნებში ნიკელის შემცველობა, 0,3–5,5% შეადგენს. სპილენძის მაღალი შემცველობის გამო (სპილენძის შემცველობა ხშირ შემთხვევაში 2,5% აღწევს) ასეთი ტიპის მადნები სპილენძ-ნიკელის სულფიდური მადნების სახელწოდებით არის ცნობილი.

სპილენძ-ნიკელის მადნების ფუჭ ქანში შედის პიროტინი, რკინის სილიკატები, ალუმინი და მანგანუმი.

სპილენძის მადნების მსგავსად სპილენძ-ნიკელის მადნებიც მთლიან კოლჩედანურ და ჩაწინწკლულ მადნებად იყოფა.

სპილენძ-ნიკელის მადნების გამდიდრება კოლექტიური და სელექტიური ფლოტაციით ხორციელდება. პირველ შემთხვევაში სპილენძ-ნიკელის კონცენტრატი მიიღება, ხოლო მეორე შემთხვევაში ორი კონცენტრატი – სპილენძისა და ნიკელის კონცენტრატი.

მინერალების მჭიდროდ ურთიერთშეზრდის გამო ფლოტაცია სპილენძისა და ნიკელის სასურველი გაყოფის საშუალებას არ იძლევა. იმ დროს, როდესაც სელექტიური ფლოტაციით მიღებული სპილენძის კონცენტრატი ნიკელისგან საკმაოდ სუფთაა, ნიკელის კონცენტრატი თითქმის ყოველთვის გაჭუჭყიანებულია სპილენძით. ეიანაიდან გადამუშავების დროს ნიკელის სპილენძისგან განცალკევება

მანც გარდაუვალია, პრაქტიკაში სპილენძ-ნიკელის კოლექტიური კონცენტრატების მიღება უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე სპილენძისა და ნიკელის სელექტიური კონცენტრატებისა, რომელთა მისაღებად ფლოტაციური გამდიდრების უფრო რთული პროცესი გამოიყენება.

ნიკელის ოქსიდურ მადნებში ნიკელი წარმოდგენილია ნიკელისა და მაგნიუმის ჰიდრატირებული სილიკატების იზომორფული ნარეის სახით. ნარეი ($n\text{NiSiO}_3 \cdot m\text{MgSiO}_3$) ცნობილია, როგორც მინერალები – გარნიერიტი და რედინსკიტი. სპილენძი ძალზე მკირე რაოდენობით არის ზოგჯერ წარმოდგენილი ამ ტიპის მადნებში. კობალტი აქვს თან სღვე ნიკელს და მისი ოქსიდები მაგნიუმის მინერალებთან არის ასოცირებული. ოქსიდურ მადნებში ნიკელის შემცველობა 1–7%-ია, ხოლო კობალტის 0,15%.

ოქსიდური მადნების ფუჭი ქანი რკინის ჰიდრატირებული ოქსიდების, ალუმოსილიკატების, კვარცისა და ტალკისგან შედგება ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

ნიკელის ოქსიდური მადნების რენტგენული გამდიდრების მეთოდები არ არის დამუშავებული და ამიტომ მადანი უშუალოდ მეტალურგიულ გადამამუშავებას ექვემდებარება.

ნიკელის მადნების საყარაულო შემადგენლობა მოყვანილია III.7. ცხრილში.

სპილენძ-ნიკელის სულფიდური მადნების მეტალურგია სპილენძის პრომეტალურგიისგან დიდად არ განსხვავდება. მადნები, რომლებშიც სპილენძისა და ნიკელის ჯამური შემცველობა 4–5% აღემატება, მდიდარ მადნებს განეკუთვნება; ასეთი მადანი გამდიდრების გარეშე უშუალოდ დნობას ექვემდებარება. ღარიბი მადნები ხელით გადარჩევის, მაგნიტური სეპარაციის ან, უფრო ხშირად, სელექტიური ან კოლექტიური ფლოტაციის მეთოდებით მდიდრდება.

ცხრილი III.7.

ნიკელის მადნების საყარაულო შემადგენლობა

მადნის სახეობა	შემადგენლობა, %							
	Ni	Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
სულფიდური	2,5	1,1	34	21,0	22	1,9	6	2,0
სულფიდური	5,6	1,8	45	28,0	10	7,0	4	9,0
სულფიდური	0,5	0,8	52	28,0	2	–	–	25,0
ოქსიდური	1,6	არ არის	12	0,1	34	1,5	–	5,1
ოქსიდური	7,6	არ არის	14	კვალი	42	0,1	1	27,0

მადნის ან კონცენტრატის 400–600°C-ზე გახურების დროს, ჯერ კიდევ დნობის დაწყებამდე, ქალკობრატი (CuFeS_2) და ნიკელშემცველი სულფიდები იშლება. დაშლის შედეგად მინერალების რთული ნარევი დნობამდე გარდაიქმნება მარტივი სულფიდების (Cu_2S , Ni_3S_2 , FeS) ნარევედ. წილის დნობისთვის საჭირო ტემპერატურაზე სპილენძის, ნიკელისა და რკინის სულფიდები ერთმანეთში განუსაზღვრელად იხსნება. მათი ერთმანეთში გახსნით წარმოიქმნება სპილენძ-ნიკელის შტეინი, რომელიც წილისგან უფრო მძიმე თხევადი ფენის სახით ცალკედება. დნობის დროს კობალტი, ისევე როგორც ნიკელი, შტეინში კონცენტრირდება. თუ დნობის დროს გოგირდის ნაწილი წინასწარი გამოწვით დაიყვანა და განიღვენა, მაშინ შტეინსა და წიდას შორის სპილენძის, ნიკელის და რკინის განაწილება ამ ლითონების უნაგბადთან და გოგირდთან ნათესაურ კავშირზე იქნება დამოკიდებული.

დნობის მომდევნო ეტაპზე თხევადი შტეინის კონვერტირება ტარდება. კონვერტირების დროს შტეინში ჩარჩენილი რკინა იყვანება და კვარცის დამატებით გადადის წიდაში, რომელიც ნულეულის დნობის ღუმელში ბრუნდება გადასამუშავებლად. კონვერტირების დროს კობალტი რკინასთან ერთად წიდაში გადადის პროცესის ბოლოს. ამიტომ პროცესის ბოლოს წარმოქმნილი წიდა ცალკე გროვდება და კობალტის ამოღების მიზნით გადამამუშავდება. კონვერტირების პროცესი პირველი სტადიით მთავრდება და საბოლოო პროდუქტის სახით მიიღება თეთრი შტეინი, ანუ სპილენძისა და ნიკელის სულფიდების ნარევი, რომელიც კონვერტირების შტეინის სახელწოდებით არის ცნობილი. სპილენძისა და ნიკელის განცალკევების მიზნით კონვერტირების შტეინი მომდევნო ეტაპზე სატეალური მეთოდით გადამამუშავდება.

პლატინის ჯგუფის ლითონები და ოქრო პრაქტიკულად მთლიანად კონვერტირების შტეინში კონცენტრირდება.

სპილენძ-ნიკელის მდიდარი, მსხვილნაჭროვანი, სულფიდური მადანი მახტურ ლუმელებში დნობას განიცდის, ხოლო კონცენტრატები და მდიდარი მადნის წვრილი ფრაქციები ამრეკლ, ელექტრო და სხვა ტიპის ლუმელებში გამოდნობას ექვემდებარება.

დნობის სახეობის შერჩევა ნედლეულის შემადგენლობასა და ადგილობრივ ეკონომიკურ პირობებზეა დამოკიდებული.

ნიკელის ოქსიდური მადნების თანამედროვე გადამუშავების პირომეტალურგული ხერხი რკინისა და ნიკელის ჟანგბადთან და გოგირდთან ნათესაური კავშირების სხვაობას ემყარება. მისი არის შემდეგი რეაქციით შეიძლება გამოისახოს:



ნიკელის სულფიდურებით წარმოიქმნება Ni_3S_2 , რომელიც FeS -თან ერთად შტეინში გადადის, რკინის ძირითადი ნაწილი კი წიდასთან ერთად განიღვნება.

ოქსიდური მადანი გოგირდს არ შეიცავს, ამიტომ საჭირო ხდება გამოსაღობ კაშში პიროტის ან თაბაშირის შეტანა.

დნობის შედეგად ნიკელის შტეინი მიიღება. მასში რკინის შემცველობა 65%-ს აღწევს.

ნიკელის შტეინის კონვერტირების დროსაც კონვერტირების მხოლოდ პირველი სტადია ტარდება და საბოლოო პროდუქტის სახით თეთრი შტეინი მიიღება. ამ შემთხვევაში თეთრი შტეინი მხოლოდ ნიკელის სულფიდს შეიცავს (რუსულ ლიტერატურაში ნიკელის სულფიდისგან შემდგარი თეთრი შტეინი „белый штейн“-ის სახელწოდებით არის ცნობილი). სულფიდიდან ნიკელის მიღება მომდევნო ეტაპზე სპეციალური მეთოდით ხორციელდება.

პირომეტალურგული ხერხი ნიკელისა და კობალტის მეტალურგიაში უფრო ფართოდ გამოიყენება, ვიდრე სპილენძის მეტალურგიაში. პირომეტალურგია, ძირითადად, გამოიყენება ნიკელის ოქსიდური მადნების, ნიკელის სულფიდური კონცენტრატების, სულფიდური ნახევარპროდუქტების (შტეინებისა და სხვა მასალების) გადასამუშავებლად.

2.1. ნიკელის ნედლეულის გადამუშავება პირომეტალურგული ხერხით

2.1.1. ნიკელის სულფიდური კონცენტრატების გამოწვა

ნიკელის სულფიდური კონცენტრატები, სპილენძის სულფიდური ნედლეულის მსგავსად, მრავალეტედიან ან მდულარე ფენის ლუმელებში გამოწვას ექვემდებარება. მდულარე ფენის ლუმელები ფართო გამოყენებას პოულობს ნიკელის წარმოებაში და თანდათან ცელის ადრინდელ მრავალეტედიან ლუმელებს.

ფანგვითი გამოწვის პროცესში მიმდინარე რეაქციები, რომლებშიც მონაწილეობს ნიკელის სულფიდი, რკინის სულფიდი და ჟანგბადი, სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გამოწვის პროცესში განხილული რეაქციების მსგავსია – ჟანგბადი, უპირატესად, ისევე რკინას უერთდება, რის შედეგადაც კონცენტრატში შემავალი რკინის სულფიდის დაახლოებით ნახევარი ოქსიდურ ფორმაში გადადის. ოქსიდური რკინა მომდევნო დნობის პროცესში წილის ფორმირებაში მონაწილეობს. სპილენძის სულფიდის მსგავსად ნიკელის სულფიდი (Ni_3S_2) თითქმის მთლიანად ისევე სულფიდის სახით რჩება გამოწვარ ნაშენში.

2.1.2. ნიკელის გამომწვარი სულფიდური კონცენტრატების დნობა შტეინზე

ნიკელის გამომწვარი სულფიდური კონცენტრატების დნობა ამრეკლ ლუმელებში, ჟანგბადით გაჰიდრებული ატმოსფეროს მქონე ამრეკლ ლუმელებში, მასალის შეტვივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ლუმელებსა და ელექტროლუმელებში ტარდება. დნობის პროცესში ნიკელისა და რკინის სულფიდების (Ni_3S_2 და FeS) შერთებით წარმოიქმნება შტეინი, რომელშიც თავს იყრის ნედლეულში შემავალი ყველა კეთილშობილი და ზოგიერთი სხვა ძვირფასი ლითონი.

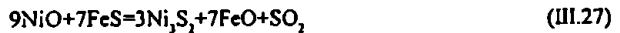
რკინის ოქსიდი (პრაქტიკულად შტეინში არ იხსნება), რომელიც წინა ეტაპზე ჩატარებული ჯანგვითი გამოწვის პროდუქტია, ფუჭი ქანისა და ფლუსის კვარცხენს უერთდება და დნობის ღუმელში წარმოქმნილ წიდაში გადადის. წიდისა და შტეინის ერთმანეთთან შერევა პრაქტიკულად არ ხდება. მათი სიმკვრივეთა სხვაობა (წიდის – 3, ხოლო შტეინის – 5) ადვილად უზრუნველყოფს ორი თხევადი ფაზის სწრაფ განცალკევებას. განცალკევებული წიდის ფენა შტეინის ნაღწობის ზედაპირზე იწყებს ტიქტივს.

ამრეკლი (ალკმელი) ღუმელი, რომელიც ერთ-ერთ ქარხანაში (ნიკელის საერთაშორისო კომპანია) ნიკელის გამოწვევარი სულფიდური კონცენტრატის გადასამუშავებლად გამოიყენება, ზომებითა (სიგრძე – 33,5, ხოლო სიგანე 9 მ შეადგენს) და კონსტრუქციით სპილენძის შტეინზე დნობის ღუმელის მსგავსია. ღუმელი 1500 ტ მყარ კაშმს ამუშავებს დღე-ღამეში, მასის ამ რაოდენობას ღუმელში კიდევ ემატება კონვერტერიდან მიღებული 700 ტ საბრუნო თხევადი წიდა.

გამომწვეარი კონცენტრატი ღუმელის თავიდან იტვირთება და ღუმელის შიგნით ორივე მხარის გასწვრივ ვარდება, სადაც საცეცხლიდან გამოყოფილი სითბოს მეშვეობით დნება და ღუმელის ცენტრისკენ ეშვება. ღუმელის ცენტრში ჩასული ნაღწობი შტეინისა და წიდის ფენებზე იყოფა.

სათბობის წვის შედეგად საცეცხლესთან ტემპერატურა 1650°C-მდე ვითარდება. წვის ცხელი აირების ღუმელის მთელ სიგრძეზე გადაადგილებისას აირების ტემპერატურა თანდათან კლებულობს და საკვამლე მილის შესასვლელთან იგი 1320°C-მდე ვარდება. აირების სითბო ბოილერსა და ღუმელში შემავალი ჰერის წინასწარი გახურების მოწყობილობაში აირინება, ხოლო აირებისგან კოლექტორში განცალკევებული მტვერი ისევ ღუმელში ბრუნდება.

მცირე რაოდენობით დაფანტული ნიკელი, რომელიც წიდაში გადასულით იკარგება, ნელაღუმელში შემავალ FeS-თან ურთიერთქმედების შედეგად ისევ Ni_3S_2 -მდე აღდგება:



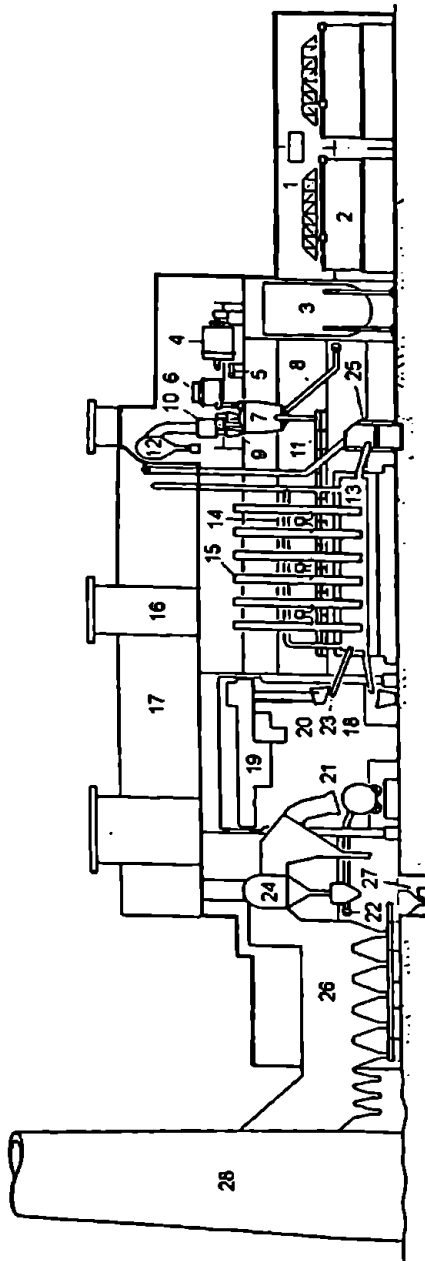
აღდგენილი Ni_3S_2 შტეინში გროვდება, ხოლო FeO წიდაში გადადის.

დნობის შედეგად შედარებით დაბალი ხარისხის შტეინი წარმოიქმნება. შტეინში ნიკელისა და სპილენძის (თუკი ნელაღუმელი სპილენძსაც შეიცავს) ერთობლივი შემცველობა 13%-ია, ხოლო წიდაში 0,3%. წიდა შეიცავს აგრეთვე არასასურველ რკინის ოქსიდს, მაგნეტიტს (Fe_3O_4). მაგნეტიტის დაგროვების შემთხვევაში ღუმელის ფსკერზე წარმოიქმნება მაგნეტიტის ფენა, რომელიც ღუმელის მუშა მოცულობას ამცირებს და ართულებს აგრეთვე წიდის გამოშვებას ღუმელიდან. მაგნეტიტის ფენის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით ღუმელის ორივე მხრიდან ნაღწობში ჩაშვებული მილებიდან შებერილი ორთქლით ნაღწობი ირევა. ნაღწობის არევა ხელს უწყობს ოქსიდებისა და სულფიდების ურთიერთქმედებას, რაც ამცირებს მაგნეტიტის შემცველობას ნაღწობში (რეაქცია III.9.).

მაგნეტიტის (Fe_3O_4) FeO-მდე აღდგენის მიზნით გამოიყენება აგრეთვე ფეროსილიციუმის, რკინის ჯართის ან ნეფლი ხის მორების დანამატები. მაგნეტიტის აღდგენით წარმოქმნილი FeO უერთდება SiO_2 -ს და წიდაში გადადის, რაც ლითონის ჭარბად კარგის შესაძლებლობას გამოიწვევს. ღუმელიდან გამოშვებული წიდა გადაიყრება ან ფოლადის წარმოებაში გამოიყენების მიზნით მაღალი ხარისხის რკინის გუნდებზე გადაამუშავდება.

ჰაერის წვის საცეცხლით აღჭურვილ ამრეკლ ღუმელებში სათბობის გამოყენების მარკო კოფიციენტი დაბალია. სათბობის მთლიანი ეარგისიანობის 45% სასარგებლო სითბოს სახით ღუმელიდან გააქვს ჰაერის აზოტს, რომელიც წვის რეაქციაში არ მონაწილეობს. ერთი ტონა აზოტით გატანილი სითბოს რაოდენობა დაახლოებით ტოლია სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც ერთი ტონა მყარი მასის გასაღწობად საჭირო.

წვის ჰაერის ეანგბადით გამოღირება და ჰაერიდან აზოტის ნაწილობრივი გამოთავისუფლება უფრო მეტი რაოდენობის სითბოს გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა მყარი მასის დნობის პროცესში. ეანგბადით გამოღირებული ჰაერი სათბობის გამოყენების მარკო კოფიციენტს ზრდის – უფრო მეტი რაოდენობის სათბობი იწყება და, შესაბამისად, უფრო დიდი რაოდენობის მყარი მასა დნება ღუმელის ფართობის ერთეულზე. ჰაერის ეანგბადით 25%-მდე გამოღირება 30%-მდე ზრდის ღუმელის ტევადობას. ტომსონის ქარხნის ელექტროღუმელი (სურ. III.29.), რომელსაც ნიკელის



სურ. III.29. ნაკვალის შტეინზე დნობის ქარხნის ელექტროდუგულის ქრალი.

1 გაბნაწილადებელი; 2 სასტელადებელი; 3 ბულის შესასხამ 4. დოღური ტიპის ფილტრი; 5. კონვეიერი და სასწორი; 6. შპრუნავი ბუნკერი; 7. მდულარე ფენის გამოსწავის დუგელი; 8. ბულის შესასხამ 4. დოღური ტიპის ფილტრი; 9. კონვეიერი; 10. კონვეიერი; 11. კონვეიერი; 12. გამოსწავის აირები; 13. ელექტროდუგული; 14. ენერგომიწოდების სისტემა; 15. ელექტროდი; 16. ელექტროდი; 17. აირების გასასვლელი ზონი; 18. შტეინის გამოსწავის ლაირი; 19. აბსე; 20. ცაცხვი; 21. ბუნკერის კონვერტორი; 22. საბუნი მილი; 23. წილის დასაბუნკერელი ლაირი; 24. კონვერტორის აირები; 25. წილის გრანულატორი; 26. კოტრელი; 27. შტეინის ტუმბო; 28. საყვამლე მილი.

გამომწვარი კონცენტრატის დნობისთვის იყენებს ნიკელის საერთაშორისო კომპანია, სპილენძისა და ნიკელის გამომწვარი სულფიდური კონცენტრატების შტინზე დნობის ამრეკლი ლუმელების შესავსია. ამ ტიპის ელექტროლუმელები ჩაძირულ-რკალური წინაღობის ლუმელებს განეკუთვნება.

სახურებელი ელემენტის როლს წიდა ასრულებს. წიდა წინაღობას უწყვეს მასში ჩაშვებულ ელექტროდებს შორის გამავალ დენს, რის შედეგადაც სითბო გამოიყოფა. ლუმელის თაღიდან ჩატვირთული წიდის ნაღობის ზედაპირზე მოტიეტევე ნაწილს და ფულუსი მყარ მასებს სითბო წიდასთან უშუალო კონტაქტითა და კონვექციით გადაეცემა. შტინისა და წიდის ნაღობის სისქე დაახლოებით 0,63 მ შეადგენს. ლუმელის სიგრძე, სიგანე და სიმაღლე შესაბამისად 30, 8,5 და 3,5 მ-ია. ლუმელში ჩაშვებული 12,25 მ სიგრძის სოდეზბერგის ტიპის ელექტროდები (დამეტრი 1,23 მ შეადგენს) ლუმელის სიგრძეშია განლაგებული (თითოეული მათგანი 20 ტ იწონის). სამუაზიანი წრდიდან დაწყვილებული ელექტროდები ერთი ფაზით იკეებება. წვეილში შემავალ ელექტროდებს შორის მანძილი 3,66 მ-ია, ხოლო წვეილებს შორის მანძილი 3,77 მ შეადგენს. ელექტროდების შეკავება, ჩაშვება-ამოწევა და რვეულირება პიდრავიციური მოწყობილობების მეშვეობით ზორციელდება.

ელექტროდების ყოველი წვეილი ერთფაზიანი ტრანსფორმატორით (18 მგ ვატი) იკეებება, რაც დნობისათვის საჭირო სიმძლავრეს უზრუნველყოფს. ლუმელიდან გამომშვებული შტინის ტემპერატურა 1115°C-ია, ხოლო წიდის - 1290°C. შტინში ნიკელის შემცველობა 16%-ია, ხოლო სპილენძის - 1%. ნიკელის, სპილენძისა და კობალტის ერთობლივი შემცველობა წიდაში 0,25% არ აღემატება. დლე-ლაშეში ლუმელში დახლოებით 850 ტ ნაწევი და 450 ტ საბრნი წიდა (კონვერტერის წიდა) გადაშეშედება. ლუმელიდან შტინისა და წიდის გამოშვება ლუმელის მოპირდაპირე ბოლოებიდან ზორციელდება. შტინის მოშვეწერე ეტაპზე კონვერტერში დამამშვება, ხოლო წიდა გადაიყრება.

დნობის ძირითადი რეაქციები ფანგითი გამოწვის შედეგად წარმოქმნილი მაგნეტიტის (Fe_3O_4), დაუენგავი რკინის სულფიდით ორვალენტანი რკინის ოქსიდამდე (FeO) აღდგენასა და FeO -ს ფუჭი ქანისა და ფლუსის კვარტან (SiO_2) შვერთებით რკინის სილიკატური ნერთის (რომელიც რკინის სილიკატური წიდის ფორმირებაში მონაწილეობს) მიღებას ითვალისწინებს. მაგნეტიტი მთლიანად არ აღდგება FeO -მდე და Fe_3O_4 -ის რადაც ნაწილი როგორც შტინში, ასევე წიდაში იხსნება. მაგნეტიტი წიდასა და შტინის შორის შუალედური ფენის ფორმირებაშიც მონაწილეობს. მაგნეტიტის შუალედური ფენა, რომელიც მაღალი სობლანტით გამოირჩევა, ელბება წიდიდან ჩამომავალ შტინის ნაწილაკებს, რის გამოც ნაწილაკების შტინის ფენაში ჩასულა ფერხდება. მაგნეტიტის შუალედური ფენის გაფანტვას საგრანობლად უწყობს ზულს ლუმელში ნაღობის ნაკადის ცირკულაცია. ელექტროდების მახლობელი ცხელი ზონიდან ამომავალი ნაღობის ნაკადი მიედინება ლუმელის გვერდულ კედლებთან მდებარე ნაღობის ზედაპირისკენ, საიდანაც ჩადის ქვეშით და ლუმელის ქვედის ქვედა ნაწილის გავლით ისევე ელექტროდებისკენ მიემართება. მაგნეტიტის შემციორება შესაძლებელია ნაღობში ქვანახშირისა (C) და FeO -მდე აღდგენის) და კვარტის (კვარტის და FeO -ს ურთიერთქმედებით წიდა ფორმირდება) დანამტების შეყვანით, ძაბვის შემციორებით და ელექტროდების შტინის ფენის ზედაპირთან მიახლოებით.

ვინაიდან ელექტროლუმელში სათბობის (სათბობი არ გამოიყენება) წვის აირების გამოყოფა არ ხდება, ლუმელიდან წარმავალი აირების რაოდენობა შედარებით ნაკლებია, რაც აირებით გატანული სითბოს არინებისა და აირებიდან შტერის განცალკეების პროცესს აადვილებს.

2.1.3. ნიკელის ნედლი სულფიდური კონცენტრატის დნობა შტინზე

ნიკელის ნედლი (გამომწვარი) სულფიდური კონცენტრატების შტინზე და წიდაზე დნობა ელექტროლუმელებში, მასალის შეტიეტიეებულ მდგომარეობაში დნობის ლუმელებსა და მახტური ტიპის ლუმელებში ტარდება.

ნიკელის ნედლი სულფიდური კონცენტრატების შტინზე დნობის რეაქციები არ განსხვავდება ნიკელის გამომწვარი სულფიდური კონცენტრატების შტინზე დნობის დროს მიმდინარე რეაქციებისგან (ისევე, როგორც სპილენძის შემთხვევაში). ყველა შემთხვევაში, ლითონის სულფიდები ერთიანდება და შტინის ნაღობის ფენას ქნის, ხოლო ფუჭი ქანი, რკინის ოქსიდები და დანამტი ფლუსები წიდის ფორმირებაში მონაწილეობს. კეთილშობილი და სხვა ზოგიერთი ლითონი შტინის ნაღობში გროვდება.

ნელი სულფიდური კონცენტრატის (როგორც ნიკელის, ასევე სპილენძის) პირდაპირი (გამოწვის გარეშე) დნობა შტეინზე გამოირიცხავს ენგეითი გამოწვის პროცესისა და მასთან დაკავშირებული ოპერაციების ჩატარებას, რითაც ნელლეულის გადამუშავების ხანგრძლივობა საგრძნობლად მცირდება. იმ შემთხვევაში, თუ ნელი სულფიდური კონცენტრატი (ან მადანი) საკმაოდ მდიდარია გოგირდით (სულფიდური გოგირდით), მაშინ ნელლეულის გადასამუშავებლად უპირატესობით აეტირგენური დნობის პროცესი გამოირჩევა. როგორც ადრე აღინიშნა (ნაწ. II., ნაწ. III თავი. I), აეტრგენურ პროცესში ნელლეულის დნობა თვით ნელლეულში შემაჯალი სულფიდების წვის შედეგად გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბოს ხარჯზე ხორციელდება, რაც ძირითადად გამოირიცხავს სითბობის გამოყენებასა და სითბობის წვით წარმოქმნილი აირების გამოყოფას.

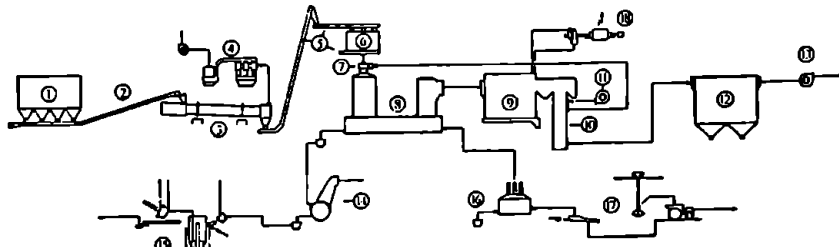
ელექტროლუმელებში წარმატებით ხორციელდება მაღალი ხარისხის ნიკელის პენტლანდიტის მდნობის (Ni - 4-5%, Cu - 2,5-2,8) პირდაპირი (მდნობის ფლოტაციური გამდიდრების გარეშე) დნობა. მდნობის პირდაპირი დნობა ფლოტაციური გამდიდრების ეტაპსა და მასთან დაკავშირებულ ლითონების კარგეას გამოირიცხავს.

მდნობის დნობა ჩაძირულ-რკალური ტიპის წინაღობის ელექტროლუმელებში ხორციელდება. ღუმელი აღჭურვილია სოდებურგის ექვსი ელექტროდით, რომლებიც ერთ რიგშია განლაგებული. ელექტროდების დიამეტრი 1 მ-ს აღარბებს. ღუმელში, რომლის სიგრძე, სიგანე და სიღრმე შესაბამისად 21,6; 5,50 და 3,15 მ-ია, 500 ტ ნელლეული დნება დღეღამეში. ღუმელზე მიწოდებული საერთო სიმძლავრე 20000 კვტ შეადგენს. ერთ ტონა ჩატვირთულ ნელლეულზე 3,6 კვ ელექტროდი იხარჯება.

ღუმელში ჩატვირთამდე მადანი ეტკმაცდება (მდნობის მარცვლების სისხო 12,5 მმ-ია). დნობის შედეგად მიღებული შტეინი 12-დან 18%-მდე ნიკელსა და 6-დან 8%-მდე სპილენძს შეიცავს. წიღაში ნიკელისა და სპილენძის შემცველობა შესაბამისად 0,2 და 0,1%-ია. ღუმელიდან შტეინისა და წიღის გამოშვება პერიოდულად ხორციელდება. გამოშვებული წიღა (წიღის ტემპერატურა 1360°C შეადგენს) გადაიყრება, ხოლო შტეინი კონვერტირების ეტაპზე გადასამუშავებლად გადადის.

მასალის შეტვიფტივებულ მდგომარეობაში დნობის ღუმელი ოუტოკუმპას კომპანის ერთ-ერთ ქარხანაში (პარჯავალტა) გამოიყენება ნიკელის ნელი კონცენტრატების გადასამუშავებლად (სურ. III.30.8).

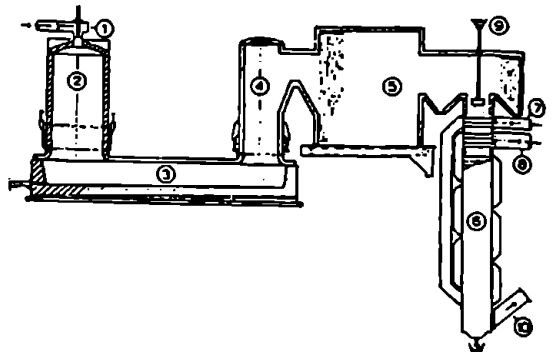
ღუმლის სარკაციო მსხტის (სურ. III.31.) ზედა ნაწილდან წინასწარ გახურებულ (480°C-მდე) პაერის ნაკადთან ერთად დაქუცმაცებული და გამოშრალი პენტლანდიტ-პიროტინის ფლოტაციური კონცენტრატისა (Ni - 6%, Cu - 0,5%) და ფლუსის ქვიმის ნარევის ღუმელში შეფრკვევით სულფიდების აალება და წეა იწყება. სულფიდების წვის შედეგად წარმოქმნილი გაზდნარი ნაწილაკების „წეიმა“ მსხტიდან ჩადის ღუმელის ქვეღში და იქ შტეინისა და წიღის ფენებად ფორმირდება. ღუმელიდან გამოშვებული შტეინი, რომელიც დაახლოებით 35% ნიკელს შეიცავს, კონვერტირში



სურ. III.30. ნიკელის კონცენტრატების დნობის ქარხანაში დანადგარ-მოწყობილობების განლაგების სქემა.

- 1 კონცენტრატის საწეობა; 2 კონვეიერი; 3. საშრობა; 4. მშრალი შტერის კოდექტორი; 5. კონვეიერი; 6. ჰეგვავი ბუნკერი; 7. კონცენტრატის სასთურა; 8. მასალის შეტვიფტივებულ მდგომარეობაში დნობის დუმელი; 9. მოიღერა; 10. სითბოს შამოშკვლელი; 11. შთაყარი საპაერო ვენტელატორი; 12. კოტრელი; 13. საპაერო ვენტელატორი; 14. კონვერტიერი; 15. შტეინის გრანულარება; 16. წიღის გასასუფთავებელი ღუმელი; 17. წიღის გრანულარება; 18. ტურბოფენერატორი.

გადასამუშავებლად იგზავნება. წილამი ჩარჩინილი შტეინის ამოღების მიზნით წილა ელექტროლუმულში გადამუშავდება და შემდეგ გადაიყვება.



ლუმული დაახლოებით იგივე ფორმისა და კონსტრუქციისაა, სპილენძის ნედლეულის გადამუშავების დროს რომ გამოიყენება. სარეაქციო შახტის სიმაღლე 7,93, ხოლო დიამეტრი 3,66 მ-ია. ლუმულში გაფანტული სითბოს შესასვებად და შეფრქვეული მყარი ნაწილაკების აეტოგენურ რეჟიმში დნობის ტემპერატურის უზრუნველსაყოფად გამოიყენება სითბო, რომელიც სარეაქციო შახტში მანუთის წვის შედეგად გამოიყოფა.

სურ. III.31 მასალის შეტეტიკებულ მდგომარეობაში დნობის რუტოეუმას ტიპის ლუმული

1 კონცენტრატის სანთურა; 2 სარეაქციო შახტის 1 დაწრების ზონა; 3 აბტეჯის 5 ბოლიერის 5 სითბოს მიმომცველია 7. ციფი პერის შესასვლელია 8. კონცენტრატის სანთურაში შემავალი ცხელი პერის 9 აირგამწმენდის 10 აირების ნაკადი კოტრელისკენ.

აპონთაში ფერადი ლითონების ევლასზე დიდი მწარმოებელი კომპანიის (ნუმიტომო) ერთ-ერთ ქარხანაში (ნიპამა) ნიკელის ნედლეულის შტეინზე დნობა შახტური ტიპის ლუმულში ხორციელდება. ლუმულში ოქსითან და ფლუსთან ერთად ახალი კალედონიის ოქსიდური მადნისა და კანადის სულფიდური კონცენტრატის ნარევისგან (70:30 ფარდობით) დამზადებული ბრიკეტები იტვირთება. დნობის შედეგად მიღებულ შტეინში ნიკელის შემცველობა დაახლოებით 27%-ია.

2.1.4. ნიკელის ოქსიდური მადნების დნობა შტეინზე

ოქსიდური მადნებიდან (ვარნიერიტი) ნიკელის ამოღება რკინისგან განცალკევების ხიძნელესთან არის დაკავშირებული. აღდგენითი დნობით რკინის წილამი გადაყვანის ცდამ აჩვენა, რომ ამ გზით მხოლოდ რკინის ნაწილი ცალკეედება, მისი ძირითადი მასა კი აღდგება და წარმოიქმნის რკინა - ნიკელის შენადნობს, საიდანაც ნიკელის გამოყოფა გართულებული და არახელსაყრელია. მიუხედავად იმისა, რომ ნიკელი, ძირითადად, სპეციალური ფოლადების დასამზადებლად გამოიყენება (როგორც მალევირებელი დანამატი), ნიკელის რკინასთან შენადნობის სახით გამოდნობა არ არის ყოველთვის მიზანშეწონილი, რადგან ნიკელის გარდა შენადნობში გადავა კობალტი, მანგანუმი, ქრომი და სხვა ლითონური მინარევი. ნიკელთან ერთად ამ ლითონური მინარევების მიზანშეწონილად გამოიყენება სპეციალურ ფოლადებში შეუბლბელია.

ამჟამად ნიკელის ოქსიდური მადნების გადამუშავებაში (ისევე, როგორც სულფიდური მადნების გადამუშავებაში) უპირატესობა შტეინზე დნობას ენიჭება. დნობის ეს აღრიდელი და გამოცდილი ხერხი წარმატებით გამოიყენება პრაქტიკაში ნიკელისა და სპილენძის სულფიდური ნედლეულის გადასამუშავებლად. ერთი შეხედვით, ნიკელის ოქსიდური ნედლეულის შტეინზე დნობა შეუძლებელია იმის გამო, რომ ოქსიდური მადანი გოგირდს არ შეიცავს.

ნიკელის ოქსიდური მადნის შტეინზე დნობა შესაძლებელი ხდება იმ შემთხვევაში, თუ მადნის დნობის დროს დანამატების სახით მასულფიდურელი რეაგენტები (პირიტი ან თაბაშირი) გამოიყენება.

დნობის პროცესში თაბაშირი (CaSO₄·2H₂O) უფრო რთული მოქმედებით გამოირჩევა, ვიდრე პირიტი (FeS₂). მიუხედავად ამისა, პრაქტიკაში, უმეტეს შემთხვევაში, გამოიყენება თაბაშირი, რომელიც პირიტისგან განსხვავებით თავისუფალია რკინისგან და არც ლითონურ მინარევებს შეიცავს (ლითონური მინარევები დნობის დროს შტეინში გადადის და ნიკელს აბინძურებს). გარდა ამისა, თაბაშირში შემავალი კალციუმის ოქსიდი დნობის დროს სასარგებლო საფლუსე მასალის როლს ასრულებს. დნობის პროცესის ჩასატარებლად, როგორც წესი, შახტური ტიპის ლუმული გამოიყენება. ლუმულში

ჩატვირთული საკაზმე მასალა (მადანის შემცვეარი აგლომერატი, კოქსი, თაბაშირი, კირქვა) მსხტში ჩამსებხსას ზურღება და ღნება. გაზურების პროცესში თაბაშირი (კალციუმის სულფატი) კალციუმის სულფიდამღე აღღება:



კალციუმის სულფიდი რეაქციაში შედის ნიკელის, რკინის და კობალტის ოქსიდებთან (NiO, FeO და CoO), რის შდეგადაც წარმოიქმნება ნიკელის, რკინის და კობალტის სულფიდებისგან შმღღარი ნარევი, რომელიც შტეინის ფორმირებაში იღებს მონაწილეობას, ხოლო კალციუმის ოქსიდი წიღაში გადაღის. წიღა კალციუმ-რკინა-მაგნიუმის სილიკატური ნარევისგან შდეგება.

ქმინების არეში კოქსის წვის შდეგად ღუმელში წარმოიქმნება CO-ის აღმღგენი ატმოსფერო, რომელიც კალციუმის სულფატის კალციუმის სულფიდში გადასაყვანად არის აუცილებელი. რაც უფრო მეტი იქნება კაზმში კოქსისა და თაბაშირის რაოდენობა, მით უფრო მეტი CaS (რომელიც ლითონურ ოქსიდებთან ურთიერთქმედებს) წარმოიქმნება და მით უფრო დაბალი იქნება მიღებული შტეინის ხარისხი. რკინასთან შედარებით, ნიკელი და კობალტი უფრო ღიღ ნათესაურ კავშირშია გოგირდთან, ხოლო რკინა ფანგბადთან უფრო ღიღი ნათესაური კავშირით გამოირჩევა, ვიდრე ნიკელი და კობალტი. ამიტომ რკინის ოქსიდი ყველაზე ბოლოს იწყებს ურთიერთქმედებას CaS-თან და გადაღის FeS-ში, რომელიც შტეინის უერთდება. ღუმელში ზედმეტი რაოდენობით ჩატვირთული თაბაშირიდან საჭირო რაოდენობაზე მეტი CaS აღღება. ჭარბი CaS-ის წიღაში გადასასულელ FeO-თან ურთიერთქმედებით კი უფრო ღიღი რაოდენობით წარმოიქმნება FeS, რომელიც შტეინის შმადგენლობაში შედის და ამით დაბალი ხარისხის შტეინის მიღებას ზელს უწყობს. ამიტომ შტეინისა და კაზმის შმადგენლობების სწორი ბალანსის გამოთელას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა. გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ შტეინის კონვერტირების პროცესში FeS სათბობის როლს თამაშობს. აქედან გამომდინარე, შტეინი უნდა შეიცავდეს რკინის სულფიდის იმ აუცილებელ რაოდენობას, რომლის წვის შდეგადაც გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბო უზრუნველყოფს კონვერტირების პროცესის ჩატარებას. რკინის სულფიდის გადაჭარბებული რაოდენობა შტეინში კონვერტირების დროს წიღაში გადასული რკინის რაოდენობას ზრდის, რაც წიღის წარმოქმნაზე გაწეული ხარჯების გადაიღებას იწყებს. შტეინის შმადგენლობის ბალანსის განსაზღვრის დროს გასათვალისწინებელია ისიც, რომ, რაც უფრო მაღალი იქნება შტეინის ხარისხი (რაც უფრო მღიდარი იქნება შტეინი ნიკელში), მით უფრო მეტი რაოდენობის ნიკელი შთაინთქება წიღით და წიღასთან ერთად გადაიყრება (დაიკარგება).

ერთ-ერთი ნიკელის ქარხანაში (ღონიამბო) ოქსიდური მადნების ღნობა შტეინზე მსხტური ტიპის ღუმელში ტარდება. გამოიშრალი და დეჰიდრატირებული მადანი ჯერ სააგლომერაციო მანქანაზე ცხება და შმღღე 340°C-მღე გაზურებული მადნის აგლომერატი ღუმელში ჩაიტვირთება. ღუმელში აგლომერატთან ერთად ჩაიტვირთება კოქსი (მარცკლების სისხრო 3-10 სმ-ია), კირქვა (ფლუსი, რომელიც მაგნიუმის მაღალი შემცველობის წიღის წარმოსაქმნელად გამოიყენება) და თაბაშირი (როგორც მასულფიდირებული რეაგენტი). გამოსადნობი შტეინის ხარისხი Ni-Fe ფარ-ღობისა და ღუმელში ჩატვირთული კოქსისა და თაბაშირის რაოდენობებიდან გამომდინარე მონაცემებით განისაზღვრება. ღნობის შდეგად მიღებული შტეინი 27% Ni+Co-ს, 63%-რკინას და 10% გოგირდს შეიცავს, წიღაში კი ნიკელისა და კობალტის ერთიანი შემცველობა 0,3%-ს არ აღემატება. ღუმელი აღჭურვილია რვა ქმინით, რომლებიც ღუმელის ერთ გვერდულ კედელში რიგშია ჩაყენებული. ღუმელის ქვეიღიდან პერიოდულად გამოშვებული შტეინი პირდაპირ კონვერტირების საამქროში იგზავნება, ხოლო წიღა გადაიყრება.

მსხტის სიმაღლე ქმინებისა და კაზმის ჩატვირთვის ღონეებს შორის 4,88 მ-ს შუადგენს. კაზმის ჩატვირთვა მსხტში კერამეტულად დაზურული ორი ბუნკერიდან ხორციელდება. ღუმელიდან წარმავალი არების (20%CO-ს შეიცავს) ტემპერატურა 315°C-ს შუადგენს. არები ორსაფეხურიანი გასუფთავების შმღღე შტეინისგან კალკედება და საკოქსე ღუმელის აირით მღიდრდება. გამღიდრებული არები სათბობად გამოიყენება საზურებელში, სადაც მსხტური ღუმელის ქმინებში შესაბერი მავრი 870°C-მღე ზურღება.

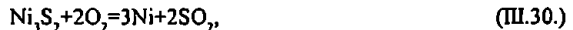
ვინაიდან ღუმელში ჩატვირთული კაზმი არ შეიცავს სულფიდურ მინერალებს და ჭარბი გოგირდის ეგზოთერმული დაქანკვით წარმოქმნილი დამატებითი სითბო (როგორც ეს სულფიდური

ნელეულის დნობის შემთხვევაში ხდება) ღუმელს არ მიეწოდება, სარეაქციო ზონაში საჭირო ტემპერატურა (1370-1400°C) ღუმელში ჩატვირთული კოქსის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე მყარდება. ქმინებიდან ღუმელში შებერილი გახურებული (870°C-მდე) ჰაერი დამატებით სითბოს აწვდის ღუმელს და ამით მნიშვნელოვნად (ერთი მესამედით) ამცირებს კოქსის ხარჯს. გარდა ამისა, ღუმელში შებერილი ჰაერის მაღალი ტემპერატურა წილის გადახურებას იწვევს და მის სიბლანტეს ამცირებს. წილის სიბლანტის შემცირებით შტეინისა და წილის განცალკევების პირობები უმჯობესდება და წილიდან შტეინის ნაწილაკების ჩაშვება შტეინის ფენაში ადვილდება.

2.1.5. ნიკელის შტეინის კონვერტირება

პირს-სმიტის ტიპის პორიზონტალურ კონვერტერში ნიკელის შტეინის კონვერტირების პროცესი (სპილენძის შტეინის კონვერტირებისგან განსხვავებით) ნიკელის სულფიდის მიღებით მთავრდება. კონვერტირების პირველ სტადიაზე FeO-ს და SO₂-ის წარმოქმნის შემდეგ ჰაერის ან ჟანგბადით გაზიდრებული ჰაერის შებერვა წყდება და კონვერტერის წილისგან განცალკევებული ნიკელის სულფიდი ან ნიკელისა და სპილენძის სულფიდების ნარევი, საბოლოო პროდუქტის სახით, კონვერტერიდან გადმოიტვირთება. ნიკელის სულფიდური პროდუქტი (სპილენძის კონვერტირების დროს წარმოქმნილი თეთრი შტეინის ფაზის მსგავსია), რომელიც კონვერტერის შტეინის ან ბესემერის შტეინის ხელწოდებით (რუსულ ლიტერატურაში „файнштeин“-ს უწოდებენ) არის ცნობილი, სხვა მეტალურგიული პროცესის გამოყენებით გადაამუშავდება მომდევნო ეტაპზე.

კონვერტირების მეორე სტადიის გამოყენება შეუძლებელი ხდება იმიტომ, რომ ნიკელის დნობის ტემპერატურა (1455°C) უფრო მაღალია, ვიდრე სპილენძის (1084°C) და ამასთან ერთად ნიკელი უფრო ადვილად იჟანგება, ვიდრე სპილენძი. პირს-სმიტის კონვერტერში გაძნელებულია როგორც ლითონური ნიკელის თხევად მდგომარეობაში შეკაებისათვის საჭირო ტემპერატურის დამყარება, ასევე ლითონური ნიკელის მიღება ნიკელის სულფიდის ჟანგვითი რეაქციით:



რომლის დროსაც მიღებული ნიკელი უმაღლე იჟანგება და ოქსიდში გადადის.

პირს-სმიტის პორიზონტალურ კონვერტერში არსებული პრობლემების გადაწყვეტა შესაძლებელი ხდება, თუ ნიკელის შტეინის კონვერტირება ჩატარდება უფრო გვიანდელი კონსტრუქციის ზევიდან შესაბურ მბრუნავ კონვერტერში (სურ. III.32.), რომელიც პირველად ნიკელის საერთაშორისო კომპანიამ გამოიყენა.

ნაღნობის არევის შედეგად ტურბულენტურ მდგომარეობაში გადასულ ნაღნობში ჟანგბადის შებერვით მბრუნავ კონვერტერში თერმული ეფექტიანობის გაზრდის საუკეთესო პირობები იქმნება, რაც ნიკელის დნობის ტემპერატურის დამყარებისა და ნიკელის სულფიდისა და ჟანგბადის ურთიერთქმედებით (რეაქცია III.30.) ლითონური ნიკელის მიღების შესაძლებლობას იძლევა.

კონვერტირების ნებისმიერ პროცესში პირველი რეაქციები სპილენძის შტეინის შებერვის დროს მიმდინარე რეაქციის (რეაქცია II.13.) მსგავსია - რკინის სულფიდისა (FeS) და ჟანგბადის ურთიერთქმედებით რკინის ოქსიდი (FeO) და გოგირდის დიოქსიდი (SO₂) წარმოიქმნება. რკინის ოქსიდი SiO₂-ს უერთდება და წილაში გადადის, ხოლო SO₂ აირის სახით ქროლდება და საკვამლე მილში შედის. კონვერტირების ეს მეთოდი სიახლეს წარმოადგენს და ამიტომ ნიკელის შტეინის კონვერტირებისთვის პრაქტიკაში, უეტეს შემთხვევაში, გამოიყენება ფართოდ გავრცელებული პირს-სმიტის კონვერტერი, რომელიც



სურ. III.32. ზევიდან ჩასაბური მბრუნავი კონვერტერი

მელშიც ნიკელის შტინის კონვერტირების შედეგად ნიკელის სულფიდი ან ნიკელისა და სპილენძის სულფიდების ნარევი (ანუ კონვერტირის შტინი) მიიღება.

ნიკელის შტინის გადასამუშავებელი პირს-სმიტის პორიზონტალური კონვერტერი თავისი ზომებითა და კონსტრუქციით იმ კონვერტერის ანალოგიურია, რომელიც სპილენძის შტინის კონვერტირებისთვის გამოიყენება. კონვერტერში 5 ტ ოდენობით ისხმება ნედლეულის დნობის ლუმელიდან მოღებულ, 109 5°C-ზე გახურებული შტინის ნაღობი, რომელშიც ნიკელისა და სპილენძის ერთიანი შემცველობა 13-დან 18%-მდე მერყეობს.

კონვერტირების პროცესი შტინის ნაღობში ჰაერის შებერვით (კონვერტერის ქმნილიდან) იწყება. ჰაერის ყანგაბადან ურთიერთქმედებით FeS იყანება და FeO-ში გადადის. განსაზღვრულ ინტერვალებში ნაღობზე ფლუსის (5-დან 8 ტ-მდე) დამატებით FeO ფლუსის კვარცთან (SiO₂) ურთიერთქმედებით წიდას წარმოქმნის. წიდა (წიდაში ნიკელისა და სპილენძის ერთიანი შემცველობა 2% შეადგენს) პერიოდულად გადმოიღება კონვერტირიდან და ნედლეულის დნობის ლუმელში ბრუნდება გადასამუშავებლად. წილის გადმოღების შემდეგ, ახალი შტინით შევსებული კონვერტერი მუშა მდგომარეობაში დგება და შებერვისა და წილის წარმოქმნის ციკლი მეორდება. ჰაერის ყოველი ბერვის ხანგრძლივობა 35 წთ-ია. ბერვის შეწყვეტის შემდეგ (ბერვის შეწყვეტის წინ ნაღობის ტემპერატურა დაახლოებით 1230°C-ს აღწევს) კონვერტირიდან წიდა (ერთი ან ორი ციხვის ოდენობით) გადმოიღება. დაახლოებით ბერვის 40 ციკლის (გრძელდება 24 საათი) შემდეგ, კონვერტერში გროვდება 100 ტ-მდე კონვერტირის შტინი, რომელშიც ნიკელისა და სპილენძის ერთიანი შემცველობა 75-78% შეადგენს. კონვერტირის შტინიში კონცენტრირდება აგრეთვე კეთილშობილი და სხვა ძვირფასი ლითონები. მაღალი ხარისხის ნიკელის მადნების გადაამუშავების დროს კონვერტირის შტინიში ნიკელის შემცველობა 75%-ს აღწევს, ხოლო სპილენძისა – 3%-ს. იმ შემთხვევაში, თუ ნიკელის მაღანი დაბალი ხარისხისა და მასში შედარებით გაზრდილი რაოდენობითაა სპილენძი, მაშინ ამ ორი ლითონის ფარდობა კონვერტირის შტინიში იცვლება – ნიკელის შემცველობა 50% ხდება, ხოლო სპილენძის – 25%. ვინაიდან კონვერტირის შტინი კონვერტირების საბოლოო პროდუქტია, მასში გოგირდის შემცველობა დაახლოებით 22% შეადგენს. კონვერტირიდან წარმოებულ აირებში SO₂-ის შემცველობა დაბალია და ამიტომ მათი გამოყენება გოგირდმჟავას წარმოებაში არახელსაყრელია. ნიკელის შტინის კონვერტირებაც (ისევე, როგორც სპილენძის შემთხვევაში) მაგნეტიტის წარმოქმნასთან არის დაკავშირებული.

ყანგაბადით გაზდიღებული ჰაერის ბერვა პირს-სმიტის კონვერტერში ეგზოთერმული სითბოს გამოყენების ეფექტიანობას ზრდის, რაც კონვერტერში მყარი მასების (მადნის ნაჭრები, სულფიდური კონცენტრატი, საბრუნო მასალები) დანამატების ჩატივითვის საშუალებას იძლევა (ეგზოთერმული სითბო მყარი მასების დნობას უზრუნველყოფს). ერთი ტონა ყანგაბადის დანახარჯი 3 ტ მყარი მასის ჩატივითვის შესაძლებლობას იძლევა. ყანგაბადით გაზდიღებული ჰაერის ბერვა აჩქარებს აგრეთვე FeS-ის FeO-სა და SO₂-ში გარდაქმნის რეაქციას. კონვერტირის პროდუქტის გამოსავლიანობა კონვერტერში შებერილ ყანგაბადის რაოდენობასთან თითქმის პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია. პირს-სმიტის კონვერტერში, კონვერტერული შტინის მისაღებად ნიკელის შტინის გადაამუშავების დროს ყანგაბადის ოპტიმალური შემცველობა კონვერტერში შესაბერ გაზდიღებულ ჰაერში 28%-ს შეადგენს.

2.1.6. ნიკელის კონვერტირის შტინის გადაამუშავება

ნიკელის კონვერტირის შტინის შემდგომი გადაამუშავების მეთოდის შერჩევა შტინის შემადგენლობაზეა დამოკიდებული. თუ კონვერტირის შტინი ძირითადად ნიკელის სულფიდისგან შედგება, მაშინ ნიკელის სულფიდი ჯერ ყანგვითი გამოწვით ნიკელის ოქსიდში გადაიყვანება, ხოლო შემდეგ ნიკელის ოქსიდის აღმდგენთან ურთიერთქმედების შედეგად ლითონური ნიკელი მიიღება. ნიკელის სულფიდიდან ლითონური ნიკელის მიღების მეორე ხერხი ნიკელის სულფიდის ელექტროლიზით გადაამუშავების ითვალისწინება.

იმ შემთხვევაში, თუ ნიკელის კონვერტირის შტინი ნიკელისა და სპილენძის სულფიდების ნარევისგან შედგება, მაშინ კონვერტირიდან გადობსხმული კონვერტირის შტინის ნაღობის ნელი

გაცივებით, ჯერ ნაღობიდან სულფიდების მყარ ფაზებად დაყოფა ხდება, ხოლო მომდევნო ეტაპზე ფლოტაციური გამდიდრების ხერხით სულფიდური მყარი ფაზები ცალკეედება. განცალკევებული ნიკელის სულფიდი, ლითონური ნიკელის მღლები მიზნით, ზემოთაღწერილი მეთოდებით გადამუშავდება, ხოლო სპილენძის სულფიდი კონვერტირებაზე (სპილენძის შტეინის კონვერტირებაზე) გადასამუშავებლად იგზავნება.

ნიკელის სულფიდის (კონვერტერის შტეინის) ჟანგითი გამოწვის პირველი ეტაპი მდლარე ფენის დომელში ტარდება. გამოწვის წინ შტეინი იმსხვრევა და ქუცმაცდება. ნიკელის სულფიდისა და ჟანგბადის ურთიერთქმედებით ნიკელის ოქსიდი და SO_2 წარმოიქმნება:



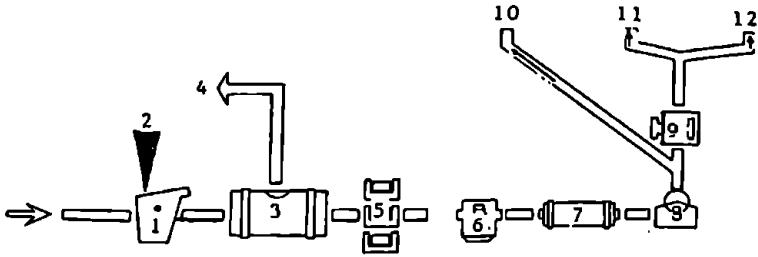
ეგზოთერმული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბო უზრუნველყოფს ჟანგითი გამოწვის პროცესის ჩატარებას. გამოსაწვავ კონვერტერის შტეინში გოგირდის შექცეულობა 22%-ია, ხოლო გამოწვის შედეგად მიღებულ ნაშენში 0,5%.

გამოწვის მეორე ეტაპზე ნაშენი თავსდება ცილინდრული ფორმის მბრუნავ ლუმელში, რომელშიც ნაშენის მასისა და მჟანგეი აირის ნაკადები ურთიერთსაწინააღმდეგეოდა მიმართული. მეორე ეტაპზე გამოწვის შედეგად ნაშენში გოგირდის შექცეულობა 0,002%-მდე ვარდება.

ნიკელის ოქსიდის საბოლოო ფხვნილისებრი პროდუქტი მბრუნავ საცივებელში თავსდება და გაცივების შემდეგ ხარისხდება. დახარისხების შემდეგ ფხვნილისებრი ოქსიდის მარცვლის სისხო საჭირო ზომამდე დაიყვანება და ფხვნილის დაწვნილი ბრიკეტები (ლიამეტრი 3 სმ და სისქით 1,9 სმ) მზადდება. შრობის შემდეგ ნიკელის ოქსიდის ბრიკეტები ნახშირთან ირევა და ნარევი აღდგენის რეტორტაში იტვირთება. ქერმეტულად დახურული ვერტიკალური რეტორტის სიმაღლე 7,62 მ-ია, ხოლო სიგრძე და სიგანე შესაბამისად – 2,3 და 0,3 მ. რეტორტა ამოვებულია შიგნიდან სილიციუმის კარბიდის აგურით, რომელიც კარგი სითბოს გამტარობით ხასიათდება. რეტორტა ხურდება რეტორტის ყელის ქვემოთ განლაგებული საცეხსლებით, რომლებშიც სითბო სათბობი აირისა და წინასწარ გახურებული ჰაერის ნარევის წვის შედეგად გამოიყოფა. წინასწარ გახურებული მასალის (ნიკელის ოქსიდის ბრიკეტები და ნახშირის ნარევი) უწყვეტი ნაკადი ნელ-ნელა ეშვება რეტორტაში. მასალის ცხელ ზონაში ჩასვლისთანავე $1316^{\circ}C$ ტემპერატურაზე ნიკელის ოქსიდისა და ნახშირის ურთიერთქმედების შედეგად ლითონური ნიკელი წარმოიქმნება. აღდგენილი ლითონის გრანულები და ჭარბი ნახშირი საცეცხლური გადმოსატვირთი მოწყობილობის მეშვეობით უწყვეტად გამოდის რეტორტის ძირიდან და ქერმეტულად დახურულ სივრცეში შედის. გაცივების შემდეგ ნიკელის გრანულები მაგნიტური სეპარაციით ცალკეედება ნახშირისგან და გასუფთავებისა და გაპირილების შემდეგ პირდაპირ მომზადდება მიწროდება.

ნიკელ-სპილენძის კონვერტერის შტეინის ნელი გაცივებით გადამუშავების მეთოდი ნიკელის საერთაშორისო კომპანიამ დაამუშავა. ამ მეთოდის მიხედვით ნიკელ-სპილენძის კონვერტერის შტეინი პირს-სმიტის კონვერტერიდან ჯერ ციხეში იხმება, ხოლო შემდეგ შტეინის ნაღობი ციხეიდან ნელი გაცივების ქვაბში გადაისხმება (სურ. III.33.).

ქვაბი (ქვაბის სიგრძე, სიგანე და სიღრმე შესაბამისად 3,66, 2,45 და 0,6 მ-ია) ცეცხლგამძლე საყალიბო თიხისგან არის დამზადებული. ქვაბში გამყარებული მასის ადვილად ამოღების მიზნით ქვაბის კედლები 45° -ით არის დაქანებული. ქვაბში ცხელი კონვერტერის შტეინის ნაღობის ჩასხმის შემდეგ იგი ქერმეტულად იხურება ფოლადის საფარით და საში დღის განმავლობაში ცივდება (გაცივების სიჩქარე ტემპერატურის მაკონტროლებელი ხელსაწყოების მეშვეობით რეგულირდება). ამ დროის განმავლობაში კონვერტერის შტეინის ტემპერატურა $480^{\circ}C$ -ზე ოდნავ დაბალ ტემპერატურამდე ვარდება. აღნიშნულ ტემპერატურამდე შტეინის გაცივების შემდეგ ქვაბი ფოლადის საფარი ეხდება და ქვაბში გამყარებული კონვერტერის შტეინი კიდევ ერთი დღის განმავლობაში ჰაერზე ცივდება. ჰაერზე გაცივების შემდეგ კონვერტერის შტეინის ტემპერატურა $204^{\circ}C$ -მდე ვარდება, რის შემდეგაც გამყარებული მასა ქვაბიდან ამოიღება (ქვაბში გამყარებული მასის წონა 25 ტ აღწევს). ეინაიდან კონვერტერის შტეინის გაცივების პროცესი საკმაოდ ხანგრძლივია და 4 დღე გრძელდება, დიდ მასშტაბებში უწყვეტი პროცესის ჩატარების დროს საცივებელი ქვაბები დიდი რაოდენობით გამოიყენება.



სურ. III.33. ნიკელ-სპილენძის კონვერტირის შტეინის ნელი ვაცივებით გადამუშავების აპარატურული სქემა.

1 დნობის ღუმელში მდებარეული შტეინა; 2 ფელსა; 3 კონვერტერი; 4 კონვერტერულა წიდა დნობის ღუმელში გადამუშავებაზე; 5 კონვერტერის შტეინის ნელი ვაცივება ქვაბში; 6 მსხვრევა; 7 დაქუცმაცება; 8 მაგნიტური სეპარაცია; 9 ფლოტაცია; 10 ძვირფასი ლითონების კონცენტრატა; 11 ნიკელის სულფიდური კონცენტრატა; 12 სპილენძის სულფიდური კონცენტრატა.

კონვერტირის შტეინის ნელი ვაცივება ფაზების დაყოფის საშუალებას იძლევა და უფრო დიდი ზომის მარცვლების ზრდას უწყობს ხელს. კონვერტირის შტეინის 927°C -მდე გახურებულ ნაღობში ნიკელი, სპილენძი და გოგირდი მთლიანად გახსნილია, ხოლო ტემპერატურის 921°C -მდე დაეარდნისთანავე კონვერტირის შტეინის ნაღობიდან სპილენძის სულფიდის (Cu_2S) კრისტალების ფორმირება იწყება. ტემპერატურის შემდგომი ვარდნით გამოკრისტალებული Cu_2S -ის რაოდენობა იზრდება, ხოლო დარჩენილი თხევადი ფაზა ნიკელით მდიდრდება. ნაღობის ნელი ვაცივების პირობებში ნაღობიდან გამოლეული Cu_2S ახალი ჩანასახების (კრისტალიზაციის ცენტრების) წარმოქმნის გარეშე პირდაპირ უერთდება ნაღობში არსებულ Cu_2S -ის კრისტალებს და მათ ზრდას უწყობს ხელს, რაც მსხვილმარცვლოვანი კრისტალების მიღებას უზრუნველყოფს.

დაახლოებით 700°C -ზე ნიკელ-სპილენძის შენადნობის კრისტალიზაციის პროცესი ვითარდება, ხოლო 630°C -ზე ნიკელის სულფიდის გამყარება იწყება და ეს ტემპერატურა (630°C) უცვლელი რჩება (ვაცივების პროცესში) მანამ, სანამ გამყარების პროცესი არ დამთავრდება და თხევადი შტეინიდან მთლიანად არ გამოკრისტალდება სპილენძის სულფიდი, ნიკელ-სპილენძის შენადნობი ან ნიკელის სულფიდი. გამყარების ტემპერატურაზე ნიკელის ხსნადობა მყარ სპილენძის სულფიდში $0,5\%$ -ზე ნაკლებია, ხოლო სპილენძის ხსნადობა მყარ ნიკელის სულფიდში (BNi_3S_2) 6% -ია.

ნელი ვაცივების შემდგომ ეტაპზე, კერძოდ, 520°C -ზე გამყარებულ შენადნობში BNi_3S_2 სტრუქტურულ გარდაქმნას განიცდის და dNi_3S_2 -ში გადადის. სტრუქტურული გარდაქმნის დროსაც ტემპერატურა (520°C) არ იცვლება მანამ, სანამ გარდაქმნა მთლიანად არ დამთავრდება. სპილენძის სულფიდის და ნიკელ-სპილენძის შენადნობის ხსნადობა dNi_3S_2 -ში ბევრად ნაკლებია, ვიდრე BNi_3S_2 -ში და მათი გამოყოფა dNi_3S_2 -დან გრძელდება ვაცივების პროცესში 370°C -მდე. ამ ტემპერატურაზე სპილენძის სულფიდის $0,5\%$ რჩება ნიკელის სულფიდის ფაზაში და ამით მთავრდება სპილენძის სულფიდის და ნიკელის სულფიდის შირის ფაზური დაყოფის პროცესი (ლიკვაცია).

ნიკელ-სპილენძის ლითონური შენადნობი მთელი გამყარებული მასის 10% შეადგენს და შეიცავს ოქროსა და პლატინოიდებს, აგრეთვე შტეინში შემავალი სპილენძის 20% -ს. ვინაიდან ვერცხლი, სელენი და ტელური გოგირდთან უფრო დიდი ნათესაური კავშირით გამოირჩევა, მათი თავმოყრა, უპირატესად, სპილენძის სულფიდში ხდება.

ქვაში გამყარებული მასის ვაცივების პროცესის (რობოელიც ოთხი დღის განმავლობაში ვრძელდება) ბოლოს (ტემპერატურა 204°C -მდე ვარდება), მყარი მასა ჯერ ურნალის მეშვეობით იმტერევა, ხოლო შემდეგ იმსხვრევა და ქუცმაცდება. დამსხვრევისა და დაქუცმაცების დროს ყველა კრისტალური ფაზა თავისი მარცვლების გასწვრივ ადვილად ტყდება და ერთმანეთისგან თავისუფლდება. დაქუცმაცებული ნარევისგან მაგნიტური სეპარაციით ჯერ ნიკელ-სპილენძის შენადნობი ცალკედება, ხოლო შემდეგ ნიკელსა და სპილენძის სულფიდების განცალკევება ფლოტაციური გამდიდრების ხერხით ხორციელდება.

საილენძის სულფიდი, რომელიც 73% საილენძსა და 5% ნიკელს შეიცავს, საილენძის შტონთან ერთად კონვერტერში გადაამუშავდება.

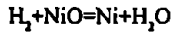
ნიკელის სულფიდი, რომელიც 73% ნიკელსა და 0,6% საილენძს შეიცავს, ანოდების სახით ჩამოისხმება და პირდაპირ ელექტროლიტურ რაფინირებას განიცდის ან ჯანგვითი გამოწვით ნიკელის ოქსიდში გადაიყვანება. შემდგომ ეტაპზე ოქსიდთან, წყალბადის ან წყალბადისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის აირების ნარევის მაღალ ტემპერატურაზე ურთიერთქმედებით, ლითონური ნიკელი მიიღება. წყალბადთან ალდგენის მეთოდში პირველ ეტაპზე ნიკელის სულფიდური კონცენტრატი (რომელიც ნიკელისა და საილენძის სულფიდების ნარევის ფლოტაციური გამაღიერების შედეგად იქნა მიღებული) სრულ ჯანგვით გამოწვას განიცდის და ნიკელის სულფიდი ოქსიდში გადადის (რეაქცია III. 31.).

გამოწვის პროცესი ტარდება მდურარე ფენის ღუმელში, რომელშიც ღლე-ღამეში 300 ტ სულფიდური მასალა გამოიწვება (ღუმელის ღიამეტრი 4,55 მ-ია, სიმაღლე კი 10,65 მ). ღუმელში შემავალი მყანგვეი აირის ნაკადის სიჩქარე წამში 2,3 მ შეადგენს. სრული გამოწვის (გოგირდის მაქსიმალურად შემცირების მიზნით) პროცესის ჩასატარებლად ტემპერატურა 982°C-ს უნდა აღემატებოდეს. პრაქტიკაში გამოწვის პროცესი დაახლოებით 1093°C-ზე ტარდება. წმინდად დაქუცმაცებული ნიკელის სულფიდის გამოწვა ასეთ მაღალ ტემპერატურაზე რიგ პრობლემებთან არის დაკავშირებული.

თუ მასალის „მდურარე ფენის“ შემკავებული მყანგვეი აირის ნაკადის ოპტიმალური სიჩქარე მკეთრად არ იქნა შემცირებული, წმინდად დაქუცმაცებული ნიკელის სულფიდის გამოწვის დროს წარმოიქმნება ჭარბი რაოდენობის მტვერი, რომელიც ღუმელიდან წარმატალი აირების სწრაფი ნაკადით წიტაცება. აირის დაბალი სიჩქარის დროს კი მდურარე ფენაში აირით ატანილი მასალის რაოდენობა მნიშვნელოვნად კლებულობს (მცირდება მდურარე ფენის სიმაღლე) და შესაბამისად ღუმელის შვარ-მოხელობა მცირდება, რაც არახელსაყრელია. შემდეგი პრობლემა დაკავშირებულია გამოწვის მაღალ ტემპერატურასთან (1093°C), რომელიც გაცილებით მეტია იმ ტემპერატურაზე (650°C), რომელზეც ნიკელის სულფიდი შერბილებას იწყებს და წებოვანი ხდება. პრობლემა კიდევ უფრო რთულდება იმით, რომ წმინდად დაქუცმაცებული მასალას გააჩნია დიდი ზედაპირული არე და ამიტომ გამოწვის დიდი სიჩქარისა და ჭარბი ეგზოთერმული სითბოს ზემოქმედებით სულფიდის ნაწილაკები ადვილად გადადის ნახვერად გამდნარ მდგომარეობაში, რის გამოც მყარფაზოვანი გამოწვის პროცესი ჩერდება.

აღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტა შესაძლებელია დაქუცმაცებული სულფიდური კონცენტრატის აგლომერაციით (ნაწილაკების გამსხვილებით). სააგლომერაციო მასალა შედგება ნარევისგან, რომელშიც 90% (წონით) Ni_2S_3 , 10% გამოწვის აირებიდან განცალკევებული მტვერი და 8% ტენია. აგლომერაციის შედეგად საკმაოდ მძიმე და შედარებით დიდი ზომის (6,25 მმ) გუნდები მიიღება. წმინდად დაქუცმაცებული მასალისგან განსხვავებით, გუნდების გამოყენების დროს მდურარე ფენის ღუმელში ნიკელის სულფიდის ჯანგვითი გამოწვის ხელსაყრელი პირობები იქმნება – აირების შებერვით მსხვილნაჭროვანი გუნდების გამოწვის რეაქციის სიჩქარე გაცილებით დაბალია, რაც გადაჭარბებული დნობის პროცესების განვითარებას გამოიწვევს. გუნდის ძირითადი ნაწილი სწრაფად იფანგება, ხოლო გუნდის შუაგულში გოგირდის მცირე რაოდენობა რჩება. გოგირდის მაქსიმალური რაოდენობით განდევნას (ნაშევიც გოგირდის შემცველობა 0,2%-ს არ უნდა აღემატებოდეს) 8 სთ ესაჭიროება. ღუმელში ასეთი გაბანგობილებული გამოწვა 4,6-მანი სიმაღლის (სიღრმის) მასალის მდურარე ფენის შეკავებით ხორციელდება (ამ სიმაღლის ფენა დაახლოებით 100 ტ დაგუნ-დაკებული მასალისგან შედგება). გოგირდის კიდევ უფრო მეტად შემცირების მიზნით, ზოგჯერ ნაშევიც მორეჯერ გამოიწვება მდურარე ფენის ღუმელში ჯანგვითი გამაღიერებელი ჰაერის შებერვით. მეორე გამოწვით ნაშევიც გოგირდის შემცველობა 0,01%-მდე ვარდება. გამოწვის შედეგად მიღებული NiO წყალბადით ალდგენას განიცდის ლითონურ ნიკელამდე სხვა მდურარე ფენის ღუმელში მომდევნო ეტაპზე. გოგირდის შემცველობა ალდგენილ ლითონურ ნიკელში 0,005%-ს შეადგენს. მიღებული პროდუქტი (ლითონური ნიკელი) ფოლადის წარმოებაში გამოიყენება, როგორც მაღვეირებული ელემენტი.

მეორე, უფრო გავრცელებულ მეთოდში ნიკელის ოქსიდის ალდგენა წყალბად-ნახშირბადის მონო-ოქსიდის აირით ხდება. პროცესი მრავალქვედიანი გამოწვის ღუმელში (ღუმელის სიმაღლე 12 მ-ია, ხოლო ღიამეტრი 1,9 მ) ტარდება. ოქსიდის ალდგენით ლითონური ნიკელი მიიღება:



(III.32.)

აღმდგენი აირი 51% წყალბადსა და 40% ნახშირბადის მონოოქსიდს შეიცავს. აღდგენის ტემპერატურა (427°C) ლუმელის მე-21 ქვედის ლუმელში ჩაყენებული საცეცხლეს მეშვეობით მყარდება. ლუმელის ქვედებზე მყარი მასალის არევა და გადაადგილება მბრუნავი საფარცხლებიანი სახვეტების მეშვეობით ხორციელდება. მასალა ქვედებზე მოთავსებული ზვრელების გავლით ქვედიდან ქვედზე უშვება და ლუმელის ბოლო ქვედზე გროვდება. აღდგენის პროცესის დამთავრების მიზნით მასალა ლუმელის ბოლო ქვედიდან გაადის მეორე მრავალქვედიან ლუმელში, სადაც აღდგენის პროცესი გრძელდება. აღდგენის პროცესის შედეგად მიღებული ლითონური ნიკელის გრანულები შემდგომ ეტაპზე ქიმიურ რაფინირებას განიცდის.

2.1.7. ნიკელის რაფინირება

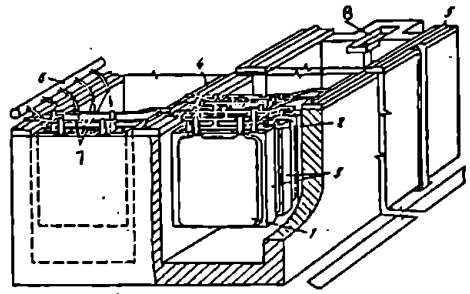
ნიკელის რაფინირება ელექტროლიტური და ქიმიური მეთოდებით ხორციელდება. რაფინირების დროს უმეტეს ქარხნებში ნედლეულად ნიკელის ოქსიდიდან კოქსით აღდგენილი ლითონური ნიკელი გამოიყენება. რაფინირების წინ ლითონური ნიკელი ლუმელში დნება და საანოდე ბოყეებში ჩამოსხმება. ელექტროლიტური რაფინირების მეორე ნედლეულს ნიკელის კონვერტერის შტეინი წარმოადგენს. შტეინში ნიკელისა და გოგირდის საშუალო შემცველობა შესაბამისად 75 და 20%-ია. ლითონური ნიკელის ანოდისგან განსხვავებით, ნიკელის კონვერტერის შტეინის ანოდური სხმული უფრო მეტი ბზინვარებით გამოირჩევა და გაცივების განსაკუთრებულ პირობებს საჭიროებს (დასკლომის თავიდან აცილების მიზნით).

ქიმიური რაფინირების დროს საწყის ნედლეულად გამოიყენება ლითონური ნიკელი, რომელიც ნიკელის ოქსიდისა და წყალბად-ნახშირბადის მონოოქსიდის ურთიერთქმედებით მიიღება. ქიმიური რაფინირების ზერხი, რომელიც ნიკელის გასასუფთავებლად გამოიყენება, კარბონილური მეთოდის სახელწოდებით არის ცნობილი.

ელექტროლიტით ლითონური ნიკელის რაფინირების დროს ლითონი ჯერ ლუმელში დნება და შემდეგ ნაღობი საანოდე ბოყეებში ჩამოსხმება (მსგავსად სპილენძის ანოდებისა). ანოდის სხმულებს ელექტროლიტის აბაზანაში ჩასაკიდებელი კაუჭები გააჩნია და თითოეული სხმული წონა დაახლოებით 264 კგ-ს შეადგენს. ანოდის სიგრძე, სიგანე და სისქე შესაბამისად 95, 60 და 5 სმ-ია. სპილენძის ანოდთან შედარებით, ნიკელის ანოდი უფრო აბაალი ზარისხისა და მასში ნიკელის, სპილენძისა და კობალტის ერთიანი საშუალო შემცველობა 95%-ს შეადგენს. ანოდის შემადგენლობაში შემავალი უხსნადი კომპონენტების (კომპონენტი, რომელიც ელექტროლიტის დროს ელექტროლიტში არ იხსნება) რაოდენობა ბევრად არის დამოკიდებული ანოდში გოგირდის შემცველობაზე (გოგირდის შემცველობა ანოდში 1%-ს არ უნდა აღემატებოდეს). თუ ანოდი 10% გოგირდს შეიცავს, მაშინ უხსნადი სულფიდების რაოდენობა ანოდის საწყისი წონის 30%-ს მიაღწევს, რასაც ზედ დაემატება ანოდური ჯართის კიდევ 10% (ანოდის საწყისი წონის), ასეთ შემთხვევაში გადასაშუალებელი ანოდების რაოდენობა გაიზრდება და ელექტროლიტის აბაზანის მწარმოებლობა მკვეთრად დაეცემა.

კათოდური ნიკელის გაჭუჭყიანების თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ელექტროლიტური ხსნარიდან იმ ლითონური (სპილენძი, რკინა, კობალტი და დარიშხანი) მინარეების განდევნა, რომელიც ელექტრომაგნიტურ ძაბვითა მჭკრივში ნიკელთან ახლოს არის განლაგებული. წინააღმდეგ შემთხვევაში ნიკელთან ერთად ხსნარში გადასული ლითონური მინარეები კათოდზე გამოილეკება და კათოდურ ნიკელს გააჭუჭყიანებს. ლითონური მინარეების მოცილების მიზნით სუფთა ნიკელისგან დამზადებული კათოდები ელექტროლიტში ჩამაგრებულ დიაფრაგმამ (დიაფრაგმა უბში, ფორებიანი ტილოსგან არის დამზადებული) კამერებში (ხის ჩარჩოსგან დამზადებული ყუთი, რომელიც დიაფრაგმებით არის გადაკრული) თავსდება. ელექტროლიტის შედეგად გაჭუჭყიანებული ანოდიტი (ელექტროლიტური ხსნარის ნაწილი, რომელშიც ანოდებია ჩამყვებული) აბაზანიდან ამოიღება და შესაბამის მინარეებისგან სუფთავდება. გასუფთავებული ხსნარი, რომელიც ნიკელის იონებს შეიცავს, კათოდის დამცველ კამერაში ბრუნდება. დაბრუნებული, გასუფთავებული ხსნარიდან კი

ნიკელის იონები კათოდზე ილექება. კათოლიტის (კათოდის კამერაში მდებარე ელექტროლიტური ხსნარი) გაჭუჭყიანებისგან დაცვის მიზნით კათოდის კამერაში შეკავებული ხსნარის დაწვევის სიმაღლე 5 სმ-ით მეტია, ვიდრე ანოდის კამერაში, ისე, რომ როცა გასუფთავებული ხსნარიდან ნიკელის იონები კათოდზე გამოილექება, ხსნარი კათოდის კამერიდან დიფრაგმის გავლით შედის ანოდის კამერაში, სადაც ლითონების იონებით შეივსება და ამავე დროს ლითონური მინარე-ეებისგან სუფთავდება.



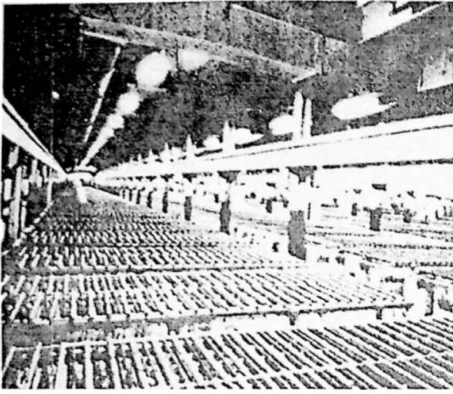
სურ. III.34. ნიკელის ელექტროლიტური რაფინირების აბაზანა კათოდის დიფრაგმის კამერებში. 1. ანოდი; 2. კათოდი; 3. კათოდის დიფრაგმის კამერები; 4. შეაღებელი საღებავი; 5. გვერდითი საღებავი; 6. კათოლიტის გამსაწვლელი; 7. აბაზანაში ჩამავალი კათოლიტის; 8. ანოდიტის გადმოსაშვები.

ანოლიტის გასუფთავების პროცესში პირველად სპილენძი განილენება ხსნარიდან დაცემენტებით, რისთვისაც ნიკელის ფხენილი გამოიყენება. დაცემენტების პროცესში სპილენძი ფხენილის სახით ილექება ხსნარში, ხოლო მისი ექვივალენტური რაოდენობის ნიკელი ხსნარში გადადის (ხსნარში სპილენძი ნიკელი ჩაინაცვლება). დაცემენტებული სპილენძი იფილტრება და გაფილტვრის შემდეგ სპილენძის სადნობ ქარხანაში იგზავნება. გასუფთავების მეორე საფეხურზე რკინა განილენება. ხსნარის ინტენსიური აერაციის შედეგად რკინა იგანგება და სამეალენტური რკინის ჰიდროქსიდის ($Fe(OH)_3$) სახით გამოილექება ხსნარიდან. ჰიდროლიზის შედეგად რკინასთან ერთად მცირე რაოდენობის ნიკელი და კობალტიც ილექება და მათთან ერთად ხსნარიდან დიდი რაოდენობის დარიშხანი განილენება. ნიკელისა და კობალტის ამოღების მიზნით ნალექი იფილტრება და სადნობ ქარხანაში იგზავნება. გასუფთავების ბოლო საფეხურზე გაფილტვრული ხსნარი აირად ქლორით მუშავდება, რის შედეგადაც ხსნარიდან სამეალენტური კობალტის ჰიდროქსიდთან ($Co(OH)_3$) ერთად დარიშხანი და ტყვია გამოილექება. გაფილტვრის შემდეგ ნალექი კობალტის რაფინირების ქარხანაში იგზავნება. ხსნარის გასუფთავების დროს ჰიდროლიზის შედეგად წყალბადის იონები წარმოიქმნება. ამიტომ გასუფთავებული ხსნარის (კათოლიტის) ელექტროლიზის აბაზანის კათოდის დიფრაგმის კამერაში (სურ. III.34.) გადატუმბვამდე აუცილებელია წყალბადის იონების განეიტრალება ხსნარში. ამისთვის გასუფთავებულ ხსნარს ემატება ნიკელის კარბონატი, რომელიც ხსნარის pH-ის მაჩვენებელს არეგულირებს (5,2-მდე).

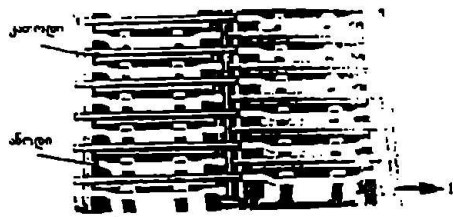
გასუფთავებულ, ძირითადად ქლორიდულ (ქლორის გარდა ელექტროლიტი შეიცავს აგრეთვე ბორის მგაეასა და ნატრიუმის სულფიტს) ელექტროლიტში, საიდანაც ნიკელი გამოილექება კათოდზე, ნიკელის შემცველობა 60 გ/ლ შეადგენს. კათოდის კამერებში შესული გასუფთავებული ელექტროლიტის ყოველი ახალი პორციიდან კათოდზე 12-14 გ/ლ ნიკელი ილექება. აბაზანიდან კათოდები ყოველ 8-10 დღეში ერთხელ ამოიღება (აბაზანიდან ამოღებული კათოდი, დაახლოებით, 57 კგ-ს იწონის), მათი უმეტესი ნაწილი კედრატებად (5×5 სმ) იჭრება და პირდაპირ მომხმარებელს მიეწოდება. კათოდურ პროდუქტში ნიკელის შემცველობა 99,93% აღწევს. ელექტროლიზის პროცესში ანოდების ერთი წყება რჩება აბაზანაში მანამ, სანამ სამ წყება კათოდზე ლითონური ნიკელის გამოილექება არ დასაურდება. ამ ხნის განმავლობაში ანოდების საწყისი წონის 80-90% იხარჯება. აბაზანაში დარჩენილი ანოდების მასა (ანოდის საწყისი წონის 10-20%) ამოიღება და გარეცხვის შემდეგ ანოდების სადნობ ლუმელში ბრუნდება.

ელექტროლიზის საამქროში (სურ. III.35.) განლაგებული აბაზანები დაწყვილებულია. დაწყვილებულ აბაზანებს საერთო ცენტრალური კედელი გააჩნია (სურ. III.36.). ელექტროკონტაქტის დასამყარებლად ერთი აბაზანის ყველა კათოდი და მეორე აბაზანის ყველა ანოდი საერთო ელექტროშინის ძელზეა დაკავშირებული.

ანოდში შემავალი ყველა კომპონენტი, გარდა სულფიდებისა და ძვირფასი ლითონებისა, ელექტროლიტში იხსნება. სულფიდები და ძვირფასი ლითონები შლამის სახით აბაზანის ფსკერზე ილექება. შლამი პერიოდულად ამოიღება (სურ. III.37.) და გადასამუშავებლად იგზავნება.

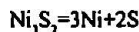


სურ. III.35. ნიკელის ელექტროლიტურა რაფინირების საამქრო.



სურ. III.36. ნიკელის ელექტროლიზის დაწყებულ აბაზანებში ანოდების, დაფარავიანი კაპრებისა და კათოდების განლაგება.

ელექტროლიზის დროს ერთნაირი აბაზანები და ელექტროწრედის ერთი და იგივე სისტემა გამოიყენება. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ შტეინის ელექტროლიზის დროს ელექტროლიტის ტემპერატურა (63°C) ოდნავ მაღალია, რაც აბაზანზე გაზრდილი ძაბით (4 ვ) არის გამოწვეული. ამ შემთხვევაში აბაზანა შიგნიდან მხოლოდ გაზრდილ ტემპერატურაზე მდგრადი სინთეტიკური მასალით ამოივება. აქაც, ისევე, როგორც ლითონური ნიკელის ელექტროლიზის დროს, სულფატ-ქლორიდული ელექტროლიტი გამოიყენება. სუფთა ნიკელის ფურცლისგან დამზადებული კათოდი დაფარავიანი კაპრებშია მოთავსებული, ხოლო ანოდი ჩამზებულია სინთეტიკურ ბოჭკოსგან ნაქსოვ ტომრებში, რომლებიც პოლიმერული რეზინით არის დამუშავებული. სულფიდური ანოდის გახსნა ითვალისწინებს სულფიდის გოგირდის დაფანკვას ელემენტურ გოგირდამდე ანოდის 1,2 ვ ძაბვაზე (მაშინ, როცა ლითონური ანოდი იხსნება ანოდის 0,2 ვ ძაბვაზე):



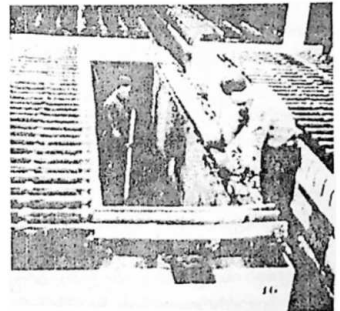
(III.33.)

ანოდის გახსნით წარმოქმნილი გოგირდი ანოდის ზედაპირზე რჩება რბილი დანაფარის სახით, რომელშიც გოგირდის შემცველობა 95%-ია. ელემენტური გოგირდი ძვირფას ლითონებთან ერთად

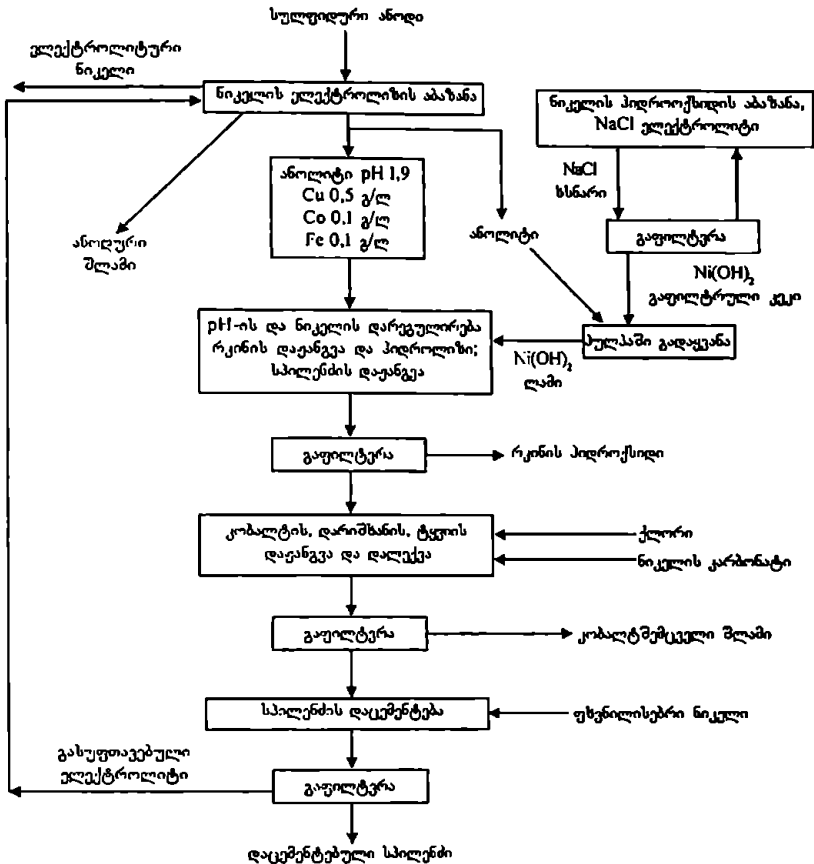
აბაზანებზე ელექტროწრედი ვოლტების მულტიპლასის სისტემით არის ჩართული. ბეტონის აბაზანები მასტიკით ან ასფალტით არის ამოვსებული. ლითონებთან შეხების თავიდან აცილების მიზნით ელექტროლიტის გადაადგილება რეზინის, პლასტიკატის ან ხის მასალისგან დამზადებულ მილებში ხდება. დენის სიმჭირდოვე კათოდის ზედაპირზე 178 ამპ/მ² შეადგენს. ლითონის გამოსავალი, დენის მიხედვით 95%-მდე აღწევს. აბაზანაზე ძაბვა 2,5 ვ ტოლია, ხოლო ელექტროლიტის ტემპერატურა 57°C შეადგენს.

ნიკელის კონვერტერის შტეინიდან ჩამოსხმული ანოდის ელექტროლიზით რაფინირებული ნიკელის მიღების მეთოდი ნიკელის საერთაშორისო კომპანიაში დაამუშავა. შტეინის ანოდები დაახლოებით ლითონური ნიკელის ანოდების ზომისაა. როგორც აღინიშნა, ანოდების სხმულის გაცივებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. წელი გაცივების პროცესში ანოდები 510°C -ზე 12 საათი ყოვნდება. ამ ხნის განმავლობაში აღნიშნულ ტემპერატურაზე $\beta\text{Ni}_3\text{S}_2$ სი $\alpha\text{Ni}_3\text{S}_2$ -ში ფიზიკური გარდაქმნის პროცესი მთავრდება. გარდაქმნის პროცესის დამთავრების შემდეგ ანოდების დასკომის საშუალებით აღარ არსებობს და ანოდების გაცივება 204°C -მდე 24 საათი გრძელდება, შემდეგ კი ანოდები პაერზე გარემოს ტემპერატურამდე ცივდება.

კონვერტერის შტეინიდან ელექტროლიტური ნიკელის მიღების ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.38. სურათზე. შტეინისა და ლითონური ნიკელის



სურ. III.37. შლამის ამოღება ელექტროლიზის აბაზანიდან.



სურ. III.30. კონვენტურის შტეინიდან (ნიკელის სულფიდთან) ელექტროლიტური ნიკელის მიღების ტექნოლოგიური სქემა.

გროვდება ტომარაში, რომელშიც ჩამუშავებულია ანოდი. კობალტი, სპილენძი, რკინა და დარიშხანი ნიკელთან ერთად ანოდიტში იხსნება. კათოდზე მალაღი სისუფთავის ნიკელის გამოლექვის მიზნით აქაც, ისევე როგორც ლითონური ნიკელის ელექტროლიზის დროს, აუცილებელია სპილენძის, რკინის, ტყვიისა და კობალტის განდევნა ელექტროლიტიდან. ამ მიზარეუბის მოცილება, ძირითადად, ლითონური ანოდის ელექტროლიზის დროს გამოყენებული მეთოდებით ხორციელდება. ეს ორი პროცესი (ნიკელის შტეინისა და ლითონური ნიკელის ელექტროლიზური პროცესები) ერთმანეთისგან, ძირითადად, განსხვავდება იმით, რომ ელექტროლიზის დროს შტეინის ანოდებიდან ნიკელის იონების ხსნარში გადასვლის სიჩქარე ლითონური ანოდებიდან ნიკელის იონების გადასვლის სიჩქარეზე გააცილებით დაბალია. გარდა ამისა, ლითონური ანოდებისგან განსხვავებით, სულფიდურ ანოდებზე მოდებული ძაბვა იმდენად მაღალია, რომ წყლის ნაწილი იშლება და დაშლის შედეგად აირადი ფანგბადი და თავისუფალი მჟავა წარმოიქმნება. შედეგად ანოდიტის მეაიანობა იცვლება (pH-1,9) და ნიკელის რაოდენობა ანოდიტში მცირდება. ასეთ პირობებში გასუფთავებული ელექტროლიტიდან ნიკელის გამოლექვა კათოდზე შეიძლება უფრო სწრაფად მოხდეს, ვიდრე მისი გადასვლა ანოდთან ხსნარში. ამის თავიდან ასაცილებლად გასუფთავების პროცესში ანოდიტს ნიკელის ჰიდროქსიდი (ტუტე)

ან ნიკელის კარბონატი ემატება, რაც ხსნარში ნიკელის რაოდენობას ზრდის და ამავე დროს ჰარბ მკაყას ანტიტრალბს (pH-4). გასუფთავებული ელექტროლიტი, რომელიც კათოდის კამერაში ჩადის, 60 გ/ლ ნიკელს შეიცავს.

კათოდები 10 დღეში ერთხელ ამოიღება აბაზანიდან. ანოდების ერთი წყება სამ-ოთხ წყება კათოდური ნიკელის მიღებას უზრუნველყოფს. კათოდურ ნიკელში ნიკელის შემცველობა 99,95%-ს აღწევს. აბაზანიდან ამოღებული კათოდები შესაბამის ზომებად იჭრება და პირდაპირ მომხმარებელს მიეწოდება. აბაზანიდან ამოღებული კათოდი დაახლოებით 65 კგ იწონის.

სამი-ოთხი წყება კათოდების აბაზანიდან ამოღების შემდეგ ანოდების ნარჩენებიც ამოიღება. ნარჩენებიდან გოგირდის ფენა და ძვირფასი ლითონების ლამი ჩამოიფხიკება და კონვერტერში გადასამუშავებლად ბრუნდება, ხოლო ანოდის ტომრებში დაგროვილი მკარი მასა, რომელშიც გოგირდის შემცველობა 93%-მდეა, ჩამორეტება და 135°C-ზე გახურებით დნება. ნადნობის გაფილტურის შედეგად ნადნობში უხსნადი სულფიდები და ძვირფასი ლითონები ცალკეედება და გადასამუშავებლად იგზავნება (სასარგებლო ელემენტების ამოღების მიზნით).

კათოდის ზედაპირზე დენის 223 ამპ/მ² სიმჭიდროვეზე ნიკელის გამოსავალი, დენის მიხედვით, საკმაოდ მაღალია (99,5%).

ნიკელის ქიმიური რაფინირების ხერხი, რომელიც კარბონილური ან მონდის (პროცესი ლუდევი მონდის მერ დაბუშვება) პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი, ნიკელისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის ურთიერთქმედებასთან არის დაკავშირებული. ტემპერატურების 38-93°C-ის ფარგლებში ლითონური ნიკელისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება აქროლადი ნიკელის კარბონილი, რომელიც სარეაქციო კამერიდან აირების ნაკადით განიდევენება:



რეაქცია ადვილად შეტყვევადია და თუ აირადი ნიკელის კარბონილი რეაქტორში მოთავსებულ 150-316°C ტემპერატურულ ზღვრებში გახურებულ დაქუცმაცებულ ნიკელის მარცვლებს შეერევა, დაიშლება და დაშლის შედეგად წარმოიქმნილი ნიკელის ორთქლი ნიკელის მარცვლებზე გამოილეება:



ნიკელის კარბონილური რაფინირების მეთოდი მაღალი სელექტიურობით გამოირჩევა და ამიტომ ატმოსფერული წნევისა და შერჩეული ტემპერატურების პირობებში პროცესის ჩატარებით მხოლოდ ნიკელის აქროლადი კარბონილის ფაზა წარმოიქმნება (ცხრილი III.8.), რაც მაღალი სისუფთავის ნიკელის მიღებას უზრუნველყოფს.

ცხრილი III.8.

ნიკელის (სპილენძის კარბონილი არ წარმოიქმნება), რკინის და კობალტის კარბონილების ძირითადი თვისებები

კარბონილი	დნობის ტემპერატურა	დუღილის ტემპერატურა, °C	დაშლის ტემპერატურა, °C
Ni(CO) ₄	-25	43	180
Fe(CO) ₅	-20	105	130
Co(CO) ₈	51	იშლება	60

ნიკელის საერთაშორისო კომპანიის ერთ-ერთი ქარხნის ნიკელის რაფინირების სააქციოზო კარბონილური პროცესი გამოიყენება. რაფინირების საწყის ნედლეულს NiO-დან აღდგენილი (აღმდგენი წყლის ორთქლის, 54% წყალბადისა და 40% ნახშირბადის მონოოქსიდისგან შემდგარ ნარევის წარმოადგენს) გრანულირებული ნიკელი წარმოადგენს.

ნიკელის რაფინირების პროცესი ორ რეაქტორში ტარდება. აქროლის რეაქტორი, რომელშიც ნიკელის აქროლადი კარბონილი წარმოიქმნება, პერმეტულად დახურულ, ცილინდრული ფორმის სვეტს წარმოადგენს. დაშლის რეაქტორი, რომელშიც ნიკელის კარბონილის დაშლით რაფინირებული ნიკელი მიიღება, წინასწარი გახურებისა და სარეაქციო კამერებისგან შედგება.

აქროლის რეაქტორის სვეტის დიამეტრი 1,83 მ-ია, ხოლო სიმაღლე - 12,2 მ. სვეტში 21 ქველა განლაგებული (კონსტრუქციით სვეტი მრავალქვედიანი გამოწვის ღუმელის მსგავსია).

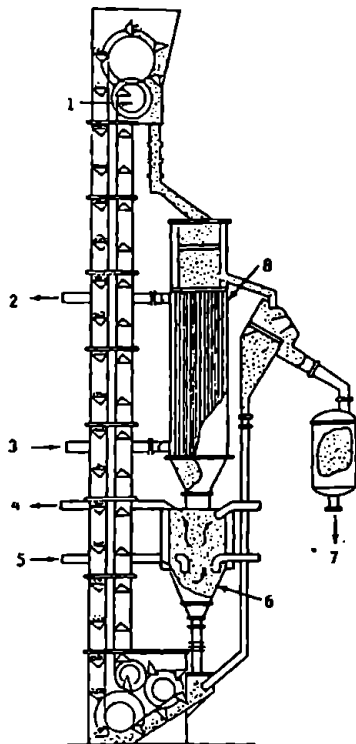
გასასუფთავებელი ნიკელის გრანულები სვეტის ზედა ქველზე იტვირთება და ქველიდან ქველზე გადასვლით სვეტის ძირში ჩადის, ხოლო ნახშირბადის მონოოქსიდის აირის ნაკადი სვეტის ძირიდან შედის და ზევით ადის. ნიკელის მონოოქსიდის აირების ნაკადთან შეხებისას წარმოიქმნება ნიკელის კარბონილი, რომელიც აირების ნაკადს უერთდება და სვეტის ზედა ბოლოდან გადის. კარბონილის წარმოქმნის რეაქცია სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს. აქტიური კარბონილიზაციის ტემპერატურის (60°C) შესაკავებლად აუცილებელია სითბოს რეგულირება. ჭარბი სითბოს განდევნა წყლით საცივებელი სისტემის მეშვეობით ხორციელდება (სვეტის გარსაცმში ან ქველის ღრმულში წყლის ცირკულაციით).

აქროლის სვეტში ნიკელის გრანულების ერთი ჩაშვებით გრანულებიდან მხოლოდ ნიკელის ნაწილი გადადის კარბონილში. ნიკელის მაქსიმალურად ამოღების (95%) მიზნით ნიკელის გრანულების სვეტში ჩაშვება და მათი ნახშირბადის მონოოქსიდის ნაკადთან შეხება რვაჯერ მეორდება, რასაც ოთხი დღე ესაჭიროება. რიგში განლაგებული 8 აქროლის სვეტში დღე-ღამის განმავლობაში 20 ტ გასასუფთავებელი ნიკელის გრანულები გადაამუშავდება. რვა სვეტიდან გამოტვირთული და გადაამუშავებული გრანულების ნარჩენი, რომელიც სპილენძს, რკინას, კობალტს და ძვირფას ლითონებს შეიცავს, გადასამუშავებლად იგზავნება.

რვა აქროლის სვეტიდან წარმატალი აირები, რომლებიც სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს ნიკელის კარბონილს (პირველი სვეტიდან გამომატალი აირი 15% კარბონილს შეიცავს, ხოლო ბოლო სვეტიდან გამომატალი აირი — $0,5\%$ -ს; კარბონილის საშუალო შემცველობა აირებში 8% -ს შეადგენს), გადადის დაშლის რეაქტორში.

დაშლის რეაქტორის (სურ. III.39.) წინასწარი გახურების კამერაში (კამერის სიგრძე 6 მ-ია, ხოლო დიამეტრი $1,25$ მ) გასუფთავებული მარცვლოვანი ნიკელის მასა გრავიტაციით ჩადის ქვემოთ და 232°C -მდე გახურებულ სარეაქციო კამერაში (დაშლის კამერა) ხვდება, სადაც კარბონილის აირის ამომატალი ნაკადთან კონტაქტში შედის. გახურებული ნიკელის მარცვლებიდან სითბო კარბონილის აირს გადაეცემა. გახურებული კარბონილი იშლება და დაშლის შედეგად გამოყოფილი ნიკელი ილექება ნიკელის მარცვლების ზედაპირზე. სარეაქციო კამერის ძირში გრავიტაციით ჩასული მარცვლოვანი ნიკელის მასა კამერიდან გადის და ნიჩბიანი ელევატორების მეშვეობით ადის ზევით, საიდანაც განმეორებით ჩადის წინასწარი გახურებისა და სარეაქციო კამერებში.

ნიკელის ახალი მარცვლების გახრდის მიზნით დაშლის რეაქტორში პერიოდულად ჩატვირთება ფუნქციონირებს ნიკელი. ნიკელის მარცვლების $7,8$ მმ-მდე გახრდას დაშლის რეაქტორში დაახლოებით 3 თვე ესაჭიროება (მარცვლების სისხო მომხმარებელის მოთხოვნებიდან დგინდება).



სურ. III. 30. ნიკელის კარბონილის თერმული დაშლის რეაქტორი.

1. ელევატორი; 2. გამონაბოლქვი აირები; 3. ცხელი აირები; 4. ნახშირბადის მონოოქსიდი; 5. ნიკელის კარბონილის აირი; 6. სარეაქციო კამერა (დაშლის კამერა); 7. გასუფთავებული ნიკელი; 8. წინასწარი გახურების კამერა.

კარბონილური რაფინირების შედეგად უფრო მაღალი ხისუფთავის ლითონური ნიკელი მიიღება, ვიდრე ელექტროლიტური რაფინირებით. სხვადასხვა მეთოდით რაფინირებული ნიკელის ანალიზის მარკენებლები წარმოდგენილია III.9. ცხრილში.

ცხრილი III.9.

სხვადასხვა ხერხით რაფინირებული ნიკელის ანალიზის მარკენებლები

ელემენტის შემცველობა, %	კარბონილური პროცესი	სულფიდური ანოდების ელექტროლიზი	ლითონური ანოდების ელექტროლიზი
Ni	99,95	99,27	99,73
Co	0,03	0,70	0,25

2.2. ნიკელის ნედლეულის გადამუშავება ჰიდრომეტალურგიული ხერხით

2.2.1. ნიკელის ნედლეულის გამოტუტვა

ფართოდ გავრცელებული ნიკელის ლატერიტული მადანი, რომელიც ნიკელის შნიშენელოვან წიაღისეულ მარაგს წარმოადგენს, დაბალი ხარისხისაა და რთული შემადგენლობით გამოირჩევა. ამასთან, გოგირდი, რომელიც ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების დროს შტენის ფორმირებისთვის არის საჭირო, მადნის შემადგენლობაში არ შედის. აქედან გამომდინარე, ლატერიტული მადნების ჰიდრომეტალურგიული ხერხით გადამუშავება ნაკლებად ხელსაყრელია. ლატერიტების გადასამუშავებლად უფრო მიზანშეწონილია ჰიდრომეტალურგიული ხერხის გამოყენება. მადნების ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების დროს გამოტუტვის ორი, ერთმანეთისგან განსხვავებული მეთოდი გამოიყენება. მეთოდი შერჩევა მადანში ტუტე მადნოების ოქსიდის პროცენტულ შემცველობაზე დამოკიდებულია. იმ შემთხვევაში, თუ მადანი დიდი რაოდენობით შეიცავს მადნოების ოქსიდს, მადნის მქავეური გამოტუტვა მიუღებელი ხდება მჟავა-რეაგენტის დიდი ხარჯის გამო – მჟავა დაიხარჯება როგორც ნიკელის ხსნარში გადასაყვანად, ასევე მადნოების ოქსიდის გასანიტრალბლად. ამიტომ მადნოების ოქსიდის მაღალი შემცველობის მადნების გამოტუტვა ამიაკურ-ტუტე ხსნარში (ატმოსფერული წნევისა და გარემოს ტემპერატურის პირობებში) ხორციელდება.

მადნოების ოქსიდის დაბალი შემცველობის მადნების გოგირდმჟავას ხსნარში გამოტუტვა შესაძლებელი ხდება, ეინადაც ამ შემთხვევაში ტუტე მადნოების ოქსიდის განეიტრალბასთან დაკავშირებით დიდი რაოდენობის გოგირდმჟავას დანაკარგების პრობლემა მოხსნილია. გახსნის პროცესების დაჩქარების მიზნით ამ მეთოდში გამოტუტვა მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში ტარდება.

ლატერიტული მადნები უფრო მეტად გავრცელებულია თბილ და ღიდწვიმიან რეგიონებში, სადაც რკინისა და მადნოების სერპანტიტული (კლანილი) ქანები ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იფიტება. გამოფიტვის პროცესში საწყისი სერპანტიტის ქანიდან მიწაში განაფონი წყლებით კავშირისა და მადნოების ოქსიდების ნაწილი გამოიტუტა და ნარჩენ ქანში ნაკლებად ხსნადი რკინის, კობალტის, ნიკელის, ქრომისა და ალუმინის ოქსიდები დაკონცენტრირდა.

მადნოების ოქსიდების მაღალი შემცველობის ლატერიტების გამოტუტვის პროცესი ნიკაროს პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი (ფრიიპორტის კომპანია კუბაში).

გამოსატუტ ლატერიტის მადანში $[H_2(NiMg)SiO_4 \cdot nH_2O]$ ნიკელის, მადნოების ოქსიდისა და კვარცის (კაჟმიწა) შემცველობა, შესაბამისად 1,4; 8 და 14%-ია. გამოტუტვამდე მადანი შრება, ქუტმაცდება (90% ბინუს 200 მეშამდე) და NiO-ს ლითონურ ნიკელამდე აღდგენის მიზნით აღმდგენ ატმოსფეროში გამოიწევა. გამოწევის შედეგად მიღებული პროდუქტი ამიაკის ხსნარში გამოიტუტება.

რეგი მიზნების გამო გამოწევის პროცესი განსაკუთრებულ პირობებში ტარდება. პროცესისთვის აუცილებელია მაღალი აღმდგენი ატმოსფეროსა და დაბალი ტემპერატურული რეჟიმის დამყარება, რათა ნიკელის ლითონამდე აღდგენა 760°C-ზე ქვევით განხორციელდეს. პროცესის 760°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ჩატარების დროს ფეზოთერმული ფაზური ცვლილების შედეგად

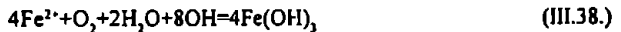
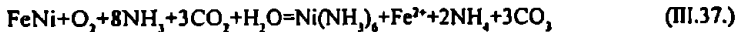
ნიკელის ალდგენელი ოქსიდი სერპანტიტიდან გამოყოფილი ოლივინის მინერალში მაგნიუმის ოქსიდის მაგივრად ჩაინაცვლება და NiO-ს ალდგენას გაართულებს. რეაქციაში მონაწილე ალდგენისა და NiO-ს ფარდობა 1:1-თან მიახლოებულ ზღვრებს უნდა შეესაბამებოდეს, რათა სრულყოფილად წარმოართოს როგორც ნიკელის ლითონამდე ალდგენის რეაქცია (III.32.), ასევე ორველენტანი რკინის მაგნეტიტამდე ალდგენის რეაქცია:



გამოწეის შედეგად მიღებულ პროდუქტში ალდგენილი ლითონური ნიკელი, ნიკელ-რკინის მყარი ხსნარის შენადნობის სახით არის წარმოდგენილი.

წერილად დაქუტმაცებული ალდგენილი ნაწილაკების ცხელი მასა რეაქტორიდან პირდაპირ გადადის საცივებელში (ცხელი ნაწილაკების საერზე დაეანგვის თავიდან აცილების მიზნით), რომელშიც ნეიტრალური (არადამყანგველი) ატმოსფეროა შექმნილი. ფოლადის მილისგან (მილის სიგრძე 24,5 მ-ია, ხოლო დიამეტრი 2,5 მ) დამზადებული საცივებელი წყლის აბაზანაში ჩაშვებული და წელი სიჩქარით ბრუნავს. საცივებელში შემავალი ალდგენილი ფხვნილისებრი მასა 760°C-მდე გახურებული, ხოლო საცივებლიდან გადმოტვირთული გაციელებული მასის ტემპერატურა 149°C შეადგენს.

გაცივებული ფხვნილისებრი მასის ამიაკ-ამონიუმის კარბონატის (ამიაკის შემცველობა 6,5%-ია) ხსნარში შერევით დამზადებული პულა თავსდება ბეტონის კოლბებში, რომლებიც პულას შერევი მოწყობილობითაა აღჭურვილი. გამოტუტვის პროცესში ნიკელ-რკინის შენადნობის დაეანგვის შედეგად წარმოქმნილი ნიკელისა და ორველენტანი რკინის იონები ხსნარში გადადის. ორველენტანი რკინის იონების შემდგომი დაეანგვით რკინა სამუალენტანში გადადის და ვულატინის მასის სახით ხსნარიდან გამოილექება:



გამოტუტვის კოლბიდან პულაიანი ხსნარი სასქელებლებში გადადის. სასქელებლების გადასაშვებიდან გადმოსული ხსნარი, რომელიც 12 გ/ლ ნიკელს შეიცავს, ნიკელის დალექვის სამჭროში მიემართება. სასქელებელში დარჩენილი მყარი ნარჩენი ამიაკიანი წყლით რამდენჯერმე ირეცხება და ნარეცხი ხსნარი გამოტუტვის შედეგად მიღებულ ძირითად ხსნარს (რომელიც ნიკელის დალექვის სამჭროში მიემართება) უერთდება, ხოლო ბოლო ნარეცხი ხსნარი ამიაკის ამოღების მიზნით გადაამუშავდება.

მაგნიუმის ოქსიდის დაბალი შემცველობის ლატერიტი (ნიკელი 1,35%, მაგნიუმის ოქსიდი 1,66% და კაემიწა 3,7%) ნიკელისა და კობალტის ამოღების მიზნით მაღალ ტემპერატურასა და წნევაზე გოგირდმჟავას ხსნარში გამოიტუტება (შო ბეის პროცესი, ფრიიპორტის კომპანია კუბაში). თუ ლატერიტული მადანი გოგირდმჟავათი გაზაყებულ ხსნარში ჩვეულებრივ პირობებში (ატმოსფერული წნევისა და გარემოს ტემპერატურაზე) გამოიტუტება, მაშინ მადანში შემაკალი რკინის (68% რკინის ოქსიდი) მნიშვნელოვანი ნაწილი ნიკელთან და კობალტთან ერთად ადვილად გადავა ხსნარში. მაღალი ტემპერატურისა (230–260°C) და წნევის (4203კპას) პირობებში და გოგორდმჟავას იგივე კონცენტრაციის მქონე ხსნარში საბიუე ლითონი (ნიკელი, კობალტი და რკინა) ნაკლებად ხსნადი ხდება. ასეთ პირობებში ყველაზე მეტად რკინის ხსნალობა მცირდება, რის შედეგადაც რკინის მხოლოდ მცირე ნაწილი გადადის ხსნარში, ხოლო ნიკელისა და კობალტის საკმაოდ დიდი რაოდენობა (95% მეტი) კელავ ხსნარში იხსნება. მადანში მაგნიუმის შემცირებული რაოდენობა გოგორდმჟავას ეკონომიურად ხარჯვის საშუალებას იძლევა.

გამოტუტვის წინ მადანი ირიცხება და იცრება. გაცრის დროს 20 მეშზე დიდი ზომის მადნის ნაჭრების უკუგდება ხდება, ხოლო მინუს 20 მეში მადნის ქვიშისგან მზადდება პულა (წყალში მადნის მყარი ნაწილაკების 25%-ის ოდენობით), რომელიც ქარხნის საგროვებელ სასქელებლებში თავსდება. სასქელებელში შერეობებულ პულას მარაგი 3-5 ღლის განმავლობაში (სასქელებლის დიამეტრი 99 მ-ია, ხოლო სიღრმე – 9,75 მ) უზრუნველყოფს საქარხნო წარმოებას ნელელულის. სასქელებელში პულა იწრიტება და მასში მყარის რაოდენობა 45%-ით იზრდება.

პულმა სასქელებლიდან გადაღის შემრევი მოწყობილობით აღჭურვილ წინასწარი შეთბობის კოდში, რომელშიც პულმა ჯერ 77°C-მდე ხურდება. პულპის მომდევნო გახურების ეტაპი თანმიმდევრობით განლაგებულ ოთხ სახურებელ სეკტში ტარდება. პულმა კოდისაგან გადაღის რიგით პირველ სეკტში და იქიდან დანარჩენ სეკტებში ნაწილდება. პირველ სეკტში შედის აგრეთვე პულაში შესარევი კონცენტრირებული (98%) გოგირდმჟავა. სახურებელ სეკტში წნევით (4203კპას) შეშვებული ორთქლი პულას სარეაქციო ტემპერატურამდე (232°C) ახურებს. სახურებლებიდან პულპისა და გოგირდმჟავას ნარევი გრავიტაციით ეშვება და თანმიმდევრობით შედის რიგში განლაგებულ ოთხ ავტოკლაკში (ავტოკლაკის სიმაღლე 15 მ-ია, ხოლო დიამეტრი 3 მ). ავტოკლაკებში გოგირდმჟავიანი პულმა ტიტანის მილებიდან (მილის დიამეტრი 40 სმ-ს შეადგენს) წნევით (4302კპას) შეფრქვეული ორთქლით ორევა (პულპის ცირკულაცია პაჩუკა ბაჟის პრინციპით ხორციელდება). ავტოკლაკი შიგნიდან ტყვიითა და მჟავამდგრადი აგურებით არის ამოგებული. ავტოკლაკებში გამოტუტვის პროცესის საერთო ხანგრძლივობა 1-2 საათს შეადგენს.

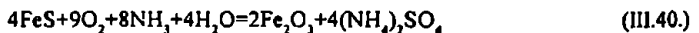
გამოტუტული პულმა ავტოკლაკიდან (რიგით მეთხუე) სითბოს მიმომცველში შედის და ისევ წნევის ქვეშ 135°C-მდე ცივდება. სითბოს მიმომცველიდან ყვინთა ტუმბოს მეშვეობით პულმა გადაღის სპეციალურ კოდში, სადაც ატმოსფერული წნევა მყარდება. დედახსნარისა და უხსნადი მყარი ნარჩენის განცალკევების მიზნით გამოტუტული პულმა კოდისაგან სასქელებლებში ჩაედინება. სასქელებელში განცალკევებული დედახსნარი, რომელიც 5,95 გ/ლ ნიკელს შეიცავს, დალეკვის სააქროში მიემართება. გამოტუტვის პროცესში ნედლეულიდან 96% ნიკელი ამოიღება. მრავალჯერადი გარეცხვის შემდეგ მყარი ნარჩენი გადაიყრება (ნარჩენი 0,06 ნიკელს შეიცავს).

ორი სხვადასხვა სახის სულფიდური ნედლეული – ფლოტაციური კონცენტრატი და კონვერტერის შტეინი განსხვავებული მეთოდებით გამოიტუტება. ფლოტაციური კონცენტრატი ავტოკლაკში ამიაკის ხსნარში გამოიტუტება მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში, ხოლო წმინდად დაქუცმაცებული ნიკელის კონვერტერის შტეინი ატმოსფერული წნევისა და გარემოს ტემპერატურის პირობებში ხსნარის შემრევ კოდებში გოგირდმჟავას ხსნარში იტუტება. ორივე შემთხვევაში ნიკელი სპილენძთან და კობალტთან ერთად გადაღის ხსნარში. ხსნარში გადასული ელემენტები დალეკვის პროცესებში ცალკედება ერთმანეთისგან.

ფლოტაციური კონცენტრატი, რომელიც 10% ნიკელს შეიცავს, ამიაკის ძლიერ წყალხსნარში პაერის ჟანგბადის მონაწილეობით 71-88°C ტემპერატურასა და 690-1034 კპას წნეების პირობებში იტუტება (შერევ გორდონის პროცესი, კანადა). ამიაკთან, წყალთან და ჟანგბადთან ურთიერთქმედებით ნიკელი ხსნად ამინებს წარმოქმნის:



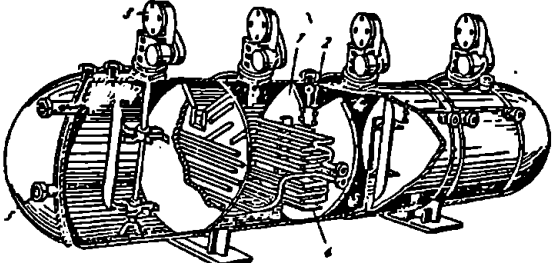
სულფიდური სპილენძი და კობალტი, რომლებიც მცირე რაოდენობით შედის კონცენტრატის შემადგენლობაში, ნიკელის მსგავსად ხსნარში გადაღის, ხოლო რკინის სულფიდი წარმოქმნის ორვალენტიანი რკინის უხსნად ოქსიდს, რომელიც SiO_2 -თან ერთად უხსნადი მყარი ნარჩენის სახით რჩება:



გამოტუტვის პროცესი ტარდება ოთხკამერიან ავტოკლაკში, რომელიც სითბოს გადმოსაშვებ მარვეულირებული მოწყობილობით არის აღჭურვილი (სურ. III.40.). ავტოკლაკის ყველა კამერაში ჩაყენებულია ტრიალა, რომლის მეშვეობითაც მყარი ნაწილაკები შეტვივტივებულ მდგომარეობაში კედება. ავტოკლაკის სიგრძე და დიამეტრი შესაბამისად 13,4 და 3,3 მ-ია.

გამოტუტვის პროცესი ორსაფეხურიანია. პროცესის პირველ საფეხურზე ავტოკლაკში იტუტება პულმა, რომელიც პროცესის მეორე საფეხურზე გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარისა და კონცენტრატის შერევით შზადდება. გამოტუტვის პროცესი 85°C ტემპერატურისა და 827 კპას წნევის პირობებში ტარდება. გამოტუტვის ეგზოთერმული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ჭარბი სითბოს არინება საცივებელი კლანქლას მეშვეობით ხორციელდება. პირველ საფეხურზე გამოტუტვის მთლიანი პროცესის ხანგრძლივობის (8 საათი) ერთი მესამედი იხარჯება. პირველ საფეხურზე გამოტუტული პულმა ავტოკლაკიდან გამოღის და ჯერ სითბოს მიმომცველში შედის (სადაც

პულპის ტემპერატურა 32°C-მდე გარდება, ხოლო სითბოს მიმომცველიდან სასქელებელში გადადის. სასქელებლის გადმოსაშვებიდან გადმოსული ხსნარი დალექვის საამქროში მიემართება, ხოლო სასქელებელში პულპიდან დაწრეტილი ნარჩენი იფილტრება და გაფილტვრის შედეგად მიღებული მყარი მასა (კეკი) ამიაკის ახალ ხსნარში ირევა და ნარევი (პულპა) მეორე საფეხურზე გადამუშავების მიზნით აეტოკლავეში გადაიტუმბება. მეორე საფეხურზე გამოტუტვის პროცესი 80°C ტემპერატურისა და 896 კას. წნევის პირობებში ტარდება და გამოტუტვას იხარჯება გამოტუტვის მთლიანი პროცესის ხანგრძლივობის (8 საათი) ორი მესამედი. მეორე საფეხურზე გამოტუტული პულპა აეტოკლავიდან ისევ სითბოს მიმომცველში (საცივარში) შედის და იქიდან სასქელებელში გადადის. სასქელებლის გადმოსაშვებიდან გადმოსული ხსნარი პირველ საფეხურზე ბრუნდება, სადაც ხსნარისა და კონცენტრატის შერევით პირველ საფეხურზე გამოსატუტე პულპა მზადდება. სასქელებელში ჩარჩენილი Fe_2O_3 და SiO_2 გადაყრამდე სამჯერ ირეცხება და იფილტრება, ნარეცი ხსნარი კი გამოტუტვის მეორე საფეხურის სასქელებელში ბრუნდება.



სურ. III.40. პირიონტალური ოთხსაქეობიანი აეტოკლავე
 1 ტიხარი; 2 რეგულირებადი ჩამქეტა; 3. შემრევი მიწყო-ბილიობა; 4. საცივებელი კლაკინლა; 5. პულპის გამოსაშვები

გამოტუტვის პირველი საფეხურის სასქელებლიდან მიღებული დედახსნარი, რომელიც დალექვის საამქროში მიემართება, 50 გ/ლ ნიკელს, 1 გ/ლ კობალტს, 10 გ/ლ სპილენძს, 180 გ/ლ ამონიუმის სულფატს, 10 გ/ლ გოგირდს (ტიოსულფატისა და პოლიტიონატების სახით) და 100 გ/ლ თავისუფალ ამიაკს შეიცავს.

დაბალგოგარდახანს კონცენტრატის შტეინი, რომელიც გამოტუტვამდე იმსხერევა და ქუცმაცდება (270 მეში) მექანიკური და ჰაერით შესარეე კოდებში, ოთხსაფეხურიან გამოტუტვას განიცდის გოგორდმეაეას ხსნარში. შტეინი 63% ნიკელს, 28% სპილენძსა და 7% გოგირდს შეიცავს.

პირველ საფეხურზე გამოტუტვამდე დაქუცმაცებული შტეინისგან მზადდება სასურველი კონცენტრაციის პულპა, რომელიც რიგში ჩაყენებულ სამ კოდში (34 მ³ მოცულობის კოდში) თანმიმდევრობით იტუტება (ოუტოკუმასა პარაკაალტას ქარხანა). რივით მესამე კოდში გამოტუტული პულპა გადადის ციკლონურ კლასიფიკატორში, სადაც დედახსნარი ნარჩენი მყარი მასისგან ცალკეედება. დედახსნარი დალექვის საამქროში იგზავნება, ხოლო მყარი მასა მეორე საფეხურზე თანმიმდევრობით შემრეე კოდში გამოიტუტება.

პირველ საფეხურზე სამ კოდში მიმდინარე რეაქციების შედეგად ნიკელი ხსნარში გადადის, ხოლო სპილენძი დაცემენტების შედეგად ხსნარიდან გამოიყოფა. მეორე საფეხურზე კი ორ კოდში გამოტუტვის დროს მყარ ნარჩენში შემავალი სასარგებლო ელემენტებისა და დაცემენტებული სპილენძის უმეტესი ნაწილი ხსნარში (რომელიც 40 გ/ლ თავისუფალ მგაეას შეიცავს) იხსნება. მეორე საფეხურზე გამოტუტული პულპა სასქელებელში გადადის, ხოლო სასქელებელის გადმოსაშვებიდან გადმოსული დაწრეტილი დედახსნარი დალექვის საამქროში იგზავნება. უხსნადი მყარი ნარჩენის რამდენჯერმე წყლით გარეცხვისა და გაფილტვრის შემდეგ ნარეცი ხსნარი დედახსნარს უერთდება, ხოლო მყარი ნარჩენი დნობის ქარხანაში ბრუნდება გადამამუშავებლად.

2.2.2. ნიკელის დალექვა ხსნარებიდან

მაგნიუმის ოქსიდის მაღალი შემცველობის ლატერიტების გამოტუტვით (ნიკაროს პროცესი) მიღებულ დედახსნარში მცირე რაოდენობით რჩება წმინდად დაქუცმაცებული მადნის ნაწილაკები და რკინა. რკინის მარილების მიზნით ხსნარი კოდში შემუშვებული ჰაერით ირევა. ხსნარის ჰაერით არევის შედეგად ორეალენტიაი რკინა სამეალენტიაი რკინის პიდროოქსიდში გადადის და ხსნარიდან

ილექტა ხსნარის გაფილტვრის შედეგად ნალექი და მასთან ერთად მდნის ნაწილაკებიც ცალკეედმა ხსნარისგან.

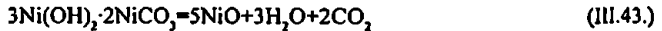
გასუფთავებული ხსნარი რიგში ქარაღელურად მდგარ 15 მ-ანი სიმაღლისა და 2,2 მ დიამეტრის მქონე კოდებში გადაიქაჩება (კოდში ხსნარი ზევიდან ქვევით ეშვება). ამიაკის გამოშვებანი ორთქლის ნაკადი, რომელიც კოდში ქვევიდან ზევით მიემართება, ამიაკს ხსნარიდან აძევებს. ქვევით ჩამომავალი ხსნარი თანდათან კარგავს ამიაკს და განთავისუფლებული ნიკელი ხსნარიდან ილექტება:



წარმოქმნილი ნიკელის იონები ჰიდროქსილისა და კარბონატის იონებს უერთდება ხსნარში და შედეგად ნიკელის უხსნადი კარბონატი მიიღება:



ნიკელის კარბონატის შემცველი პულპის შესქელებისა და გაფილტვრის შედეგად მიღებული კვი შრება და შემდეგ მაკალიცინირებულ გამოწეას განიცდის მბრუნვე პორიზონტალურ ლუმელში. გამოწევის შედეგად ნიკელის ოქსიდი მიიღება:



ლუმელი, რომლის სიგრძე და დიამეტრი შესაბამისად 48,8 მ და 5,5 მ-ია, მაშუთით ზურდება. ლუმელის ბოლოდან (საიდანაც მასალა იტვირთება) 5,5 მ-ით დამორბეულ ზონაში მაქსიმალური ტემპერატურა (1348°C) ვითარდება. გამოწევის შედეგად მიღებულ ნამწეში ნიკელის შემცველობა 76,5%-ს შეადგენს. აირებით წატაცებული მტკერი, ციკლონურ და ელექტროსტატიკურ კოლექტორებში ცალკეედება და ისევ გამოწევის ლუმელში ბრუნდება.

შავნოშუმს ოქსიდის დაბალი შემცველობის ლატერიების გამოტუტვით მიღებული დედახსნარი გოგირდწყალბადის აირით მუშავდება, რის შედეგადაც სამვალენტიანი რკინა ორვალენტთან რკინაში გადადის და აქვე დროს წმინდად დაქუცმაცებული მდნის ნარჩენი ნაწილაკები მსხვილდება. გოგირდწყალბადით დაშუშავებული გოგირდმეყვანი დედახსნარი შემდეგ კოდებში განეიტრალებას განიცდის ხსნარზე კალციუმის კარბონატის (პულპა, რომელიც 90% კალციუმის კარბონატს შეიცავს) დამატებით. სწრაფად მიმდინარე განეიტრალების რეაქციის შედეგად ხსნარიდან მუყავს ექვეყალენტური რაოდენობის $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ გამოილექება. ნალექი ხსნარისგან სასქელებელში ცალკეედება, ზოლო სასქელებლის (კოდის) გადმოსაშვებიდან გადმოსული ხსნარი ნიკელისა და კობალტის დაღექვის მიზნით გადამუშავდება.

გახურების პირველ საფეხურზე ხსნარი 77°C-მდე ზურდება, მეორე საფეხურზე კი - 118°C-მდე. ორივე შემთხვევაში ხსნარის გახურება ორთქლის მეშვეობით ხდება. გახურებული ხსნარი გადაიტუმება ცილინდრული ფორმის პორიზონტალურ შემრევე ავტოკლავში, რომელიც მეთამდგრადი აგურით არის ამოგებული. ავტოკლავი სამი კამერისგან შედგება. თითოეული კამერა ალტურულია შემრევე ტრიალათი. ავტოკლავში მაღალი სისუფთავის გოგირდწყალბადის აირის შეფერქვევით 1032 კასს წნევა იქნება.

გოგირდწყალბადის ზემოქმედების შედეგად ხსნარიდან ნიკელი და კობალტი სულფიდების სახით გამოილექება (დაღექვის რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება აგრეთვე გოგირდმეყვა):



დაღექვის რეაქციის დამთავრების შემდეგ ავტოკლავიდან პულპა წნევის ვარდნის კოდში გადადის. გამოთავისუფლებული H_2S -ის აირი რეგენერაციას განიცდის, ზოლო ნიკელისა და კობალტის შემცველი პულპიანი ხსნარი 18 მ-იანი დიამეტრის მქონე სასქელებელ კოდში გადადის. შესქელებული პულპა გარეცხვის კოდებში თავსდება და ცხელი წყლით რამდენჯერმე ირეცხება. საბოლოო პროდუქტის სახით მიღებულ პულპაში მყარის რაოდენობა 65%-ს შეადგენს. დაღექვის პროცესში დედახსნარიდან 99% ნიკელი ილექტება. ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავებით მდნიდან 95% ნიკელი ამოღება.

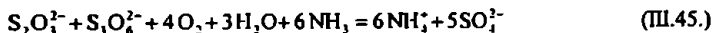
ფლოტაციური კონცენტრატის შერიტ გორდონის მეთოდით გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარი შეიცავს ნიკელს, სპილენძსა და კობალტს.

დუღასნარიდან ნიკელის გამოლექამდე როგი ოპერაციები ტარდება. პირველ რიგში – ხსნარიდან სპილენძის გამოლექვა ხდება. ამისათვის ხსნარი გადასადენ კუბებში გასახურებულად გადაიტუმბება. გახურების შედეგად ხსნარიდან აირის სახით ამიაკი განიდევენება. ამიაკის განდევნით ამონიუმის სულფატიდან გოგირდის იონები სპილენძს უერთდება და სპილენძი სულფიდის სახით ხსნარიდან გამოილექება. სპილენძის სულფიდის ნალექი გაფილტვრით ცალკედება ხსნარისგან.

ფილტრატითან (ფილტრატი 46 გ/ლ ნიკელსა და 0,9 გ/ლ კობალტს შეიცავს) ნიკელის გამოლექვის წინ ტარდება კიდევ ერთი ოპერაცია, რომელიც ხსნარიდან უუკერი S_2O_3 და S_2O_4 -ის (თიონატები და თიოსულფატები) და ამონიუმის სულფატის ($NH_4SO_3NH_4$) განდევნას ითვალისწინებს (ნიკელის გაჭუჭყიანების თავიდან აცილების მიზნით). განდევნის ოპერაცია უუკერი ნაერთების დაჟანგვითა და ამონიუმის სულფოამინების ჰიდროლიზით (უფრო მკვრივი სულფატის იონები წარმოიქმნება) ხორციელდება. ერთიანი პროცესი, რომელიც ხსნარის წინასწარი გახურებითა და შემდგომ მისი ავტოკლავეში მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში ტარდება, ოქსიდოლიზის სახელწოდებით აირის ცნობილი.

ავტოკლავეში გადასვლამდე ხსნარი წინასწარ ხურდება, ვერ სახურებელში $121^{\circ}C$ -მდე, შემდეგ კი – სითბოს მიმომცეველში $219^{\circ}C$ -მდე. ავტოკლავეში (13650 ლ-ის მოცულობით) გადასვლის შემდეგ ხსნარი მაღალი ტემპერატურისა ($246^{\circ}C$) და მყანავი ჰაერის წნევის (4134 კპა) პირობებში მუშაობდა. ავტოკლავე შედგება ოთხი კამერისგან, რომლებიც სახურებლებითა და შემრევი მოწყობილობებითაა აღჭურვილი.

თიონატებისა და თიოსულფატების ჟანგბადთან, წყალთან და ამიაკთან შეერთების რეაქცია, რომელიც სულფატების მიღებას ითვალისწინებს, ხსნარის წინასწარი გახურების დროს იწყება და ავტოკლავეში ხსნარის დამუშავების პროცესში მთავრდება:

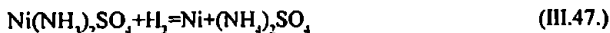


ავტოკლავეში $232^{\circ}C$ -ზე სულფოამინების სწრაფი ჰიდროლიზის შედეგად ამონიუმის სულფატი წარმოიქმნება:



ავტოკლავეში მიმდინარე რეაქციების ხანგრძლივობა 20 წთ შეადგენს. რეაქციების დამთავრების შემდეგ ხსნარი ავტოკლავიდან პირველადი ხსნარის სახურებელში გადადის და $204^{\circ}C$ -მდე ციფდება.

კონდიციური ნიკელშემცველი ხსნარი სახურებლიდან გადადის ავტოკლავის მკვება კოდში, რომელშიც განსაზღვრული ტემპერატურისა ($204^{\circ}C$) და წნევის (1516 კპა) რეჟიმა დამყარებული. განსაზღვრული რაოდენობის ხსნარი კოდთან პერიოდულად შედის დალექვის ავტოკლავეში და წყალბადის წნევის ქვეშ (2412 -დან 3100 კპა-მდე) $204^{\circ}C$ -მდე ხურდება. ავტოკლავეში შეტანილი წმინდად დაქუცმაცებული ლითონური ნიკელის ნაწილაკები სადღის როლს ასრულებს. ამიაკური ხსნარებიდან წყალბადით აღდგენილი ნიკელი სადღებზე ილექება:



ხსნარიდან ნიკელის აღდგენის პროცესის დამთავრების შემდეგ, ავტოკლავის შემრეველი ჩერდება, ნიკელის ფხვნილი იწრიტება და ავტოკლავე ნამუშევარი ხსნარისგან იცლება. დალექვის პროცესის შემდეგი ციკლის ჩასატარებლად მკვება კოდთან ავტოკლავეში ხსნარის ახალ პორცია გადაიტუმბება. დალექვის თანმიმდევრული პროცესების ციკლი მორდება მანამ, სანამ საჭირო რაოდენობის ფხვნილისებრი ნიკელი არ დაგროვდება ავტოკლავეში (დალექვის 50 პერიოდული ციკლი ტარდება). ამ დროის განმავლობაში დაგროვილი ნიკელი პულპის სახით (პულპაში 95% მყარი ნიკელის ფხვნილია) გადმოიტვირთება ავტოკლავიდან და საცილებელში თავსდება. გარეცხვის, გაფილტვრისა და შრობის შემდეგ ნიკელის ფხვნილი პირდაპირ მოშხმარებელს მიეწოდება (ზოგჯერ ფხვნილი ბრიკეტირდება და მოშხმარებელს ნიკელი ბრიკეტების სახით მიეწოდება). გამოლექულ პროდუქტში ნიკელის შემცველობა 99,9% შეადგენს, ხოლო ნელეულიდან ნიკელის ამოღება 90-დან 95%-მდეა.

ნამუშევარი ხსნარი მცირე რაოდენობის ნიკელსა და ძირითადად კობალტს (0,8 გ/ლ) შეიცავს, ამიტომ გოგირდწყალბადის მუშევრებით (ატმოსფერულ წნევაზე) ხსნარიდან ეს ნარჩენი ელემენტებიც ამოიღება მგორადი დალექვის საამქროში.

დაბალკოვანდიანი ნიკელის კონვერტერის შტეინის გოგირდევას ხსნარში ატმოსფერულ წნევაზე გამოტუტვის შედეგად (ოუტოკუმას პარჯავალტას ქარხანა) მიღებული ხსნარი ნიკელს, სპილენძსა და კობალტს შეიცავს. ნიკელის გამოლექვამდე ხსნარიდან ჯერ სპილენძი განიღვრება (სპილენძი დაცემენტებით ცალკედება და შემდეგ ელექტროლიტურ რაფინირებას განიცდის), ხოლო შემდეგ ხსნარზე ნიკელის ჰიდროოქსიდის დამატებით ჰიდროოქსიდის სახით ხსნარიდან კობალტი გამოილექება:

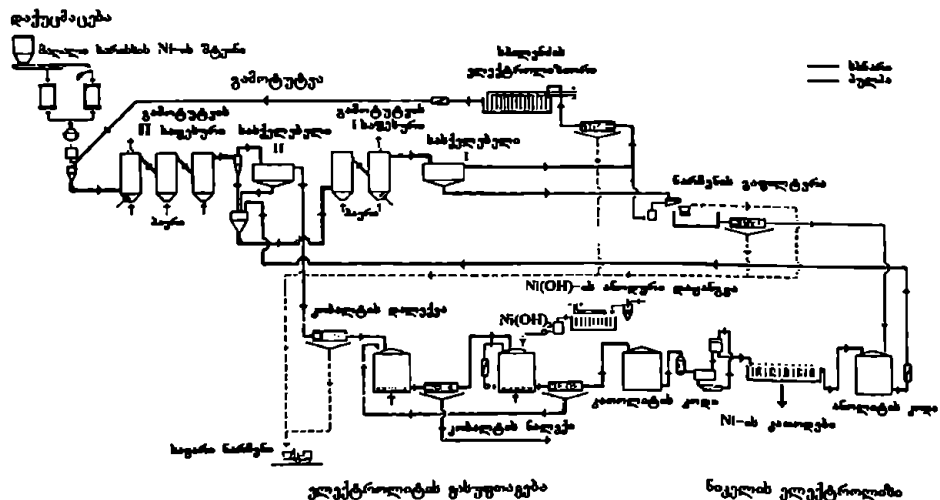


გასუფთავებული ხსნარი, რომელიც 75 გ/ლ ნიკელს შეიცავს, 63°C-ზე ხურდება და ხსნარის pH-ის მაჩვენებელი 3,2-მდე რეგულირდება. ხსნარში ნატრიუმის სულფატისა და ბორმეფას შეტანით (დანამატების სახით) დამზადებული ელექტროლიტი ნიკელის გამოლექვის მიზნით ელექტროლიზის სამქროში მიემართება. ელექტროლიზისთვის ჩვეულებრივი ელექტროლიტური აბაზანები გამოიყენება. ნიკელის საწყისი კათოდები ტერილენისგან მჭიდროდ ნაქსოვ ტომარაში თავსდება. ტომარაში ხსნარის დონე 12,5 მმ-ით მაღალია ანოდის კამერაში მყოფ ხსნარის დონეზე. ანოდები ტყვიისგან მზადდება. დენის საშუალო სიმჭიდროვე 1 მ² 180 ამპერის ტოლია, ხოლო აბაზანაზე ძაბვა 3,5 ვოლტს შეადგენს.

ელექტროლიტის ანოდის კამერაში გადასვლამდე (ტომარის დიფრაგმის გავლით), ელექტროლიტის ხსნარიდან 25 გ/ლ ნიკელი იღვება კათოდზე. შედეგად ანოდზე გამოიყოფა წყალბადის იონები, რომელთა რაოდენობა ქიმიურად კათოდზე გამოლექილ ნიკელის რაოდენობას უტოლდება. წყალბადის იონების გამოყოფის შედეგად ანოდში (ანოდის კამერაში მყოფი ელექტროლიტი) 40 გ/ლ თავისუფალი მგავა წარმოიქმნება. მაღალმეფეიანი ხსნარი უკან ბრუნდება ნიკელის ნედლეულის გადასამუშავებლად და გამოტუტვის მეორე საფეხურზე გამოიყენება.

ელექტროლიზის შედეგად მიღებული კათოდური ნიკელი, რომელიც 75 კგ იწონის, 99,95% ნიკელს შეიცავს.

დაბალკოვანდიანი ნიკელის კონვერტერის შტეინის (მაღალი ხარისხის შტეინი) ჰიდრომეტალურგიული გადამამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია III.40¹. სურათზე



სურ. III.40¹. დაბალკოვანდიანი ნიკელის კონვერტერის შტეინის ჰიდრომეტალურგიული გადამამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

2.2.3. სხვადასხვა ხსნარების დაანალიზებიდან ნაკვალავი საბოლოო პროდუქტებში მიღება

ნიკელის ლატერიტების განსხვავებული მეთოდებით გამოტუტვა, რომელიც მაღანში შემავალ ტუტე ნაერთების რაოდენობაზე და მოკიდებული, ორი სახის ხსნარს იძლევა – ამიაკურ (მაგნიუმის ოქსიდის მაღალი შემცველობის მადნის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი) და გოგირდმაგა (მაგნიუმის ოქსიდის დაბალი შემცველობის მადნის წნევის ქვეშ გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი) ხსნარებს. ამიაკური ხსნარიდან (მაგნიუმის ოქსიდის მაღალი შემცველობის მადნის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი) გამოლეკილი ნიკელის კარბონატის კალციონირებული გამოწვით, გამოლეკის პროდუქტის სახით ნიკელის ოქსიდი მიიღება, ხოლო გოგირდმაგა ხსნარიდან (მაგნიუმის ოქსიდის დაბალი შემცველობის მადნის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი) წნევის ქვეშ პროდუქტის სახით გამოილეკება წყლიანი პულა, რომელშიც 65%-ის ოდენობით ნიკელის სულფიდის მყარი ნაწილაკები შედის.

მაგნიუმის ოქსიდის მაღალი შემცველობის ლატერიტების გადამუშავების (ნიკაროს პროცესი) შედეგად მიღებული კალციონირებული ნიკელის ოქსიდი, რომელიც 76,5% ნიკელს შეიცავს, ნაწილობრივ აღდგენას განიცდის (აღდგენის შედეგად ოქსიდში ნიკელის რაოდენობა 88%-მდე იზრდება) და აღდგენის შემდეგ საბოლოო პროდუქტის სახით მომხმარებელს მიწოდება (გამოიყენება ფოლადის წარმოებაში).

აღდგენამდე კალციონირებული ნიკელის ოქსიდი ქუცმაცდება და დაქუცმაცებული ოქსიდი ირევა. ნარევი გუნდავდება და ნიკელის ოქსიდის ნაწილობრივი აღდგენის მიზნით გუნდები საალომერაციო მანქანაზე ცხებება. შემცხვარი მასა სათანადო ზომის მარცვლებად იმსხვრევა და ფოლადის წარმოების ქარხნებში იგზავნება.

მაგნიუმის ოქსიდის დაბალი შემცველობის ლატერიტების გადამუშავების (შა ბეის პროცესი) დროს დალეკვის საბოლოო პროდუქტის სახით ნიკელის სულფიდის მყარი ნაწილაკებისგან (65%) შედგარი პულა მიიღება. პულა 55% ნიკელს, 36% გოგირდს და 6% კობალტს შეიცავს (პულა მცირე რაოდენობით შეიცავს აგრეთვე რკინას, ალუმინს, ქრომს, სპილენძს, ტყვიას და თუთიას).

შემდგომი გადამუშავების მიზნით სულფიდური პულა თავსდება შემრევი მოწყობილობით აღჭურვილ ავტოკლავში, სადაც 177°C ტემპერატურისა და ჰაერის 4823 კპას წნევის პირობებში სულფიდის მყარი ნაწილაკები ჰაერის ჟანგბადთან ურთიერთქმედებს და იჟანგება. დაჟანგვის შედეგად წყალში ხსნადი სულფატები წარმოიქმნება. ჟანგვითი რეაქციით გამოყოფილი სითბო პროცესისთვის საჭირო ტემპერატურული რეჟიმის დამყარებას უზრუნველყოფს. ჟანგვის პროცესის დაბთვების შემდეგ პულა ავტოკლავიდან ჯერ წნევის ვარდნის კოდში გადადის, ხოლო კოდთან სასქელებელში გადაიტუმბება. სასქელებელში დაწრტილი ჭარბი სულფიდები, რომლებიც ჟანგვით რეაქციაში არ მონაწილეობდა, ავტოკლავიდან გადმოიტვირთება და გადასამუშავებელი პულპის ნაკადს უბრუნდება. სასქელებლის გადმოსაშვებიდან გადმოსული ხსნარი 50 გ/ლ ნიკელს, 5 გ/ლ კობალტს და მცირე რაოდენობის რკინას, ალუმინს, ქრომს, სპილენძს, ტყვიას და თუთიას შეიცავს. ხსნარი ორსაფეხურიან გასუფთავებას განიცდის.

პირველ საფეხურზე გასუფთავების პროცესი ტარდება ატმოსფერულ წნევასა და 82°C-ზე. ხსნარის pH-ის მაჩვენებლის 5,3-მდე ამიაკით დარეგულირებისა და ხსნარის აერაციის შედეგად ჰიდროქსიდების სახით გამოლეკილი რკინის, ქრომისა და ალუმინის მინარევები ფილტრაციით ცალკეუდება ხსნარისგან, ხოლო ხსნარი შემდგომ გასუფთავებას განიცდის მეორე საფეხურზე.

გასუფთავების მეორე საფეხურზე ხსნარი რეზინით ამოვებულ კოდში გადაიტუმბება. ხსნარის pH-ის მაჩვენებელი გოგირდმაგას დამატებით 1,5-მდე იზრდება და ხსნარში გოგირდწყალბადის შტანით ხსნარიდან სულფიდების სახით სპილენძის, ტყვიის და თუთიის მინარევები გამოილეკება. მინარევების ნაღები ფილტრაციით ცალკეუდება ხსნარისგან.

სარეაქტიო ტემპერატურამდე (190°C) წინასწარი გახურების მიზნით, გასუფთავებული ხსნარი (ხსნარი მხოლოდ ნიკელსა და კობალტს შეიცავს) სითბოს მიმომცველებში გადაიტუმბება. სითბოს მიმომცველიდან გახურებული ხსნარი გადადის ავტოკლავში, სადაც წყალბადის 5168 კპას წნევა მყარდება. დალეკვის პროცესის დაჩქარების მიზნით ხსნარის პირველი პორციის (ხსნარებიდან გამოლეკვის პროცესი პერიოდულია) გადამუშავების დროს ავტოკლავში საღვდის სახით ფუნქციონირებს

ნიკელი შეაქვთ. ხსნარიდან გამოყოფილი ნიკელი სადედებზე ილექება და ახალი ხსნარებიდან დალექვის პერიოდული პროცესების შემდგომი ჩატარებით ნალექი თანდათან მკვერივდება. ჭარბი მჟავას განეიტრალების მიზნით ხსნარს მუდმივად ემატება ამიაკი (pH-ის 1,8 მაჩვენებლის შესანარჩუნებლად). ნიკელის ხსნარიდან წყალბადით აღდგენა შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



რამდენიმე დალექვის პროცესის ჩატარების შემდეგ (ნიკელის ნაწილაკების განსაზღვრულ სიდიდემდე გაზრდის შემდეგ) ნიკელის ფხვნილისებრი მასა ავტოკლაკიდან წვევის ვარდნის კოდეზი გადადის. კოდეზიდან გადმოტვირთული პროდუქტი, რომელიც 99,8% ნიკელს შეიცავს, ირეცხება, კლასიფიცირდება და შრება.

ნამუშევარი ხსნარი სასარგებლო ელემენტების ამოღების მიზნით გადამუშავდება.

თავი 3. ტყვიის პიროვნულურება

ტყვიის გამორჩეული თვისება, რომელიც ელექტროქიმიური ენაგვისა და აღდგენის შექცევადობასთან არის დაკავშირებული, ფართოდ გავრცელებული ტყვიის აკუმულატორებში გამოიყენება. ტყვიის აკუმულატორის საიმედოობა მუშაობაში განაპირობებს მის გამოყენებას საქარე ძრავების ექსპლუატაციის დროს მრეწველობისა და ტრანსპორტის მთელ რიგ დარგებში.

გოგირდმჟავას ხსნარებში კოროზიული მდგარადობის გამო ტყვია (სისალისა და სიმტკიცის გაზრდის მიზნით 25%-მდე ანიმონს-Sb შეიცავს) ფართოდ გამოიყენება ქიმიურ მრეწველობაში, აპარატურისა და მოლგაყვანილობების დასამზადებლად. ტყვია (შეიცავს 3%Sn და 1%Sb) გამოიყენება აგრეთვე კაბელების გარსაცმის დასამზადებლად. სანადირო საფანტი მზადდება ტყვიისგან, რომელიც 1%-მდე დარიშხანს (დარიშხანი ტყვიის ზუღამირულ დაჭიმულობას ზრდის და ხელს უწყობს მრგვალი ფორმის საფანტის მიღებას) შეიცავს. ტყვიის მისაღებ ნედლეულს მადნები და წარმოების ნარჩენები წარმოადგენს.

მადნებში ტყვია სხვადასხვა მინერალების სახით არის წარმოდგენილი. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ტყვიის კრალა ანუ გალენიტი PbS. გალენიტთან შედარებით უფრო ნაკლებად არის გავრცელებული ტყვიის ოქსიდური მინერალები – ცერუსიტი PbCO₃ და ანგლენიტი PbSO₄. ტყვიის უმეტესი ნაწილი მიიღება სულფიდური მადნიდან, რომელიც ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში.

ტყვიის მადანი, როგორც წესი, კომპლექსურია. მადნის მთავარი თანმდევი ელემენტებია თუთია და ვერცხლი. ტყვიასთან შედარებით თუთია ხშირად სიჭარბით არის მადანში, ამიტომ ამ ტიპის მადანი ტყვია-თუთიის მადნის სახელწოდებით არის ცნობილი (ტყვია-თუთიის საბადო საქართველოში, კვანში) და იგი ტყვიისა და თუთიის წარმოებაში ძირითად სანედლეულო ბაზას წარმოადგენს. სულფიდურ მადნებში თუთია მინერალ თუთიის კრიალათი (ZnS) არის წარმოდგენილი, ხოლო ვერცხლი მინერალ არგენტიტის (Ag₂S) სახით შუღის მადანში.

ტყვია-თუთიის მადნების ფუჭი ქანი პირიტის, პიროტინის, კვარცის, ბარიტის, კალციტისა და მცირე რაოდენობის სხვადასხვა ლითონების (ალუმინი, რკინა, მანგანუმი, კალციუმი) სილიკატებისგან შედგება.

კონცენტრატადან ტყვიის ამოღების რამდენიმე ხერხი არსებობს.

უშუალოდ სულფიდთან ტყვიის მიღება შესაძლებელია ჩანაცვლების რეაქციით, რომლის დროსაც სულფიდთან ტყვია რკინით განიდეგნება:



ტყვიის მიღების ეს ხერხი დალექვითი დნობის სახელწოდებით არის ცნობილი. დნობის შედეგად წარმოიქმნება ლითონური ტყვია და სულფიდების შენადნობი, რომლიდანაც ტყვიისა და ვერცხლის ამოსაღებად საჭირო ხდება სხვა გართულებული და არახელსაყრელი მეთოდის გამოყენება. ამიტომ უშუალოდ სულფიდთან ტყვიის მიღების პროცესი, რომლითაც ადრე ტყვიით მდიდარი მადნების გადამუშავება ხდებოდა, ამჟამად აღარ გამოიყენება.

ნედლეულიდან ტყვიის ამოღების მეთოდებს შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია პირო-მეტალურგიული ხერხი (ტყვიის ნედლეულის გადასამუშავებლად პირომეტალურგიული ხერხი პრაქტიკაში თითქმის არ გამოიყენება), რომელიც ტყვიის კონცენტრატების წინასწარი სრული ჯანგვითი გამოწვით ტყვიის მინერალების ოქსიდურ მდგომარეობაში გადაყვანას და ოქსიდების ადღგებითი დნობით დაუხალასებელი ტყვიის მიღებას ითვალისწინებს. დნობის შედეგად მიღებული დაუხალასებელი ტყვია თხევად მდგომარეობაში ცალკეედება წილისგან და მიემართება რაფინირების საამქროში, სადაც მრავალსაფეხურიან გასუფთავებას განიცდის.

გამომწვარი ტყვიის კონცენტრატის დნობა, როგორც წესი, მახტურ ლუმელებში ტარდება და ამიტომ დნობის წინ აუცილებელია გამომწვარი კონცენტრატის განაჭრევენება. გამოწვასთან ერთად კონცენტრატის შეცხოვით განაჭრევენება საავლომერაციო მანქანებზე ხორციელდება.

3.1 ტყვიის სულფიდური კონცენტრატების ავლომერაციული გამოწვა

ტყვიის სულფიდური კონცენტრატების ავლომერაციაში ძირითადად გამოწვის ის მეთოდი და საავლომერაციო მანქანები გამოიყენება, რომლებიც სპილენძის წარმოებაში იხმარება.

ტყვიის სულფიდის გამოსაწვავი საავლომერაციო მანქანა, როგორც წესი, „აღმაშავალი“ ტიპისაა (ჰერის შეწოვა ქვევიდან ზევით ხდება). მაქსიმალური ზომის მანქანა დღეღამეში დაახლოებით 200 ტ კონცენტრატს ამუშავებს. აღმაშავალი ტიპის მანქანაში ცეცხლირეების ცხურის გამოწვას ტყვიის ნადნობით, რომელიც გამოწვის პროცესში ტყვიის სულფიდის ოქსიდთან და ტყვიის სულფატთან ურთიერთქმედებით წარმოიქმნება:



თავიდან არის აცილებული. აღმაშავალი ტიპის მანქანა გამოირჩევა აგრეთვე დიდი წარმადობით (გამოსაწვავ მასალაში მუანგავი რეაგენტის მაღალი შეღწევალობის გამო), ცეცხლირეების დაბალი ცეფათობით და შესაბერი ჰაერის დაბალი წნევით.

მახტურ ლუმელში ადღგებითი დნობით გადასამუშავებული ტყვიის მასალა ერთდროულად მაქსიმალურად უნდა იყოს დაქანებული და შემცხვარი (განაჭრევენებული). მაგალითად, ბიუკის ტყვიის სადნობ ქარხანაში (წმინდა ჯოის მინერალების კორპორაცია) ნედლეულის ავლომერაციული გამოწვის შედეგად გოგირდის რაოდენობა დაახლოებით 12%-დან 1%-მდე მცირდება.

პრობლემა, რომელიც თან ახლავს ტყვიის სულფიდური ნედლეულის ავლომერაციულ ჯანგვით გამოწვას, მაღალ დესულფურიზაციასთან, ანუ დიდი რაოდენობის გოგირდის განდგენასთან არის დაკავშირებული, რომლის დროსაც დიდი რაოდენობის ეგზოთერმული სითბო გამოიყოფა. ჭარბი ეგზოთერმული სითბო დნობის არასასურველი პროცესების განვითარებას უწყობს ხელს (ტყვიის ხილიკატები და ტყვიის ოქსიდთან მათი შენადნობები 670-883°C ფარგლებში დნება) და მასალის ნადრე შეცხოებას იწვევს. ნადრეკი შეცხოების შედეგად მასალის ადვილდნობადი კომპონენტების ნადნობი ეფინება დაუქანგავ სულფიდურ ნაწილაკებს, რის გამოც მათი ზედაპირების ჰერთან ურთიერთქმედება შეუძლებელი ხდება; ნადრეკად შემცხვარ ნაწეში დაუქანგავი გოგირდი რჩება.

ამ პრობლემების გადაწყვეტის ერთ-ერთი გზა ორსაფეხურიანი ავლომერაციული გამოწვა, რომელიც უმეტეს მეტალურგიულ ქარხანებში გამოიყენება. პირველ საფეხურზე სასურველი ხარისხით გამომწვარი და შემცხვარი ნაწევის მიღება არ არის გამიზნული. საავლომერაციო მანქანის აალების ზონაში მასალის სწრაფად გატარების შედეგად გოგირდის მხოლოდ ნაწილი განიღგეუნება. ბიუკის ტყვიის ქარხანაში გოგირდის შემცეელობა გამოწვის პირველ საფეხურზე დაახლოებით 12%-დან 6%-მდე მცირდება და მიღებული შემცხვარი ნაწევი დიდი სიმტკიცით არ გამოირჩევა. მეორე საფეხურზე გადასამუშავების წინ დაუქანგავი ადგილების გადახსნისა და ფოროვანი ავლომერატის მიღების მიზნით ნაწევი იმსხვერევა და წყლით სვედება. მეორე საფეხურზე ავლომერაციული ჯანგვითი გამოწვის შედეგად გოგირდის შემცეელობა სასურველ ზღერამდე მცირდება (1%-მდე) და საბოლოოდ გამომწვარი ავლომერატი ადღგებით დნობას განიცდის მახტურ ლუმელში.

გოგირდის განდევნის მეორე მეთოდში (ქერკულანიუმის ტყვიის საღნობი ქარხანა მაზურის შტატი, აშშ), რომელშიც მასალის ერთსაფეხურიანი სააგლომერაციო გამოწვევა გათვალისწინებული, ტყვიის სულფიდური კონცენტრატი (გოგირდის 9-10%-ის შემცველობით) გამოწვევამდე გაზაფხას ექვემდებარება ავლომერაციული გამოწვის ნარჩენებით (გოგირდის 1,2-1,7%-ის შემცველობით). ამგვარად მომზადებული კაზმის სააგლომერაციო მანქანაზე ერთსაფეხურიანი გამოწვის პროცესს გართულებების გარეშე მიმდინარეობს. კაზმის გამოწვის შედეგად მიღებული ავლომერატი (1,4 % S-ს შეიცავს) შახტურ დნობაზე იგზავნება.

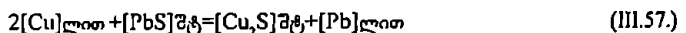
3.2. ტყვიის გამოწვევარი და განაჟრეკნებული კონცენტრატის დნობა

ტყვიის გამოწვევარი და განაჟრეკნებული სულფიდური კონცენტრატის აღდგენითი დნობა როგორც წესი, შახტურ ლუმელში ტარდება. სათბობის სახით კოქსი გამოიყენება. დნობის შედეგად წიდა და დაუხლასებული ლითონური ტყვია მიიღება.

კაზმის სახით ლუმელში იტვირთება სულფიდური კონცენტრატების, აირებისგან განცალკევებული მტერის, დნობის ნარჩენებისა და საჭირო ფლუსისგან შემდგარი ნარევი, რომელიც წინასწარი გამოწვის შედეგად ავლომერირდება და გოგირდის უმტეხი ნაწილისგან თავისუფლდება. ლუმელის ქმინებიდან შეხერხილი ჰაერის უანგზადისა და კოქსის 1440°C-ზე ურთიერთქმედების შედეგად CO და CO₂ წარმოიქმნება. გახურებული კოქსის მყარ ნახშირბადიდან გამოყოფილი ცხელი CO შემცხვარ ტყვიის ოქსიდს აღადგენს ლითონურ ტყვიამდე, რომელიც ლუმელში არსებულ ტემპერატურულ პირობებში დნება და ლუმელის ქურის ძირიდან ნაღნობის სახით გამოედინება:



ტყვიის უმტეხი მადნების ფუჭი ქანი შეიცავს CaO-ს ან SiO₂-ს, რომლებიც დნობის პროცესში ფლუსის როლს ასრულებს – უერთდება რკინის ოქსიდს (რომელიც სულფიდური კონცენტრატის ავლომერაციული გამოწვის შედეგად წარმოიქმნება) და თხევად წიდას წარმოქმნის. იმ შემთხვევაში, თუ ლუმელში ჩატვირთული მასალა შეიცავს სილიცმს, რკინას, ნიკელს ან კობალტს, მაშინ ამ ლითონების გოგირდთან ან დარიშხანთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება შტინი ან შაიზა (ლითონის დარიშხანთან შენარეობის ნარევი), რომლებიც სიმკვრივეების მიხედვით (ტყვია – 11; შაიზა – 6; შტინი – 5,2; წიდა – 3,6.) ტყვიისა და წიდას თხევად ფენებს შორის მოექცევა. მიუხედავად იმისა, თუ რომელ ლითონთან იყო გოგირდი შეკრული ნაწილში, შტინიში გადავა ის ლითონები, რომლებიც გოგირდთან და უანგზადთან ნათესაური კავშირის მაღალი სხვაობით გამოირჩევა, ანუ, უპირველეს ყოვლისა, სილიცმი, ტყვია და რკინა. სილიცმის შტინისგან განსხვავებით ტყვიის აღდგენითი დნობის დროს მიღებული შტინი ტყვიის სულფიდსაც შეიცავს. შტინის საბოლოო შემადგენლობა სილიცტურ ნაღნობში გახსნილი სულფიდებისა და ოქსიდების ან ლითონური ტყვიის ნაღნობში გახსნილი სულფიდებისა და ლითონების ურთიერთქმედების შედეგად დგინდება. მაგალითად:



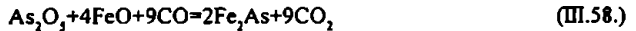
კეთილშობილი ლითონები – ოქრო და ვერცხლი, რომლებიც გამოსადნობი ავლომერატის (ნაწილის) შემადგენლობაში ელემენტური სახით შედის (ვერცხლი აგრეთვე Ag₂S-ის სახით შედის ნარევიში), ავლომერატის დნობის შედეგად თხევად ტყვიასა და შტინიში (ორივე ოქროსა და ვერცხლის კარგი გამხსნელია) კონცენტრირდება. ამიტომ ტყვიის აღდგენითი დნობის დროს შტინის წარმოქმნა არახელსაყრელია. შტინიდან კეთილშობილი ლითონებისა და ტყვიის ამოსალბად აუცილებელი ხდება დამატებითი ოპერაციების ჩატარება, რაც ლითონის დანაკარგებთან და დამატებით ხარჯებთან არის დაკავშირებული.

შტინის გამოსავლიანობა კაზმში სილიცმის შემცველობაზე დამოკიდებული; იგი გამოწვის შემდეგ ნაწილში დარჩენილ გოგირდის რაოდენობას შეესაბამება. შტინის მიღებით დნობა გამართლებულია მაშინ, როცა კონცენტრატი (ტყვიის კონცენტრატი) გაზრდილი რაოდენობით შეიცავს სილიცმს. ასეთი

კონცენტრატის გამოწვა გოგირდის სრული განდევნით დაუშვებელია. წინააღმდეგ შემთხვევაში დნობის დროს სპილენძი აღდგება ლითონაშბე და ტყვიამ გაიხსნება. ლუმელის ქერაში, სადაც ტემპერატურა რამდენადმე დაბალია, ვიდრე ქმინების არეში, სპილენძის ტყვიიდან გამოკრისტალების შესაძლებლობის პირობები შეიქმნება, რაც ქუროს კვლავზე ნაფენების წარმოქმნასთან არის დაკავშირებული. ნაფენების წარმოქმნით ქურის ტყეადობა თანდათან შემცირდება და გარდა ამისა სოფონის გადასაშვებ ღარში (სურ. III.43.6) სპილენძის გამოკრისტალებით, სოფონის ნორმალური მუშაობის რეჟიმში დარღვევა. ამტომ სპილენძშემცველი ტყვიის სულფიდური კონცენტრატის ავლომურაციული გამოწვა არ ტარდება გოგირდის სრული განდევნით (ავლომურატიმ შტეინის წარმოქმნისთვის საჭირო რაოდენობის გოგირდი რჩება). ამ შემთხვევაში სპილენძის ძირითადი მასა დნობის დროს შტეინში გადადის, რითაც გამოირიცხება ის არასასურველი მოვლენები, რომლებიც დაკავშირებულია ტყვიიდან სპილენძის კრისტალების ლუმელის ქურასა და სოფონში გამოყოფასთან (თუ შტეინის რაოდენობა მცირეა, მაშინ იგი ტყვიამ გაიხსნება და ცალკე ფენის სახით აღარ წარმოიქმნება).

იმ შემთხვევაში, თუ ტყვიის კონცენტრატი ერთდროულად თუთიასა და სპილენძს საკმაო რაოდენობით შეიცავს, მაშინ დნობის დროს უფრო გამართლებულია სრულად გამოშვარი ავლომურატის გამოყენება. გოგირდოვანი თუთია სპილენძზე უფრო მავნებელია. იგი დნობის დროს წიდაში გადადის და მის სიბლანტეს ზრდის, რაც წიდის დაწდომას (დაწმენდას) ართულებს. თუთიის ოქსიდი კი ადვილად იხსნება წიდაში (განსაკუთრებით რკინოვან წიდაში) და მის სიბლანტეზე გავლენას არ ახდენს. ამ შემთხვევაში სპილენძის გამოკრისტალებით ნაფენების წარმოქმნა შეიძლება გამოირიცხოს ქურაში დნობის გადახურებით.

დნობის დროს შპეიზის წარმოქმნა განპირობებულია საწყის ნედლეულში დარიშხანის მაღალი შემცველობით და გამოწვის დროს მისი განდევნის დაბალი ხარისხით. გამოშვარ ავლომურატიმ დარჩენილი დარიშხანის ოქსიდის, რკინის, ნიკელისა და კობალტის ოქსიდებთან ურთიერთქმედების შედეგად არსენიდები ანუ შპეიზა წარმოიქმნება, მაგალითად:



არსენიდები რამდენადმე იხსნებიან შტეინში. თუ მათი რაოდენობა საკმაოდ დიდია, მაშინ არსენიდები ცალკე თხევადი ფაზის სახით გამოიყოფა.

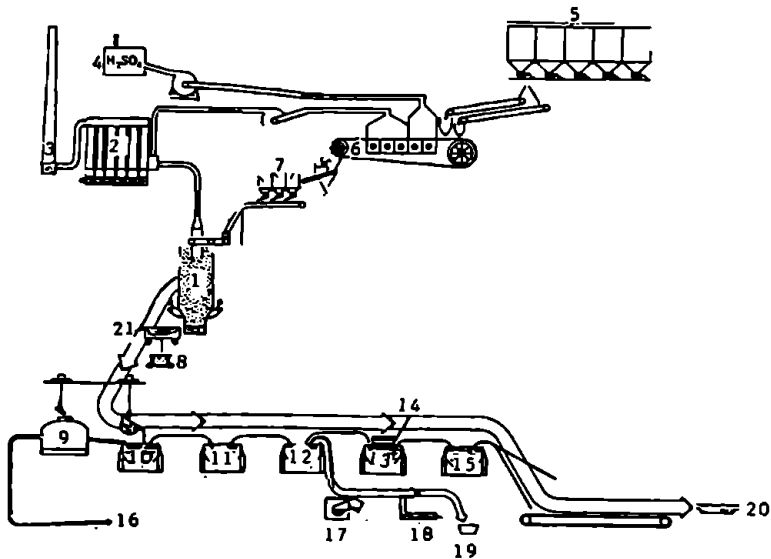
შპეიზის ბილება ხელსაყრელია მაშინ, როცა კონცენტრატი მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს ნიკელსა და კობალტს. ამ ლითონებს დარიშხანთან უფრო დიდი ნათესაური კავშირი გააჩნია, ვიდრე გოგორდთან, რის გამოც შემდგომი ამოღების მიზნით შესაძლებელია მათი თავმოყრა შპეიზაში ტყვიის აღდგენითი დნობის დროს. გარდა ამისა შპეიზაში კარგად იხსნება ოქრო და ვერცხლი. შპეიზის წარმოქმნის შემთხვევაში კეთილშობილი ლითონები ნაწილდება დნობის სამ პროდუქტში: ტყვიამ, შტეინსა და შპეიზაში, რაც, რასაკვირველია, ართულებს ოქროსა და ვერცხლის შემდგომ ამოღებას.

ტყვიის ნედლეულის გადაამუშავების ერთ-ერთი ქარხნის (პერკულანოუმის ქარხანა, აშშ) აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.41. სურათზე.

ტყვიის მაღალი გამოსავლიანობის (97-99%) გამო ტყვიის გამოშვარი სულფიდური კონცენტრატების აღდგენითი დნობით გადაამუშავება მასტურ ლუმელში (სურ. III.42.) სტანდარტულ მეთოდად იქცა. დნობის ჩასატარებლად გამოიყენება ორი ტიპის მასტური ლუმელი.

თავდახურული ტიპის ლუმელში მასტის ზედა ბოლო საკვამლე მილის სისტემას უერთდება და მასალის ჩატვირთვა ლუმელის გვერდებზე მდებარე კარებიანი ბაქებიდან ხორციელდება.

შეორე ტიპის, თავიდა ლუმელში (სურ. III.43.) მასალის ჩატვირთვა მასტის ზედა ღია ბოლოდან ხდება. მასალა მასტის თავზე ბაქიდან შეგორებული ჩახსნილ-ძირიანი მანქანის (სურ. III.43.,20) მეშვეობით იყრება ლუმელში. ლუმელის საკვამლე მილის სისტემას (სურ. III.43.,18) ბაქის ქვემოთ არის განლაგებული. საკვამლე მილში ისეთი წყვა უნდა იყოს შექმნილი, რომ ლუმელიდან აირების გასვლა არ შეფერხდეს იმ შემთხვევაშიც კი, როცა მასტის ზედა ბოლო გახსნილია მასალის ჩასატვირთად. ლუმელში მასალის ჩატვირთვის დროს მასტის კვლავზე ნალექებისა და ქრქების წარმოქმნისა და მათი დავრცელების შესაძლებლობა მინიმუმამდე დაყვანილი. ლუმელის გახსნილი შიგა სივრცე მასტის კვლავზე გაბარდული წარმონაქმნების მოცილებასა და მათი ლუმელის ძირში ჩაშვებას აადვილებს, რაც ლუმელის ნორმალურ რეჟიმში მუშაობას ხელს უწყობს.

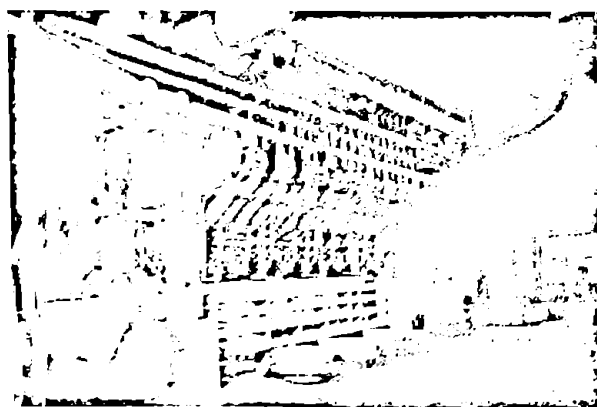


სურ. III. 41. პერკულანობის ტყეის ქარხნის აბარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1 შახტური ღუმელი; 2. მტვერდამჭერი; 3. საკვამლე მილი; 4. ვოიერდამყვას ქარხანა; 5. მასალის შეპრევი ბუნკერები; 6. სააგლომერაციო გამოწვის საამქრო; 7. ფლუსი აგლომერატა კოქსი; 8. ტყეის მ.მ.11,12,13. ტყეის რაფინირების ოპერაციები; 14. თუთია; 15. ნამოსხმა; 16. შტეინი; 17,18. ვერცხლის ამოღების ოპერაციები; 19. ვერცხლი; 20. რაფინირებული ტყეა; 21 წიდის გრანულირება.

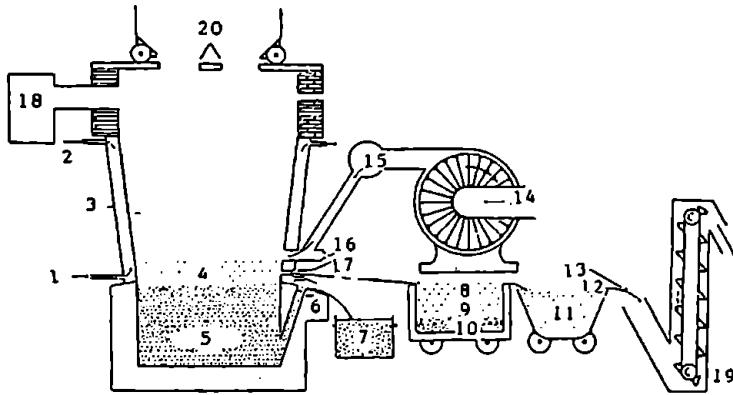
ზოგიერთი ღუმელის კონსტრუქციული ცვლილებებით, ღუმელიდან ტყეისა და წიდის უწყვეტი გამოსვლის პირობები შეიქმნა. გარდა ამისა, ღუმელის აბაზანი შეიცვალა ე.წ. „ამობრუნებული“ აბაზანით, რომელიც ჩვეულებრივი აბაზანისგან განსხვავებით ზევიდან ქვევით ფართოვდება.

ღნობის პროდუქტების უწყვეტი გამოსვლით ტყეისა და წიდის დაყოვნების დრო ღუმელის ქვეში მცირდება და შესაბამისად ნაკლები რაოდენობის კოქსი იხარჯება (კოქსის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბო ღნობის პროდუქტებს თხევად მდგომარეობაში აკაეებს). კოქსის დანახარჯების



შემცირება ღუმელში უფრო მეტი რაოდენობის კაზმის ჩატვირთვის შესაძლებლობას იძლევა (კოქსით დაკავებული ადგილი კაზმით ივსება). ამობრუნებული აბაზანი ღუმელის ვერტიკალურად აღმართული კედლები ვერდნობა შეტრიალებული კონუსის ფორმის აბაზანას, რომლის დაქანებული კედლები გაფართოებულ ქვედს უერთდება. ასეთი ფორმის აბაზანაში ღნობის ზონა დაწეულია, რაც ღუმელის კედლებზე ნალექების დაგროვების შესაძლებლობას ზღუდავს, ამცირებს კოქსის ხარჯვას, ღუმელის მუშაობის პირობებს აუმჯობესებს და მის მწარმოებლობას ზრდის.

სურ. III.42. ტყეის ნედლეულის საღნობი კესონებიანი შახტური ღუმელი.



სურ. III.43. ტყეის ნედლეულის სადნობი თავიანთ ტიპის შესტური ღუმელი.

1. საცივებელი წყალი; 2. წყლის გამოსავლები; 3. ფილადას კესონი; 4. წიდა; 5. ტყეის ნაღობი; 6. ტყეის გადმოსასვლელი დარი; 7. ტყეის ცაცხვი; 8. წიდა; 9. შპიზა; 10. ტყეის; 11. მეორადი დაწრეტა; 12. წიდას ნაღობი; 13. წყლის ნაკადი; 14. ატმოსფერული პაერა; 15. პაერის ბერვა; 16. ქმნი; 17. წიდას გასვლელი ხერვალი; 18. მტერიანი აირი; 19. ელექტორი; 20. კანსის ჩატვირთვა.

ღუმელში ჩასატვირთი ავლომერატი, რომელიც 40-50% ტყეის შეიცავს, გამოწვარი კონცენტრატის, შუქცხვარი ნარჩენების, აირებისგან განკალკეებული მტერის, დნობის საბრუნო მასალისა და ფლუსის ნარევისგან შედგება. ნაჭროვანი ავლომერატის ზომები დაახლოებით 38 მმ შეადგენს, ხოლო კოქსის ნაჭრების ზომები 95 მმ აღწევს. ღუმელში ჩატვირთული კოქსის რაოდენობა გამოსადნობი ავლომერატის მასის 14-18%-ს შეადგენს. ღუმელში მცირე რაოდენობით (1%) სპირად იტვირთება აგრეთვე რკინის ჯვართი, რომელიც ჩარჩენილი ტყეის სულფიდის დამწვის, წიდას ფორმირებისა და დარიშხანის ნალექების ადვილად დნობად შპიზაში გადაყენისთვის არის აუცილებელი. აღდგენითი დნობის შედეგად მიღებული ტყეის თხევადი ფენა ქვედის ფსკერზე გროვდება. მასში შტეინის სახით 5%-მდე სპილენძი და პრაქტიკულად კეთილმოხილი ლითონების მთლიანი რაოდენობა იხსნება.

ტყეის ნაღობი ღუმელის გვერდული სიფონის მეშვეობით ღუმელის გვერდზე მდგომ სალექარში გადაედინება. სიფონი ტყეის ნაღობს ერთ დონეზე აკავებს აბაზანაში. შტეინისა და შპიზის წარმოქმნის შემთხვევაში მათი გამოხედა ღუმელიდან წიდასთან ერთად ხდება წიდას გადმოსაშვებიდან, რომელიც ტყეის დნობის ზონის ზევით, ღუმელის წინა მხარეზე განლაგებული (სურ. III.43,17). ღუმელიდან გამოხედილი წიდა ცეცხლგამბლე აგურებით ამოგებულ სალექარში ჩაედინება. სალექარში ურთიერთუხსნადი შპიზა, შტეინი და წიდა სიმკვრივეების მიხედვით (შპიზა, 6 - რკინის, კობალტის და ნიკელის არსნილები; შტეინი, 5,2 - სპილენძის რკინის, კობალტის და ნიკელის სულფიდები; წიდა, 3,6 - სილიკატური რკინა, კირქვა, მაგნიუმის ოქსიდი და თიხაშიწა) თხევადი ფენების სახით ცალკეედება. წილით წატყელებული ტყეისა და შტეინისა და შპიზის უმეტესი ნაწილი სალექარის გვერდითი ხერვალიდან გადმოედინება, ხოლო წიდა მეორე, უფრო მცირე ზომის სალექარში (სურ. III.43,11) გადადის, სადაც დაწრეტის პროცესი ხორციელდება. წიდა, რომელშიც 15%-მდე თუთია და 2%-მდე შტეინია, გადაყრამდე გადაშუშავება განიდას. წიდას გადაშუშავება შესტური ტიპის საფიუმინგო (საორთქლებელ) ღუმელში ხდება. ღუმელში მეორე სალექარიდან გადმოსული თხევადი წიდა იტვირთება გადასაშუშებლად (ზოგჯერ დანამატის სახით მყარი წიდაც გამოიყენება). ქმნიებიდან პაერისა და ფხენილინებრი კოქსის ნარევის შეფერქვეით ღუმელში CO-ს ძლიერი აღმდგენი ატმოსფერო იქმნება. აღმდგენ ატმოსფეროში თუთიისა და ტყეის ოქსიდები ლითონებამდე აღდგენას განიცდის. ღუმელის ტემპერატურულ პირობებში აღდგენილი ლითონები ორთქლდება, აირების ნაკადთან ერთად ღუმელიდან გადის, საცივებელ მილში შუდის და იქ კონდენსირდება. კონდენსატორში გაცივების პროცესში ლითონები იფანება და ისევ ოქსიდურ ფორმაში გადადის. აირით წატყელებული

ოქსიდების მტვერი მტერის კოლექტორში ცალკეედება. წილის გადამუშავებით ტყეია, პრაქტიკულად, მთლიანად, ხოლო თუთია ორი მესამედის რაოდენობით ამოიღება წილიდან. გადამუშავებული წილა ლუმელის ძირიდან გამოდის და იყრება.

საილენძისა და ნიკელის ღნობის პროცესებთან შედარებით ტყეიის ღნობის პროცესი უფრო დაბალ ტემპერატურულ პირობებში ტარდება, ამიტომ ლუმელის ცეცხლგამძლე ამონაგს განსაკუთრებული მოთხოვნები არ წაყენება.

აორთქლებით ტყეიის დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად ღნობის პროცესის ტემპერატურა მინიმუმამდე დაყვანილი. შეზღუდულია აგრეთვე ქმინებიდან ჰაერის ინტენსიური ბერვა ლუმელში; ჭარბი წნევით შეტერეაც ხელს უწყობს ტყეიის აორთქლებას. ღნობის საშუალო ტემპერატურის შეზღუდვის გარდა აუცილებელია, რომ შერჩეული შემადგენლობის წილა ავილად ღნობიდეს 1150°C-ზე და საკმარად ღნადი იყოს, რათა ტყეიის, შტეინისა და შპეიზის თხევადი ფენების განცალკევების კარგი პირობები შეიქმნას.

თანამდროვე ლუმელის სიგრძე 5,8, სიგანე 1,22 და შახტის სიმაღლე 5,2 მ-ია; ქმინებიდან შეტერილი ჰაერის წნევა 15 კპას შეადგენს. დღე-ღამეში ლუმელი 500 ტ-მდე ნელლულუს ამუშავებს.

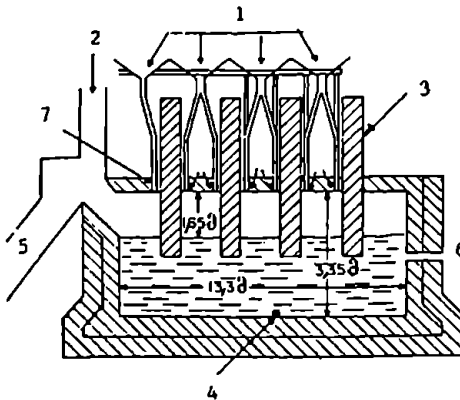
3.3. ტყეიის ნელლი სულფიდური კონცენტრატების ღნობა.

ტყეიის ნელლი (გამოუმწვარი) სულფიდური კონცენტრატის გადასამუშავებლად გამოიყენება ელექტროლუმელი (სურ. III.44.), რომელშიც ჩართულია მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში ღნობის პროცესი.

გადამუშავების ეს ხერხი პირველად შეედითის მეტალურგიულ წარმოებაში დაინერგა.

ჩაბრულ ელექტროდიანი, წილური — წინალობის ტიპის ლუმელი თავისი კონსტრუქციით საილენძისა და ნიკელის სულფიდური ნელლულის გადასამუშავებელი ელექტროლუმელის მსგავსა. ლუმელის ნახევრად მომრეგალებული ქვედი მაგნეზიტის აგურებითა ამოვებული, ხოლო კედლები და თალი ჭრომ-მაგნეზიტისგან არის აგებული. კედლები და ქვედი გარედან შემოკავებულია ზამპარებით. დიამეტრით 1 მ-იანი ოთხი სოდერბერგის ტიპის ელექტროდი დაწყვილებულია. ელექტროდების ფორმირება ფოლადის გარსაცმში პასტის შეყვანით ხორციელდება. წილის ზედაპირზე განვითარებული ტემპერატურა 8000 კეტ-ანი სიმძლავრის ლუმელში, 1350°C-ს აღწევს. ლუმელის სიგრძე 13,3, სიგანე 4,3 და ქვედა ძირიდან თალამდე 3,35 მ-ია, ხოლო წილის ზედაპირიდან თალამდე მანძილი 1,65 მ-ს შეადგენს.

ლუმელში იტვირთება მშრალი (2%-იანი ტენიანობით) და დაქუცმაცებული (მიწუს 325 მემამდე) ტყეიის ნელლი სულფიდური კონცენტრატის, აირებისგან განცალკევებული მტერისა და კირქვის ნარევი. მასალის ჩატირთვა ხდება ელექტროდებს შორის არსებული ლიობებიდან. ისევე ლიობებში ჩამაგრებულია ქმინები, საიდანაც ჰაერი შეიბერება ლუმელში. შეტერილი ჰაერის ნაკადი, რომელიც ზევიდან ჩამომავალი გაზმისადმი პორიზონტალურად არის მიმართული, უცვლის მიმართულებას კაზმის ნაწილაკებს და აფრქვევს მათ ელექტროდებს შორის არსებულ სივრცეებში. ლუმელში შეტერილი, ტანგენციალურად მიმართული ჰაერის ოთხი ნაკადი ელექტროდებს შორის ქმნის მოტირალე გრივალის ზონას, რომელიც ლუმელის კედლებთან შეხების გარეშე მოქმედებს. ლუმელის ასეთი მოწყობა (მეუხედავად თხევადი წილის



სურ. III.44. ტყეიის ნელლი სულფიდური კონცენტრატის საღნობი ელექტროლუმელის სქემა.

1 კონცენტრატი — ფლუს-მტენარ-კაჟის; 2 დროისის ჩასატვრით; 3 ელექტროდები; 4 ტყეიის ნელლის გამოსამუშავი ხერხი; 5 აირის გასასვლელი; 6 წილის გასასვლელი ხერხი; 7 ჰაერი.

ზედაირიდან ღუმელის თაღამდე მოკლე მანძილსა) გოგირდის უმეტესი ნაწილის SO₂-ში გადაყვანისა და კაზში შემავალი ტყვიის, რკინისა და თუთიის დაჟანგვის სარეაქციო დროის საკმარის ხანგრძლივობას უზრუნველყოფს. მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში შეკაების ზონაში ტემპერატურა 1150°C აღწევს. მასალის შეტივტივებული მდგომარეობის ზონიდან ჩამომავალი გამლნარი და ჯერ კიდევ მყარი ნაწილაკების ნარევი ღუმელის აბაზანის წიდაში გროვდება. წიდაში მთავრდება ფანგვა-აღდგენის რეაქციები, დაუფანგავი PbS-ის და ნაბრუნი მტერისა და წილის შემადგენლობაში შემავალი PbO-ის მონაწილეობით. რეაქციის შედეგად ლითონური ტყვია მიიღება:



ტყვია და წიდა ორ ფენად იყოფა. წიდა, რომელიც რკინის, კალციუმისა და თუთიის ოქსიდებისგან შედგება, ზედა თხევად ფენას წარმოქმნის, ხოლო წილის ქვეშ მოქცეული თხევადი ფენა ტყვიისგან შედგება. წიდაში გადასული ტყვიის ოქსიდის შემცირების მიზნით წიდაში ზედაპირზე პერიოდულად კოქსი იყრება. კოქსით აღდგენილი ტყვია წილის ფენიდან ტყვიის ფენაში ეშვება.

ღუმელიდან წილისა და ტყვიის გამოშვება პერიოდულად ხდება. ტყვია 3%-მდე გოგირდს შეიცავს და იგი ღუმელის შუა ნაწილში მოთავსებული ზერულიდან გამოდის, ხოლო წილის გამოშვება საკმაოდ მილის მოპირდაპირე ბოლოში განლაგებულ ზერულიდან ხდება. კოქსის დამატების მიუხედავად, წიდაში მაინც რჩება 4,5%-მდე PbO; წიდა აგრეთვე 2,0% ZnO-ს შეიცავს და ამიტომ იგი საფუძვინვე საამქროში იგზავნება გადასამუშავებლად.

ვინაიდან დნობის დროს მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში შესაკაებლად ღუმელში დიდი მოცულობის (127 მ³/წთ) კაერი მაღალი სიჩქარით (61 მ/წამ) შეიბრება და ღუმელში ჩასატვირთი კაზში მშრალი და წმინდად დაქუცმაცებულია, ღუმელიდან წარმავალ აირებს დღე-ღამეში თან მიჰყვება 100 ტ-მდე მტვერი. აირებისგან განცალკევებული მტვერი ისევე სადნობ ღუმელს უბრუნდება გადასამუშავებლად. ღუმელიდან გამოშვებული 1050°C-მდე გახურებული აირი სითბოს არინების მიზნით ჯერ სითბოს მიმოცვლის სისტემაში შედის, ხოლო შემდეგ მტვერისგან ცალკეედება. გასუფთავებული აირი, რომელიც 8% SO₂-ს შეიცავს, გოგირდმავას წარმოებაში გამოიყენება.

ღუმელში გადასამუშავებელი ტყვიის სულფიდური კონცენტრატი ძალზე მდიდარია და იგი 75% ტყვიას შეიცავს. გადასამუშავების შედეგად კონცენტრატიდან 98% ტყვია ამოიღება. ქარხანა წელიწადში 70000 ტ ტყვიას აწარმოებს.

სულფიდური ნედლეულიდან ტყვიის ამოღება სპილენძის მეტალურგიაში გამოყენებული „აოკეტ“ პროცესის მსგავსი პროცესითადა შეიძლება.

ნედლეულის დნობის პროცესის ჩასატარებელ აგრეგატში გაერთიანებულია მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის შახტი და წილიდან ტყვიისა და თუთიის ამოღების ზონა, რომელიც ელექტროლუმელშია განლაგებული. აგრეგატს თან ახლავს აგრეთვე ლითონური თუთიის კონდენსატორი და თუთიის ოქსიდის შემკრები.

კოქსტური ღუმელის შახტში ჩატვირთული მშრალი, გამოფენკარი კონცენტრატი მთლიანად დნება შეტივტივებულ მდგომარეობაში. ფორმირებული წიდა გადადინება ღუმელის აღდგენის ზონაში, სადაც წიდაში შემავალი ტყვიის ოქსიდი კოქსის დანამატთან ურთიერთქმედებს და ლითონურ ტყვიამდე აღდგება. ზონაში წილის გახურება სამი გრაფიტის წინაღობის ელექტროდით ხორციელდება. აღდგენილი ტყვია, რომელიც გოგირდს არ შეიცავს, უკანვე გადადინება შახტში და იქიდან უწყვეტად გადინება ღუმელიდან. წიდა კი პერიოდულად ღუმელის აღდგენის ზონიდან გადის.

ამ პროცესის გამოყენებით ნედლეულიდან 9,8% ტყვია, 9,0% თუთია, 9,2% სპილენძი და 88% ვერცხლი ამოიღება. კოქსის ხარჯი გადასამუშავებელი კონცენტრატის წონის 3-4% შეადგენს; ერთ ტონა კონცენტრატზე 3,5-4,5 კგ ელექტროდი იხარჯება; ერთ ტონა კონცენტრატზე 450-500 კვტ.სთ ელექტროენერგიაა საჭირო. ცხელი აირების ბოილერში გაყვლით ორთქლის მიღების შესაძლებლობა იქმნება. აირებისგან განცალკევებული მტვერი, რომელიც ღუმელში ჩატვირთული მასის 25%-ს შეადგენს, ღუმელის დნობის ზონაში ბრუნდება. თუ კაზში 17-22% გოგირდს შეიცავს, მაშინ დნობის პროცესი აუტოგენურ რეჟიმში წარინამართება. დნობის პროცესში კაერის მავერად განგზავის გამოყენება კაზმიდან გოგირდის მაქსიმალურად ამოღების საშუალებას იძლევა (გოგირდის საერთო რაოდენობის

97% SO_2 -ის სახით ამოიღება) და ამასთან SO_2 -ის კონცენტრაცია აირებში 50-60%-მდე იზრდება. გოგირდის ანჰიდრიდით მდიდარი აირები გოგირდმჟავას წარმოებაში გამოიყენება.

ტყვიის გადაშუშავების ამდაგვარი პროცესი რუსეთში, გერმანიასა და ბოლივიაში გამოიყენება.

3.4. ტყვიის რაფინირება

ნელეულის გადაშუშავების შედეგად მიღებულ დაუხალასებელ ტყვიამი შედის: 92-99% ტყვია; 0,0001-0,0005% ოქრო; 0,05-0,08% ვერცხლი; 0,1-7,0% სპილენძი; 0,006-1,3% კალა; 1,9%-მდე ღარიშხანი, 0,1-1,5% ანთიმონი; 0,4%-მდე თუთია; 0,3%-მდე ბისმუტი და 0,25%-მდე რკინა. ტყვიის შემადგენლობა მთლად მიუთითებს მისი რაფინირების აუცილებლობაზე.

ტყვიის რაფინირების დროს მინარეგების განდევნასთან ერთად სასარგებლო ელემენტების თანაური ამოღების შესაძლებლობაც უნდა იყოს გათვალისწინებული. ზოგჯერ კეთილშობილი ლითონების (ოქრო, ვერცხლი) შეცვლა ტყვიამი იმდენია, რომ მათი ღირებულება წარმოებული ტყვიის ღირებულებას აჭარბებს. ამიტომ კეთილშობილი ლითონების თანაურ ამოღებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

ტყვიის რაფინირებაში ორი ხერხი გამოიყენება – პირომეტალურგიული და ელექტროლიტური (წყალხსნარებში). რაფინირების პროცესში თანამშვერობით განიღვებენ შემდეგი მინარეგები: სპილენძი (ლიკვაციით და გოგირდის გამოყენებით), კალა, ღარიშხანი და ანთიმონი (ყანგეითი რაფინირება ჰაერის ფანგბადის გამოყენებით), ვერცხლი და ოქრო (თუთიის გამოყენებით), თუთია (ყანგვა ჰაერის ფანგბადით, წყლის ორთქლით, ტუტეთი ან დაქლორვით), ბისმუტი (ელექტროლიზით ან კალციუმის, მაგნიუმის და ანთიმონის გამოყენებით), კალციუმი, მაგნიუმი, ანთიმონი (ხარისხობრივი რაფინირება – ყანგვა ჰაერით, ტუტეთი ან დაქლორვით).

პირომეტალურგიული ხერხი მცირე დანახარჯებისა და მინარეგების განცალკევებული გამოყოფის უპირატესობით გამოირჩევა. ნაკლოვან მხარეებს განეკუთვნება პროცესების ხანგრძლივობა და ტყვიის მნიშვნელოვანი ნაწილის საბრუნ მასალებში გადასვლა.

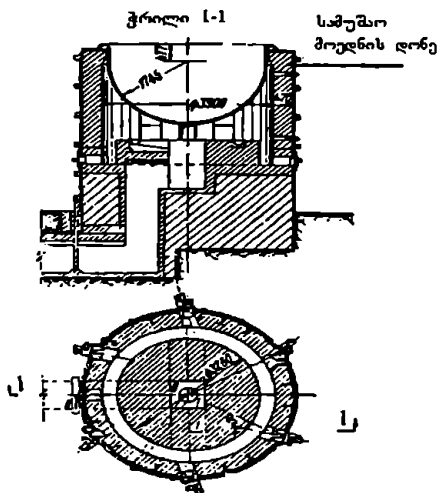
ელექტროლიტური რაფინირების დროს ელექტროლიზირში (ელექტროლიტური აბაზანი) ტყვიის ელექტროქიმიური განსნა და ერთდროულად მისი კათოდზე გამოლექვა ხდება. ელექტროლიტის სახით წყალბადფთორსილიკატური მჟავით (H_2SiF_6) შემავებული ტყვიის ფთორ-სილიკატის ($PbSiF_6$) წყალხსნარი გამოიყენება. მინარეგების განდევნა განპირობებულია იმით, რომ ტყვიასთან შედარებით მათი იონების განშუშვის პოტენციალი ნაკლებად ელექტროდობითია, ან იმით, რომ მინარეგები არ იხსნება ელექტროლიტში და ელექტროლიზის დროს შლამის სახით ელექტროლიტური აბაზანის ფსკერზე ილექება. ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, ბისმუტი, ანთიმონი და ღარიშხანი შლამში გროვდება.

ელექტროლიტური ხერხით რაფინირების დროს ტყვიის უმნიშვნელო ნაწილი გადადის ნარჩენებში, რაც შესაბამისად ზრდის ტყვიის ამოღების ხარისხს. ნაკლოვან მხარეებს განეკუთვნება წყალბად-ფთორსილიკატური მჟავას მოშწამლავი ზემოქმედება მომსახურე პერსონალზე, რთული შემადგენლობის შლამის გადაშუშავების სირთულე და ტექნოლოგიის მაღალი ღირებულება.

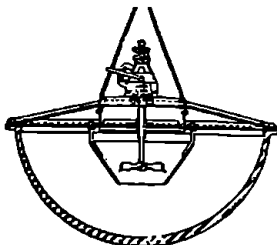
თანამედროვე მეტალურგიაში ნელეულისაგან მიღებული ტყვიის ძირითადი ნაწილი (90%) პირომეტალურგიული ხერხით სუფთავდება.

3.4.1. ტყვიის რაფინირების პირომეტალურგული ხერხი

ტყვიის რაფინირების ძირითადი პროცესები ტარდება ფოლადის ქვაბში, რომელიც ქვანახშირის ან თხევადი სათბობის გამოყენებით ხურდება. ქვაბი დაყენებულია აგურის წყობაზე (სურ. III.45.). გახურებული აირი ქვაბის ძირის გარშემო არსებულ წრიულ არხში შედის, ხოლო შემდეგ საკვამლე მილში გადადის. ქვაბის ტყველობა 30-დან 200 ტ-მდეა. ქვაბი ტყვიით ივსება და იცლება გადასატანი ტუმბოთი, რომელიც ხიდური ამწეით გადაადგილდება. ტუმბოს მწარმოებლობა შეადგენს 12 ტ ტყვიას წუთში. ტყვიის ნაღობის ასარეოდ გადასატანი შემრევი გამოიყენება (სურ. III.46.). შემრევის ბრუნვით (100-110 ბრ/წთ) ტყვიის ნაკადი ზევიდან ქვევით წარიმართება და შედეგად თხევადი ტყვიის ზედაპირზე ძაბრი წარმოიქმნება. ძაბრში საჭირო დანამატი რეაგენტის ჩატვირთვისას რეაგენტი ტყვიის ნაკადით წაიტაცება და ქვაბის ბოელ მოცულობაში თანაბრად ნაწილდება.



სურ. III.45. ტყვიის რაფინირების ქვაბი.



სურ. III.46. ტყვიის შერევა.

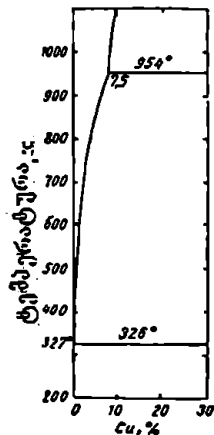
ნელეულის სადნობი ღუმელიდან გამოსული დაუსალასებელი თხევადი ტყვია, რომელიც რაფინირების ქვაბში გადადის, 927°C -მდეა გახურებული. რაფინირების პირველ საფეხურზე, რომელიც დროსირების სახელწოდებით არის ცნობილი, ქვაბში მოთავსებული თხევადი ტყვიის ტემპერატურის დაწვეა ხდება (რაფინირება ლიკვაციით). ტემპერატურის ვარდნის შედეგად, მაღალ ტემპერატურაზე ტყვიაში გახსნილი ზოგიერთი მინარევის ხსნადობა მკვეთრად მცირდება. ხსნადობის შემცირებით მინარევი გამოიყოფა თხევადი ტყვიიდან, ადის მის ზედაპირზე და იქ დროსის სახით გროვდება.

დროსირების საფეხურზე მინარევის შორის ყველაზე დიდი რაოდენობით სპილენძი განიღვენება. ტემპერატურის ვარდნისას თხევადი ტყვიიდან გამოკრისტალდება განიღვნილი მყარი ხსნარი ტყვიისა სპილენძში, რომლის კუთრი წონაა 9. ეინაიდან ტყვიის კუთრი წონა 11,3 ტოლია, მყარი ხსნარის კრისტალები ნაღვნიდან ზევით ადის და თხევადი ტყვიის ზედაპირზე იწყებს ტიტივს (ტყვიის გადაშუშვების ეს ნახევარპროდუქტი რუსულ ლიტერატურაში ცნობილია როგორც „სპილენძის შლიკერები“ – Медные шликеры; შლიკერი – გერმანულად – Schlicker, Schlick-დან – ლამი, ქვიშიანი თიხა).

სპილენძის განღვენის ხარისხი მით უფრო მაღალია, რაც უფრო დაბალია ქვაბის გაცივების საბოლოო ტემპერატურა. მაგრამ ტემპერატურის დაწვეასთან ერთად არასასურველი მოვლენები ჩნდება – ტყვიის სიბლანტე იზრდება, მყარი ნაწილაკების ასვლა ტყვიის ზედაპირზე ნელდება და მყარი ნაწილაკებით წატაცებული ტყვიის რაოდენობა მატულობს.

მდგომარეობის დიაგრამის (სურ. III.47.) მიხედვით ნაღვნი სრული გამყარება 326°C -ზე ხდება. ამ ტემპერატურაზე გამყარებული ევტექტიკა 0,06% სპილენძს შეიცავს. მასსადამე ტყვიის გაცივების საბოლოო ტემპერატურა 326°C -ზე მეტი უნდა იყოს.

პრაქტიკულად კი სპილენძის განღვენის პროცესის დასაწყისში ქვაბში მოთავსებული ტყვიის ნაღვნი ნული გაცივებით ტემპერატურა 450°C -მდე დაიყვანება. ამ ტემპერატურაზე ტყვიის ზედაპირზე ამოტიტივებული დროსი (სპილენძის შლიკერი), რომელიც განიღვენება და ცალკე გადაშუშვდება, ფხვნილისებრია და მას შედარებით მცირე



სურ. III.47. სპილენძ-ტყვიის მდგომარეობის დიაგრამის უბანი.



სურ. III.48. დროსის გამოხვეცა.

რაოდენობის ტყვია მიჰყვება თან. ამ ოპერაციის შედეგად მიღებული დროსი შპრალი დროსის სახელწოდებით არის ცნობილი. დროსის გადმოღების შემდეგ ტყვია სხვა ასეთივე ქვაბში გადაიტუმბება და 340-350°C-მდე ცოვდება. ამ ტემპერატურაზე ტყვიის ნაღობის ზედაპირიდან გადმოღებული დროსი ბლანტი და იგი მექანიკურად წატაცებული ტყვიით არის გაფლანტილი. ოპერაციის შედეგად მიღებული დროსი ცხიმოვანი დროსის სახელწოდებით არის ცნობილი და იგი პირველ ქვაბში ბრუნდება დანამატის სახით დაუხალა-სებელი ტყვიის მორიგი პორციის

გადამუშავების დროს. გამდნარი ტყვიის ზედაპირიდან დროსის გამოხვეცისა და ამოღების ოპერაციები ნაჩვენებია III.48. და III.49. სურათებზე.

ზემოთ აღწერილი ოპერაციების ჩატარებით ტყვიაში სპილენძის შემცველობა 0,1%-მდე მცირდება. სპილენძისგან შემდგომი ღრმა გასუფთავების მიზნით 330-350°C-ზე გამდნარ ტყვიასთან ელემენტური გოგირდის შერევა ხდება. გოგირდთან ურთიერთქმედებით სპილენძი წარმოქმნის ტყვიაში უხსნად სულფიდს (Cu₂S). რომელიც მყარი ნაწილაკების სახით ადის ზევით და გამდნარი ტყვიის ზედაპირზე გროვდება (ეს ნახევარპროდუქტი რუსულ ლიტერატურაში ცნობილია როგორც სულფიდური შლოკერები). ლითონის მექანიკური წატაცების შემციობების მიზნით ტყვიის ნაღობის ზედაპირიდან სულფიდის გადმოღებამდე საჭირო ხდება ტყვიის ნაღობის ტემპერატურის 370°C-მდე გაზრდა



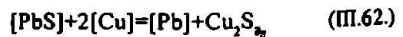
სურ. III.49. დროსის ამოღება.

(ტყვია უფრო დენადი ხდება და იგი ნაკლებად წაიტაცება სულფიდის გადმოღების დროს). სულფიდის გადმოღება ტყვიის ზედაპირიდან ზერელებიანი ციციხვის შემუშავებით ხორციელდება.

სპილენძისგან ტყვიის ღრმა გასუფთავების პროცესი ტყვიის სულფიდის თავადპირველად წარმოქმნას ეწყარება რეაქციით:



დასაწყისში უპირატესად ტყვიის სულფიდის წარმოქმნა მასების მოქმედების კანონიდან გამომდინარეობს - შენაღობში ტყვიის კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად აჭარბებს სპილენძის კონცენტრაციას. გოგირდოვანი ტყვია იხსნება გამდნარ ტყვიაში. ტყვია-გოგირდის სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის მიხედვით რაფინირების ტემპერატურაზე PbS-ის ხსნადობა გამდნარ ტყვიაში 0,7-0,8%-ს აღწევს. ვინაიდან, ტყვიასთან შედარებით, სპილენძის სათესური კავშირი გოგირდთან უფრო მეტია, ხოლო PbS-ის დისოციაციის დრეკადობა უფრო მაღალია, ვიდრე Cu₂S-სა, უპირატესად ვითარდება რეაქცია:



ერთი ტონა ტყვიის გადასამუშავებლად დაახლოებით 1კგ გოგირდი იხარჯება. გამდნარი ტყვიის ზედაპირიდან

გადმოღებული მასა 85%-მდე ტყვიასა და 3%-მდე სპილენძს შეიცავს. იგი ცხიმოვან დროსებთან ერთად პირველ ქვაბში ბრუნდება გადასამუშავებლად.

რაფინირების დასაწყისში მიღებული სპილენძშემკველი დროსი, რომელიც 50-80% ტყვიასა და 10-25% სპილენძს შეიცავს, დამოუკიდებლად გადამამუშავება მცირე ზომის (დაახლოებით 120 ტ-ის) ამრეკლ ლუმელში. ლუმელში დროსთან ერთად იტვირთება და დნობას ექვემდებარება ტყვიის ნეელი კონცენტრატი, რკინის ჯგარით, კოქსი და ფლუსის სახით ნატრიუმის კარბონატი. ლითონური და სულოფიდური სპილენძისა და ტყვიის სულოფიდის ურთიერთქმედების შედეგად სპილენძით მდიდარი შებენი მიიღება. შებენი სპილენძსადნობა ქარხანაში იგზავნება კონვერტერში გადასამუშავებლად, ხოლო დნობის მეორე პროდუქტი, დაუხალასებელი ტყვია, რაფინირებაზე ბრუნდება. ლუმელიდან მიღებული წიდა ტყვიის ალდგენითი დნობის შახტურ ლუმელში ჩასატვირთ კაზმთან ერთიანდება. დროსის გადამამუშავების პროცესი 5-7 საათი გრძელდება. აირებისგან განცალკევებული მტვერი ტყვიის სადნობი ქარხნის საავლომერაციო სააპეროში ბრუნდება.

ტყვიის რაფინირების შეორე საფეხური, რომელიც ტყვიის დარბილების პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი, კალის, ანთიმონისა და დარიშხანის მინარეების განდგენას ითვლისწინებს (მინარეების ჯამური შემცველობა დუბალასებელი ტყვიის 1,5%-ს აღწევს). ამ მინარეების ზემოქმედებით ტყვიას სირბილე და ქუვადობა ეკარება და მომდევნო საფეხურზე ვერცხლის თანაური ამოღების პროცესი რთულდება. ტყვიის სპილენძისგან რაფინირების დროს ამ მინარეების განდგენა არ ხერხდება, ვინაიდან ტყვიის დნობის ტემპერატურაზე კალა განუსაზღვრელად იხსნება ტყვიაში, ხოლო დარიშხანისა და ანთიმონის ხსნადობა ტყვიაში შესაბამისად 5%-ს და 23%-ს აღწევს. ამასთან, ტყვიასთან შედარებით, ამ ელემენტების ნათესაური კავშირი გოგირდთან უფრო დაბალია. სამაგიეროდ, ტყვიასთან შედარებით, კალა, დარიშხანი და ანთიმონი ჟანგბადთან დიდი ნათესაური კავშირით გამოირჩევა. გარდა ამისა ამ მინარეების ოქსიდები თხვეად ტყვიაში არ იხსნება. მაშასადამე, მათი განდგენისთვის შესაძლებელია ჟანგითი დნობის (რაფინირების) პროცესის გამოყენება.

ტყვიის ცეცხლოვანი (ჟანგვითი) რაფინირება, რომელიც ამრეკლი ტიპის ლუმელში ტარდება, ქიმიური გარდაქმნებითა და აპარატურული გაფორმებით სპილენძის ცეცხლოვანი რაფინირების პროცესის მსგავსია. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ ტყვიის ოქსიდი, სპილენძის ოქსიდისგან განსხვავებით, თვით გადასამუშავებელ ლითონში არ იხსნება (ტყვიის ოქსიდი ტყვიაში არ იხსნება). ბისმუტი, რომელიც მინარეების სახით ხშირად თან სდევს ტყვიას, უფრო სუსტ ნათესაურ კავშირშია ჟანგბადთან, ვიდრე - ტყვია. ამიტომ ბისმუტის განდგენა ტყვიდან ჟანგვითი რაფინირებით შეუძლებელია.

ტყვიის დარბილების პროცესი მცირე ზომის, 300 ტ-იან ამრეკლ ლუმელში (სიგრძე 8,5 მ, სიგანე 4 მ) ტარდება. პროცესი როგორც პერიოდული, ასევე უწყვეტი მოქმედებისაა. ორივე პროცესში კალის, დარიშხანისა და ანთიმონის დაჟანგვის ძირითადი რეაქტივები ვითარდება. მინარეების დაჟანგვის სირჩარე მათი აბაზანის ზედაპირისკენ დიფუზიის სირჩარეზე დამოკიდებული.

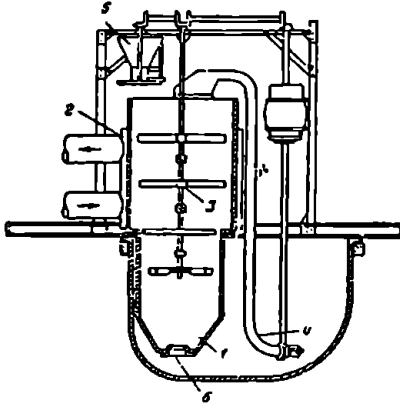
პერიოდულ პროცესში დროსირების ქვაბიდან ტყვია გადაიტუმბება (ტუმბოს მეშვეობით) ამრეკლ ლუმელში, სადაც თხვეადი ტყვია 500°C-მდე ხურდება. ტყვიის გახურებაზე ნაღობში ჰაერის შებერვით მინარეების დაჟანგვის რეაქტივები ჩქარდება. კალა, დარიშხანი და ანთიმონი ნაწილ ტყვიასთან ერთად იჟანგება, აღის ზეით და გამდნარი ტყვიის ზედაპირზე „რაფინის“ სახით გროვდება. მინარეების რაოდენობიდან გამომდინარე, ნაღობის გადმოღება ერთხელ, ორჯერ ან სამჯერ ხდება. პირველად გადმოღებული ნაღები კალის უმეტეს ნაწილს შეიცავს, კალის ოქსიდის (SnO), ან კალის ანთიმონიტის (Sn₃(SbO₄)₂) სახით. მათში შერეულია აგრეთვე ტყვიის სტანატი (2PbO·SnO₂), ან ტყვიის ანთიმონატი, (3PbO·Sb₂O₃). მეორედ გადმოღებული ნაღები ტყვიის ანთიმონატისგან შედგება, ხოლო მესამედ გადმოღებული ტყვიის არსენატისა (3PbO·As₂O₃) და PbO-ის ნარევეს შეიცავს.

ტყვიის შერბილების (ჟანგვითი რაფინირების) უწყვეტ პროცესში, რომელიც ამრეკლ ლუმელში ტარდება, თხვეად ტყვიასა და ტყვიის ოქსიდურ წიდას შორის წონასწორობა მყარდება 800°C-ზე. განსაზღვრული რაოდენობის ტყვიის ნაღობი დროსირების ქვაბიდან დროამოშვებით იტვირთება ლუმელში მისი ერთი ბოლოდან. ლუმელის აბაზანაში ჰაერის შებერვით ტყვიის ნაწილი იჟანგება და ტყვიის ოქსიდის წიდა წარმოიქმნება. გარდა ამისა, ჰაერის შებერვით აბაზანა ირევა და მასში

მიმდინარე რეაქციები ჩქარდება. ანთიმონი, დარიშხანი და კალა ტყვიის ოქსიდის წიდასთან ურთიერთქმედებით სწრაფად იფანგება და რჩება წილის ხსნარში, რომელიც ღუმელის ჩასატვირთი მხარის მოპირდაპირე ბოლოდან გადმოედინება:



დარბილებული ტყვია, რომელიც წილის ფენის ქვეშ გროვდება, უწყვეტად გადმოედინება ღუმელის იმავე მხრიდან.



სურ. III.50. ტყვიის ქიმიური ხერხით რაფინირების აპარატი.

1. სარეაქციო ცილინდრი 2. სახურებელი პერანგა 3. ამრეცა 4. ტუმბო; 5. გვარჯილის ბუნჯეა 6. სასრეცელი.

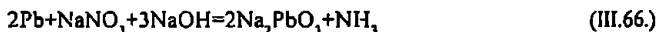
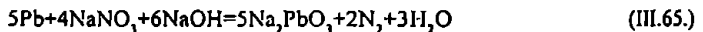
ქველი, რომელიც თავისუფლად ატარებს ტყვიას ცილინდრიდან ქვაბში.

გახურების შემდეგ ცილინდრი NaOH-ისა და NaCl-ის (30-40%) ნარევით ივსება. ტყვია ტუმბოს აღმავალი მილის საშუალებით უწყვეტად გადაიტუმბება ცილინდრში და მისი ქვეა ნაწილიდან ისევ ქვაბში ჩაედინება. მთელი პროცესის განმავლობაში გვარჯილა (NaNO₃) უწყვეტად მიეწოდება სარეაქციო ცილინდრს. აპარატში ტყვია იქამდე განიცდის ცირკულაციას, სანამ ქვაბიდან აღებული სინჯის სისუფთავე გასუფთაების საჭირო დონეს არ მიაღწევს.

გასუფთავების ქიმიური რეაქციები ამ შემთხვევაშიც ტყვიისა და მინარევების ფანგადთან ნათესაური კავშირის სხვაობას იყარება. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ ტუტერაფინირების დროს ფანგადის წყაროს არა ჰაერი, არამედ ნატრიუმის გვარჯილა (NaNO₃) წარმოადგენს. გვარჯილა უფრო ინტენსიური და პირდაპირი დამაგნეველია. იგი გახურებით იშლება:

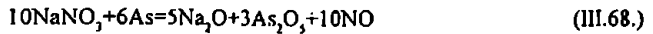


გამდარი ტყვია, NaOH+NaOH₂-ის შენადნობთან შეხებისას PbO-მდე იფანგება, ხოლო უკანასკნელი ტუტე ნაღობში იხსნება და ნატრიუმის პლუმბიტს წარმოქმნის:

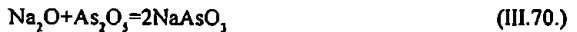
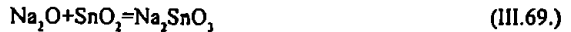


კვლევებით დადგენილია, რომ პროცესის შედეგად გამოყოფილ აირებში აზოტი ჭარბობს, ამიტომ ძირითადად III.65 რეაქცია ვითარდება.

ნატრიუმის პლუმბიტით იფანგება კალის, დარიშხანისა და ანთიმონის მინარევები, ვინაიდან ტყვიასთან შედარებით მათი ნათესაური კავშირი ფანგადთან უფრო ღილა მსგავსად იმისა, როგორც ეს ტყვიის ჰაერით ფანგვით რაფინირების დროს ხდება. შესაძლებელია აგრეთვე მინარევების უშუალოდ დაჟანგვა ნატრიუმის გვარჯილით:



შემდეგ კი:



მინარეების დაგროვებით ტუტე-ნაღვობი სქელდება. როდესაც ნაღვობში 18% As ან 20% Sn ან 30% Sb დაგროვდება, ცილინდრი იცლება ნაღვობისგან. ნაღვობი მინარეების ამოღებისა და მწვანე ნატრიუმის რეგენერაციის მიზნით გადამუშავდება. რაფინირების ოპერაციის დამთავრების შემდეგ აპარატი ამწეს მეშეუბით სხვა ტყვიან ქვაბზე გადაიტანება.

კალის, დარიშხანისა და ანთიმონის განღვინის ტუტე მთლიან შემდეგი უპირატესობებით გამოირჩევა: პროცესის დაბალი ტემპერატურა ტყვიის აორთქლებას გამოიცხავს, მინარეები უფრო სრულად განიღვენება, რაც მათი ამოღების პროცესებს ადვილებს, კეთილშობილი ლითონების დანაკარგი უმნიშვნელოა. ნაკლოვან მხარეს განეკუთვნება ტუტე ნაღვობის გადამუშავების სირთულე. რაფინირების მომდევნო საფეხურა, რომელიც პერკის პროცესის სახელით არის ცნობილი, ტყვიის გაუფერცლოებასთან (ვერცხლის, ამოღება, განღვენა) ერთად ოქროს ამოღებასაც (ვერცხლთან შედარებით, ოქრო უფრო ნაკლები რაოდენობით თან სდევს ტყვიის მადნებს) ითვალისწინებს.

ვერცხლისა და ოქროს განღვენა გამდნარ ტყვიაში თუთიის დანამატის შეტანით (შერევით) ხორციელდება. კეთილშობილ ლითონებს თუთიასთან უფრო ძლიერი ნათესაური კავშირი გააჩნიათ, ვიდრე ტყვიასთან და ამავე დროს ტყვია და თუთია ერთმანეთში უმნიშვნელოდ იხსნება. თუთია ვერცხლთან და ოქროსთან წარმოქმნის რიგ ქიმიურ ნაერთებს, რომლებსაც დნობის სხვადასხვა ტემპერატურა გააჩნიათ: Ag_2Zn_3 -665°C; Ag_2Zn_3 -636°C; AuZn -725°C; Au_2Zn_3 -664°C; AuZn_3 -475°C. გარდა ამისა, თუთია ვერცხლთან და ოქროსთან მრავალრიცხოვან მყარ ხსნარებსაც წარმოქმნის. მყარი ხსნარების დნობის ტემპერატურები უფრო მაღალია, ვიდრე ტყვიის დნობის ტემპერატურა. კეთილშობილი ლითონებისა და თუთიისგან შემდგარ ქიმიურ ნაერთებსა და მყარ ხსნარებს, ტყვიასთან შედარებით, უფრო ნაკლები კუთრი წონა გააჩნიათ. ამიტომ გამდნარ ტყვიაში წარმოქმნილი ეს ნაერთები და მყარი ხსნარები ადის ზეით და ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნის მყარ ქერქს, რომელიც ვერცხლოვანი ან ვერცხლოვანი თუთიის ქაფის სახელით არის ცნობილი.

ვერცხლთან შედარებით, ოქროს უფრო დიდი ნათესაური კავშირი გააჩნია თუთიასთან, რაც ხელს უწყობს შემდეგი რეაქციის განვითარებას:



ამ რეაქციიდან და სხვა ამდაგვარი რეაქციებიდან გამოიღწევა, გასაგებია, თუ რატომ გადადის ქაფში ჯერ ოქრო და შემდეგ ვერცხლი. დარიშხანის, ანთიმონისა და კალის მინარეები ზრდის თუთიის ხარჯს და ქაფის განცალკევებას ართულებს. ამიტომაც აუცილებელია ამ მინარეების წინასწარი განღვენა ტყვიიდან.

გაუფერცლოების პერიოდული პროცესი ადრე აღწერილ თავლია ფოლადის ქვაბში (სურ. III.45.) ტარდება. რაფინირების პროცესში გამდნარ ტყვიაში თუთიის შეტანა (შერევა), რომელიც შერევი მოწყობილობის მეშეუბით ხორციელდება, რამდენჯერმე ხდება. თუთიის დანამატის ტყვიასთან ყოველი შერევის შემდეგ ლითონის ზედაპირზე ამოტივტივებული ქაფი ხერელებიანი კოეზებით გადმოიღება. მათ შორის კეთილშობილი ლითონებით ყველაზე მდიდარი პირველად გადმოღებული ქაფია, ხოლო ყველაზე ღარიბი ბოლოს გადმოღებული. ბოლოს გადმოღებულ ქაფში დიდი რაოდენობით რჩება ჭარბი თუთია.

თუთიის პირველი დანამატი (თუთიის შოთხთან ერთად ქვაბში წინა ოპერაციებიდან მიღებული ღარიბი ქაფი იტვირთება) 480°C-მდე გახურებულ გამდნარ ტყვიასთან ირევა. ტყვიის არევა (20-30 წთ განმავლობაში) მასში შეტანილი თუთიის მთლიანად გადნობის შემდგომ იწყება. არევის შემდეგ ქვაბი 380°C-მდე ცივდება და ლითონის ზედაპირიდან პირველი ქაფი გადმოიღება. თუთიის

დანამატების შემდგომი შეტანა ტყეიაში ლითონიდან (ტყეიიდან) აღებული სინჯების ოქროზე და ვერცხლზე ანალიზების შედეგების შესაბამისად ხდება. ყოველი რიგითი თუთიის დანამატის შეტანის წინ ტყეია 450-480°C-მდე ხურდება და ცივდება 340-350°C-ზე ქაფის ყოველი გადმოღების წინ. თუთიის დანამატის შერევის ორი-სამი ოპერაციის ჩატარებით ტყეიაში ვერცხლის შემცველობა, როგორც წესი, 0,0003%-მდე (3 გ/ტ) მცირდება.

თუთიის შერევისა და ქაფის გადმოღების ყოველ ოპერაციაზე (ოპერაციაში შედის აგრეთვე ტყეიის გახურებისა და ცივების დრო) 4 საათი იხარჯება. მაშასადამე, სამ ოპერაციას 12 საათი ესაჭიროება. თუთიის ხარჯი ტყეიის შემადგენლობაზეა დამოკიდებული და იგი, როგორც წესი, ტყეიის წონის 1,5-2%-ია. სათბობის ხარჯი ტყეიის წონის დაახლოებით 3%-ს შეადგენს.

უწყვეტი ვაუერცხლოების პროცესი ტარდება სახურებლით აღჭურვილ რკინის მაღალ (სიმაღლე 7 მ, დიამეტრი 3 მ) დახურულ ქვაში. სახურებელს ოთხი, ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი ტემპერატურული ზონა გააჩნია. ტემპერატურული გრადიენტი, რომელიც ლუმელში მყარდება, ასეთია: ქვების თავში - 600°C, ხოლო მის ძირში ტყეია-თუთიის ექტექტიკის (99,5%Pb) დნობის ტემპერატურაა - 318°C.

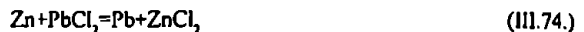
ქვების დაახლოებით 1 მ სიგრძის ზედა ნაწილი თხევადი თუთიით ივსება, ხოლო დანარჩენი - ტყეით. ვერცხლისგან გასასუფთავებელი თხევადი ტყეია (გახურებული 650°C-მდე), რომელიც თუთიის ნაღობის ზედაპირზე იტვირთება, თუთიის ფენის გაელით ქვეით ჩადის და ტყეიის ფენას უერთდება. ზეიდან ჩატვირთული ტყეიის რაოდენობის ტოლი ვერცხლისგან გასუფთავებული ტყეია კი - ქვების ძირში ჩაყენებული სიფონის მეშვეობით გარეთ გაედინება ისე, რომ ქვაბი მუდმივად სავსეა. თუთიის ფენაში ტყეიის ჩასვლისას ვერცხლის მინარევი თუთიასთან უროიერთქმედებს და მასთან ქიმიურ ნაერთს წარმოქმნის. წარმოქმნისთანავე ქიმიური ნაერთი ტყეიაში იხსნება და მასთან ერთად ქვეით ჩადის. ტყეიის ნაღობის დაბალ ტემპერატურულ ზონაში შესვლისას მასში გახსნილი ქიმიური ნაერთი ნაკლებად ხსნადი ხდება და ამიტომ ტყეიის ნაღობიდან გამოიყოფა. გამოყოფილი ნაერთი ადის ზეით და თხევადი თუთიის ფენაში იხსნება. ერთ ტონა თუთიის ფენაში 170 გ ვერცხლის დაგროვების შემდეგ თხევადი თუთიის ფენის გამყარება იწყება. თუთიის ფენა გამყარებამდე გადმოიღება ქვაბიდან და გადასამუშავებლად იგზავნება. ქვაბი თუთიის ახალი პორციით ივსება და რაფინირების უწყვეტი პროცესი გრძელდება.

ვერცხლას მოცილება შემდეგ ტყეიაში 0,6-0,8% თუთია რჩება. ტყეიიდან თუთიის განდევნა შესაძლებელია გამდნარ ტყეიაში ჰაერის ან აირადი ქლორის შებერვით და აგრეთვე ვაკუუმური დისტილაციით.

გამდნარ ტყეიაში ჰაერის შებერვით, ანუ უანგეითი რაფინირებით თუთიის განდევნა, როგორც ქიმიური გარდაქმნებით, ასევე აპარატურული გაფორმებით კალის, დარიშხანისა და ანთიმონის ტყეიიდან განდევნის პროცესის მსგავსია. ტყეია 800-900°C-მდე ხურდება ამრეკლ ლუმელში ჰაერის თავისუფალი შეღწევის (ლუმელის საბუშარ ფანჯრებიდან) პირობებში, რის შედეგადაც ტყეიაში შესავალი თუთია იფანება და ოქსიდს წარმოქმნის. თუთიის ოქსიდი ადის ზეით და გამდნარი ტყეიის ზედაპირზე გროვდება. თუთიის ოქსიდის გადმოღება ტყეიის ზედაპირიდან 3-4-ჯერ ხდება. მისი რაოდენობა ტყეიის წონის 4-5%-ს შეადგენს. ოქსიდი 10-12% თუთიასა და 80-85% ტყეიას შეიცავს.

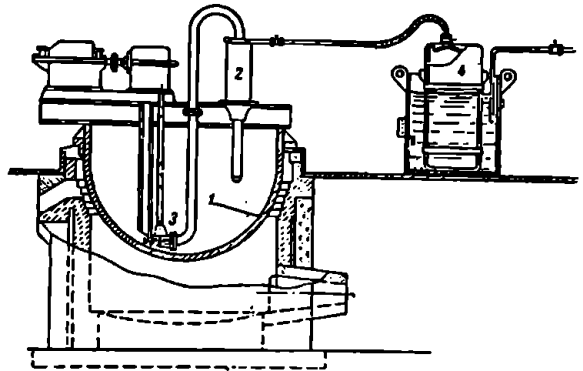
თუთიის განდევნის უანგეითი მეთოდი მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებებით გამოირჩევა: წარმატადი აირებით საკმაოდ დიდი რაოდენობის ლითონი წაიტაცება ორთქლის სახით, ტყეიის ზედაპირიდან გადმოღებული თუთიის ოქსიდებიდან ტყეიის ამოღება ძალზე გართულებულია. ამ მეთოდით რაფინირებული ტყეიის გამოსავლიანობა 90-92%-ს არ აღემატება.

ქლორიდული მეთოდით ტყეიის თუთიისგან გასუფთავება ემყარება ლითონების ქლორთან ნათესაური კავშირების სხვაობას. გამდნარი ტყეიის აირადი ქლორით დამუშავებისას შემდეგი რეაქციები ეითარდება:



თუთიის ქლორიდი არ იხსნება ტყეიაში და მის ზედაპირზე ტიტტივებს. დაქლორვის აპარატი ნაწვენება III.51. სურათზე.

აპარატი რკინის რეაქტორისა და ქვაბისგან შედგება. რეაქტორი თავისი ღია ბოლოთი ტყვიის შეცველ ქვაბში ჩაძირული. რეაქტორის შიგა სივრცე მილით უკავშირდება ქლორიან ბალონს. ამრიგად, რეაქტორში ქლორის ატმოსფერო იქმნება. ტუმბოს საშუალებით ტყვია ქვაბიდან უწყვეტად გადადის რეაქტორის სივრცეში. რეაქტორში შემავალი ტყვიის ღვარი წვრილ ნაკადებად იყოფა. რეაქტორის ქვეშ წარმოქმნილი ქლორიდები ტყვიის ნაკადით გამოიტანება. გამდნარი ტყვიის ზედაპირზე ასული ქლორიდები გამგრებული ქერქის სახით ტიფტივებს. დროგამოშვებით გამდნარი ტყვიის ზედაპირიდან გამყარებული ქლორიდები გადმოიღება.



სურ. III.51. დაქლორვის აპარატი.
1 ქვაბი; 2. რეაქტორი; 3 ტუმბო; 4. ბალონი ქლორით.

რაფინირების ტემპერატურა 400°C-ს არ უნდა აღემატებოდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ქლორიდების მნიშვნელოვანი ნაწილი აორთქლდება. გარდა ამისა, მაღალ ტემპერატურაზე ქვაბისა და რეაქტორის კედლები მნიშვნელოვან კოროზიას განიცდის. ასტონიან ქვაბში ტყვიის 4-საათიანი ქლორიდული რაფინირების შედეგად ტყვიაში თუთიის შემცველობა 0,6-დან 0,005%-მდე მცირდება. ტყვიიდან თუთიის განადგენის მიზნით ყველაზე ფართოდ ვაკუუმური ღისტილაციის პროცესი გამოიყენება.

პროცესი ტარდება ქვაბში, რომელიც ჰერმეტიკულად იხურება ხუფით (ხუფი წყლით ცივდება). ვაკუუმური ღისტილაციის პროცესი ქვაბში ტყვიის არევითა და მისი 59,5°C-ზე გახურებით მიმდინარეობს. გამდნარი ტყვიიდან აორთქლებული თუთია ხუფის შიგა ზედაპირზე კონდენსირდება. დაკონდენსირებული თუთია საკმაოდ სუფთაა და იგი ტყვიის გაუფერესლოების პროცესში ხელშეორედ გამოიყენება. ღისტილაციით გასუფთავებული ტყვია 0,02% თუთიას შეიცავს.

ტყვეოს შინაარსეყვებს შორის ბისმუტი ყველაზე ძნელად მოსაცილებელ მინარეეს განეკუთუნება. ბისმუტის მოცილების მიზნით ტყვიის ნაღობი 350°C-მდე ხურდება და მას კალციუმი და მაგნიუმი ემატება. ეს დანამატი ლითონები ბისმუტთან ქიმიურ ნაერთებსა და მყარ ხსნარებს წარმოქმნის. ნაერთები და ხსნარები არ იხსნება ტყვიაში და ტყვიასთან შედარებით უფრო ნაკლები უფრო წონით გამოირჩევა. წარმოქმნისთანავე ნაერთები გამდნარი ტყვიის ზედაპირზე აღის და იქ გროვდება. მათი დნობის ტემპერატურებია: Bi₂Ca - 507°C; Bi₂Ca₂ - 928°C; Bi₂Mg₂ - 715°C. მარტო კალციუმის დამატებით ბისმუტის შემცველობა ტყვიაში 0,05%-მდე მცირდება, ხოლო კალციუმისა და მაგნიუმის ერთობლივი მოქმედებით ბისმუტის შემცველობა ტყვიაში 0,008%-მდე ვარდება. ანთიმონის მცირე რაოდენობით ტყვიაზე შემდგომი დამატების შედეგად ბისმუტის შემცველობა 0,004-0,006%-მდე მცირდება. ანთიმონი ბისმუტთან ტყვიაში უხსნად ინტერმეტალურ ნაერთს (SbxCu_{1-x}) წარმოქმნის. გამდნარ ტყვიაში მაგნიუმი შთობების სახით შეაქეთ. რაც შეეხება კალციუმს, მისი ადვილად დადანაგვის გამო იგი ტყვიასთან შენადნობის სახით (Ca-ის შემცველობა 3-4%-ს შეადგენს) ემატება ტყვიას. ტყვია-კალციუმის შენადნობის მისაღებად ჯერ მზადდება ტყვია-ნატრიუმის შენადნობები, ხოლო შემდეგ იგი გამდნარი კალციუმის ქლორიდით მუშავდება:



მაგნიუმისა და კალციუმის ტყვიასთან შერევა ორჯერადად ხდება. დასაწყისში გათვლილი რაოდენობის 1/4 შეაქეთ ტყვიაში, ხოლო შემდეგ - დანარჩენი. დანამატების შეტანის დროს ტყვიის ნაღობი 420°C-მდე ხურდება. ნაღობის 30-წუთიანი არევის შემდეგ მისი ტემპერატურა 400°C-მდე შეცირებას განიცდის და ტყვიის ზედაპირზე წარმოქმნილი ბისმუტის ნაერთები გადმოიღებას

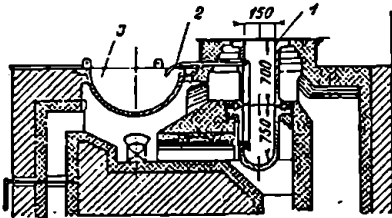
ექვემდებარება. პირველ ოპერაციაზე ვადმოღებული ბისმუტით მდიდარი დროსი ბისმუტის ამოღების მიზნით გადამუშავდება, ხოლო შემდგომი ოპერაციის შედეგად წარმოქმნილი ნაერთები (დროსი) საბრუნო მასალის სახით გამოიყენება. ბისმუტის უფრო სრული განდევნის მიზნით ტყვიის ზედაპირი (გამღარი) ვერ საეულდაეულოდ სუფთავდება დროსებისგან, ხოლო შემდეგ დაქუცმაცებული ანთიზინის შეტანა (შერევა) ხდება ტყვიამი.

გამღარი ტყვიის ზედაპირიდან ვადმოღებული ბისმუტით მდიდარი დროსი ანოღების სახით ჩამოსხმება. ბისმუტის ამოღების მიზნით ანოღი ფორსილიციუმის ელექტროლიტში ელექტროლიზს ექვემდებარება. ელექტროლიზის შედეგად წარმოიქმნება ბისმუტით მდიდარი შლამი, საიდანაც მარტივი ოპერაციებით ლითონური ბისმუტი მიიღება.

ცეცხლოვანი რაფინირების ბოლო საფეხურზე, ტყვიიდან მავნიუმი და კალციუმი განიღვენება. მათი განდევნის მიზნით, გამღარი ტყვიამი ჰაერს ან აირად ქლორს უბერავენ, ანდა ტუტე დანამატი (გვარკილა) გამოიყენება. ამ ოპერაციების შედეგად წარმოიქმნება მავნიუმისა და კალციუმის ოქსიდური ან ქლორიდული ნაერთები, რომლებიც თავს იყრის გამღარი ტყვიის ზედაპირზე. ამ ნაერთების მოცილების შედეგად საბოლოოდ გასუფთავებული ტყვია მიიღება. ტყვია, როგორც წესი, 32-კილოგრამიანი შოთების სახით ჩამოსხმება ბოყეებში.

3.4.2. კეთილშობილი ლითონების ამოღება ტყვიის რაფინირების შეაღედური პროდუქტებიდან

ტყვიის რაფინირების გაუვერცხლოების საფეხურზე მიღებული ვერცხლოვანი ჭაფი (დროსი) ოქროს, ვერცხლის, თუთიისა და ტყვიის ამოღების მიზნით ადგილზე ვადამუშავდება (ტყვიის ჰარხანაშივე).



სურ. III.52. ჭაფის სალიკაციო დანადგარი.
1. სალიკაციო ჭეაბი; 2. სოფინი; 3. ოსეკაციო ტყეფის მარღებია ჭეაბი.
ჭაფის სხვადასხვა სინჯის შემადგენლობა წარმოადგენილია III.10. ცხრილში:

ჭაფში მექანიკურად ვახლართული ტყვია გამოღნობით ეალეკედება. ეს ოპერაცია ლიკაციის სახელით არის ცნობილი და იგი საეციალურ ჭეაბში (სურ. III.52.) ტარდება.

ჭაფი სალიკაციო ჭეაბში მოთავსებულ 650°C-მდე ვახურებული თხეეადი ტყვიის ფენაზე იტეირთება. ჭაფიდან გამოზღნარი ტყვია სიფონის მილის მეშვეობით ჩაღინება თხეეადი ტყვიის მიმღებ ჭეაბში, საიდანაც რაფინირების გაუვერცხლოების საფეხურზე ვადასამუშაებლად ბრუნდება.

ლიკაციის შედეგად ჭაფი ფხეეერი ხდება და ამიტომ იგი მშრალი ჭაფის სახელს ატარებს. მშრალი

ცხრილი III.10.

ვერცხლოვანი ჭაფის სავარაუდო შემადგენლობა, %

ელემენტი	N1	N2	N3	N4
ვერცხლი	10,69	10,4	14,0	22,6
ოქრო	—	—	0,015	—
ტყვია	75,54	55,5	44,0	50,0
თუთია	10,7	22,0	40,0	20,0

ენიადან ჭაფში შემავალ ელემენტებს შორის თუთია ეველაზე მაღალი აქროლით გამოირჩევა, მისი ვანდენა ჭაფიდან დისტილაციით შეიძლება. თუთიის დულიის ტემპერატურა 906°C, ტყვიის — 1755°C, ხოლო ოქროსა და ვერცხლის 2000°C-ს ადვამატება.

დისტილაციის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება გრაფიტის რეტორტა, რომელშიც ჭაფი 6-8 საათის ვანაელობაში 1200°C-ზე ხურდება. რეტორტიდან აქროლილი თუთიის ორთქლი თხეეადი ლითონის სახით კონდენსირდება. თუთიის დაჰანგვის თავიდან აცილების მიზნით ჭაფთან ერთად

რეტორტაში ხის ნახშირი ან დაქუცმაცებული ანტრაციტი (კაფის წონის 3-4%) იტვირთება. თუთიის აქროლის შემდეგ რჩება შენადნობი ანუ ე.წ. ვერცხლოვანი ტყვია, რომელშიც 10-20%-მდე ვერცხლი და ოქროა, დაახლოებით 0,7-2% თუთია, დანარჩენი კი - ტყვია.

ოქროსა და ვერცხლის ამოღების მიზნით, ვერცხლოვანი ტყვია „კუპელაციას“ ექვემდებარება. კუპელაციის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ვერცხლოვანი ტყვია ხანგრძლივად ყოვნიდება 1200°C-ზე მცირე ზომის ამრეკლ ლუმელში, რომელშიც ენერგიულად შეიბერება ჰაერი (ლუმელის აბაზანა კუპელის სახელს ატარებს). კუპელაციის შედეგად ტყვია იფანება და ოქსიდში გადადის, ხოლო რაც შეეხება ოქროსა და ვერცხლს, მათი დაჟანგვა ლუმელში შექნილ ჰაირებში, რასაკვირველია გამოირცხვლია. წარმოქმნილი ტყვიის ოქსიდი თხევადი შენადნობის ზედაპირზე იწყებს ტივტივს. ლუმელიდან ოქსიდის თანდათან გამოშვებითა და აბაზანაში ვერცხლოვანი ტყვიის ახალი პორციის ჩატვირთვით აბაზანა შესაბამისად ოქროთი და ვერცხლით მდიდრდება. ოქრო-ვერცხლის შენადნობით აბაზანის გაესების შემდეგ ნარჩენი ტყვია საბოლოოდ იფანება. მცირე რაოდენობით წარმოქმნილი ტყვიის ოქსიდი კუპელის კედლებით შეიწყება. ოქრო-ვერცხლის შენადნობი, რომელიც ბოყებში იხსნება, ტყვიის წარმოების საბოლოო პროდუქტს წარმოადგენს; იგი აფინაჟის ქარხანაში იგზავნება გადასამუშავებლად.

3.4.3. ტყვიას ელექტროლიტური რაფინირება

ელექტროლიტური რაფინირებას ექვემდებარება დარბილებული ტყვია (რაფინირების დარბილების საფეხურზე გასუფთავებული ტყვია) ან გადამდნარი ბისმუტიანი დროსი.

დარბილებული ტყვიისგან ჩამოსხმული ანოდების ელექტროლიზი ბეტსის პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი. ელექტროლიზის შედეგად ბისმუტისგან თავისუფალი, მაღალი სისუფთავის ტყვია (99,999%Pb) მიიღება. ჩამოსხმული ანოდების წონა (ზომით 90x60x2,5 სმ) 160 კგ-მდეა. ანოდები სუფთა ტყვიისგან დამზადებულ თხელ კათოდებთან (3-4 მმ სისქის და წონით 4,5-5 კგ) ერთად ჩაიკიდება აბაზანაში. აბაზანაში დაახლოებით 50-60 ანოდი და კათოდი თავსდება; მათ შორის მანძილი 4 სმ-ს შეადგენს.

ელექტროლიზის ჩასატარებლად ფთორ-სილიკატური (PbSiF₆) ელექტროლიტის ხსნარი გამოიყენება. ელექტროლიტის დასამზადებლად ფლუორიტისა და გოგირდმჟავას ურთიერთქმედებით ჯერ ფთორმჟავა მიიღება:



ფთორწყალბადი წყლით შთანთქმება; ამგვარად მიღებული ფთორმჟავას ხსნარის კვარცის კვით საესე სვეტში გატარების შედეგად ფთორსილიციუმწყალბადმჟავა წარმოიქმნება:



მიღებული ფთორსილიციუმწყალბადმჟავა ნაწილობრივ ტყვიით ან ტყვიის ოქსიდით ნეიტრალდება. მიღებული ელექტროლიტი წარმოადგენს უფერო, გამჭვირვალე სითხეს, რომელიც PbSiF₆-ის სახით 5-10% Pb-სა და 5-8% თავისუფალ H₂SiF₆ შეიცავს. ელექტროლიზის დროს ელექტროლიტის თითქმის არ ჭუჭყიანდება და ამიტომ იგი რევენერაციას არ საჭიროებს. ელექტროლიტის შექანიკური კარგვა 1 ტ ტყვიაზე 3-4 კგ მჟავას შეადგენს.

ვოლკერის „მულტიპლის“ სისტემის ელექტროშეერთებაში ელექტროლიზიორები (აბაზანები) წყილად არის ჩართული საერთო დენის მანაწილებელთან. აბაზანა თავისი კონსტრუქციითა და ამონაგით (ასფალტი) სპალენძის ელექტროლიზის აბაზანის ანალოგიურია (აბაზანის სიგრძე 2,74, სიგანე 0,76 და სიღრმე 1,23 მ-ს შეადგენს). ზოგიერთ ქარხანაში აბაზანები კასკადურადაა (სხვადასხვა სიმაღლეზე) განლაგებული ისე, რომ მაღალზე მდგომი აბაზანიდან ელექტროლიტი თვითღინებით ჩაედინება დაბალზე მდგომ აბაზანაში. კათოდური დანალექის ზარისხის გაუმჯობესების მიზნით, ელექტროლიტს წებოვანა ემატება (ერთ ტონა კათოდის დანალექზე 0,70 კგ წებოვანა იხარეება). კათოდის ზედაპირზე დენის სიმჭიდროვე 178 ამპ/მ² შეადგენს, ხოლო გამოსავალი, დენის მიხედვით და ელექტროდებს შორის ძაბვა, შესაბამისად, 90-93% და 0,5 ვოლტია. ელექტროლიზის პროცესში

ანოდური შლამის ფენის დაგროვების შედეგად, პოლარიზაციის ხარჯზე, ძაბვა აბაზანაზე 0,8-1,0 ვოლტამდე იზრდება. ელექტროლიტის ტემპერატურა 35-40°C-ს შეადგენს.

სალიცილის, ბისმუტის, კადმიუმის, ანთიმონისა და კთილშობილი ლითონების უხსნადი მინარეგები შლამის (ლაშის) ან ფოროვანი მასის სახით ანოდზე რჩება. კათოდზე მინარეგების გამოლექვა, ძირითადად მოხეტიალი შლამის წმინდა ნაწილაკების ელექტროლიტით წატაცების შედეგად ხდება. ოთხი დღის შემდეგ აბაზანიდან ამოიღება ანოდის ნარჩენი, რომლის მასა ანოდის საწყისი წონის 25-35%-ს შეადგენს. შლამის მოცილების მიზნით, ანოდის ნარჩენი ირეცხება და გარეცხვის შემდეგ სადნობ ლუმელში გადასაბუშავებლად იზავენება. შემოკლებული (ოთხდღიანი) ციკლით ანოდის გადამუშავების აუცილებლობა გამოწყვეულია იმით, რომ გამორიცხოს ანოდზე წარმოქმნილ შლამში ნეიტრალური ტყვიის ფთორსილიკატის ფორმირება. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ელექტროლიზის დროს მკვეთრად გაიზრდება ღენის წინაღობა, შემცირდება ანოდის გამოყენების ეფექტიანობა და გარდა ამისა ანოდზე დაგროვებული შლამი ზედშეტად გასქელდება და საბოლოოდ ანოდს მოწყდება. მოწყვეტილი შლამი ანოდთან ჩამოსრიალდება და ელექტროლებს შორის მოკლე ჩართვის საშიშროებას შექმნის. ანოდთან მოწყვეტილი შლამი კათოდზე დასაღვე ლითონში შეიძლება ჩაიხლართოს და გააჭუჭყიანოს იგი.

ტყვიის ელექტროლიზის შედეგად მიღებული შლამი, გარეცხვის შემდეგ იფილტრება (ფილტრატო ელექტროლიზის საამქროში ბრუნდება გამოსაყენებლად) და ამრეკლ ლუმელში დნობას ექვემდებარება. დნობის პროცესში დარიშხანისა და ანთიმონის ძირითადი მასა აქროლას ვანიცდის და აქროლი ოქსიდების სახით დაიჭირება. ანთიმონის, კალისა და თუთიის საბოლოოდ განდევნის მიზნით, შენადნობი დაეანგებასა და კუპელირებას ვანიცდის. კუპელირების პროცესში ბისმუტი ტყვიის ოქსიდში გადადის, ხოლო კუპელში ოქროსა და ვერცხლის შენადნობი რჩება. ბისმუტი ტყვიის ოქსიდიდან ამოიღება.

გადამდნარი ბისმუტისა და დროსისგან დამზადებული ანოდების ელექტროლიზის შედეგად მიღებული კათოდური ტყვია ძალზე გაჭუჭყიანებულია და ამიტომ იგი პირობულად რეაგირების საამქროში ბრუნდება გადასაბუშავებლად. რაც შეეხება ელექტროლიზის შედეგად მიღებულ შლამს, იგი 60-70%-მდე ბისმუტისა და ძალზე მცირე რაოდენობის მინარეგს შეიცავს. ბისმუტის ამოღების მიზნით ასეთი შლამის გადამუშავება მარტივი ხერხით შეიძლება განხორციელდეს.

თუთიის მატალურგია

თუთიის დიდი ნაწილი რკინაზე ანტიკოროზიული დამცველი დანაფარების სახით გამოიყენება. ამ მიზნით წარმოებული თუთიის 40% იხარჯება. მოთუთიებული რკინა ფართოდ არის გავრცელებული როგორც წარმოებაში, ასევე საყოფაცხოვრებო მომსახურებაში. თუთიის დანაფარები მხოლოდ მტკარი (უძარილო) წყლისა და ჰაერის ფანგბადის (დაბალ ტემპერატურაზე) ზემოქმედების პირობებშია მდგრადი. ამიტომაც, თუთიის დანაფარები, მიუხედავად მათი დაბალი ფასისა, ყოვლთვის ვერ ცვლის ნიკელის, ტყვიისა და კალის დანაფარებს.

თუთიის მნიშვნელოვანი ნაწილი გავლანური ელემენტების წარმოებაში გამოიყენება.

მაღალი სასხმელო თვისებების, დნობის დაბალი ტემპერატურისა და შედარებით დაბალი ფასის გამო, სუფთა თუთიისგან წნევის ქვეშ წვრილი არმატურების ნაშაბადები ჩამოსისხმება.

თუთიის მარილები — თუთიის აჯასპი, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ და თუთიის ქლორიდი წარმოების სხვადასხვა დარგში გამოიყენება. ღაბობის ბაქტერიების განვითარების თავიდან აცილების მიზნით, ხე-ტყვიის მასალა თუთიის ქლორიდით იელისთება. თუთიის აჯასპი ფლოტაციურ რეაგენტად და ქსოვილების შესაწამლად იხმარება; გარდა ამისა, იგი ასანთის წარმოებაში, მედიცინაში და რიგ სხვა დარგებში გამოიყენება.

თუთიის ოქსიდი ძირითადი მასალის სახით გამოიყენება ლაქ-საღებავების წარმოებაში, შეღის მრავალ საღებავსა და ემაღში. გარდა ამისა, თუთიის ოქსიდი, რეზინის, ლინოლიუმის, მუშაბის, ცელულოზის, სახეხი მასალებისა და სხვა მრავალი სახის მნიშვნელოვანი პროდუქციის წარმოებისთვის არის საჭირო.

საილენძისა და ტყვიის შნიშენელოვან რაოდენობასთან ერთად თუთიის მადნები საშუალოდ 6-13% თუთიას შეიცავს. როგორც წესი, თუთიის მადანი პოლილითონურია, ანუ მადანში ორი (ზოგჯერ სამი) ლითონი თითქმის ტოლი რაოდენობით შედის, მაგალითად, საილენძ-თუთიის ან ტყვია-თუთიის მადანი. უშუალოდ მადნიდან თუთიის ამოღება არ ხდება. მეტალურგიულ გადამუშავებას მხოლოდ თუთიის კონცენტრატი ექვემდებარება.

თუთიის კონცენტრატები 40-დან 62%-მდე თუთიას შეიცავს. თანამედროვე ფლოტაციის წარმატებები მადნიდან მაღალი ხარისხის თუთიის კონცენტრატის მიღების საშუალებას იძლევა. ყველაზე მდიდარი კონცენტრატი თითქმის სუფთა სფალერიტს (ZnS) უტოლდება თუთიის შემცველობით (მინერალში 66,7% თუთიაა). თუთიის კონცენტრატების საგარეო შემცველობა სხვა ელემენტების მიხედვით ასეთია: 0,4-4,5% Pb; 0,5-2,0% Cu; 5-11% Fe; 0,1%-მდე Cd; 0,01-0,008% Co; 30-35% S; 2-5,5% Al₂O₃; 0,2-2% CaO; 0,2-1,2% MgO; 1-5% SiO₂; თუთიის კონცენტრატის (47,66% Zn) საგარეო მინერალოგიური შემადგენლობა (%):

სფალერიტი ZnS	70,3
გალენიტი PbS	5,2
ქალკობირიტი CuFeS ₂	3,1
რკინის ბრჭყვიალა FeS	3,9
პირიტი FeS ₂	7,4
სილიკატები და კარბონატები	10,1

თუთიის კონცენტრატი ძალზე წმინდა ფუნქციისგან შედგება. ნაწილაკების 50-95% საცერის 0,07 მმ-ან უჯრედში გადის, ხოლო 0,6 მმ-ზე უფრო მსხვილი მარცვლების შემცველობა კონცენტრატში 0,1-0,3%-ს შეადგენს. ოქსიდური მადნები თუთიის თანამედროვე მეტალურგიაში ღიდ როლს არ თამაშობს.

თუთიის პირდაპირი მიღება სულფიდიდან შესაძლებელია, მაგალითად 1100-1200°C-ზე სულფიდში რკინის ჩანაცვლებით:



ამ ხერხთან ერთად სხვა მრავალი პატენტი, რომელიც სულფიდიდან პირდაპირ თუთიის მიღებას ითვალისწინებს, პრაქტიკაში არ გამოყენებულა. ყველა თანამედროვე ხერხი, უპირველეს ყოვლისა, კონცენტრატის წინასწარ გამოწვეას ითვალისწინებს (გოგირდის სრული ან თითქმის სრული განდევნით).

თუთიის აორთქლების დაბალი ტემპერატურიდან გამომდინარე (სხვა ლითონებთან შედარებით თუთია დუღილის უფრო დაბალი ტემპერატურით გამოირჩევა) მისი მიღების ყველაზე ძველი ხერხი დისტილაციის პროცესს ემყარება. ოქსიდიდან თუთიის ნახშირბადით აღდგენის ენდოთერმული (სითბო შთაინთქმება) რეაქცია მაღალ ტემპერატურულ პირობებში ვითარდება და აღდგენილი თუთია ჯამური რეაქციით (III.79.) ორთქლის მდგომარეობაში გადადის:



შუალედური რეაქციებია:



ფუჭი ქანისგან განცალკევებული თუთიის ორთქლი აღდგენის ზონიდან კონდენსაციის ზონაში გადადის და თხევადი ფაზის სახით კონდენსირდება.

აღდგენის პროცესები პორიზონტალურ და ვერტიკალურ რეტორებში ან ელექტროთერმულ და მახტურ ღუმელებში ტარდება. პერიოდული მოქმედებით მხოლოდ პორიზონტალური რეტორტა გამოირჩევა. აღდგენის პროცესის ჩასატარებელ ყველა აპარატში მინიმუმამდეა დაყვანილი თუთიის ორთქლის პაერის უანგბადთან კონქტაქტის შესაძლებლობა. აპარატის ამდაგვარი კონსტრუქცია თუთიის ხელმეორედ ოქსიდში გადასვლას ზღუდავს და ტექნოლოგიური ციკლის ეტაპობრივი პროცესების პაერთან შეხების გარეშე ჩატარებას უზრუნველყოფს. პორიზონტალური და ვერტიკალური

რეტორტების გასახურებლად ბუნებრივ აირზე მომუშავე ღუმელები გამოიყენება, ხოლო ელექტროთერმული ღუმელები ელექტროენერგიის ხარჯზე ხურდება. მასტურ ღუმელებში სითბო კოქსის წვის შედეგად გამოიყოფა. პორიზონტალური რეტორტა ცივი კაზმით იტვირთება, ხოლო ცხელა სხვა აპარატში წინასწარ გახურებული კაზმის ჩატვირთვა ხდება, რაც მაღალი სარეაქციო ტემპერატურის განვითარებას უწყობს ხელს. პროცესის მასტურ ღუმელებში ჩატარებისას ქიმიურიდან შებერილი პერიდი წინასწარ ხურდება. ოქსიდლიდან თუთიის ალდენის რეაქცია (III.80.) შექცევადია და ამიტომ შესაძლებელია თუთიის ხელმოკრედ დაეანგვა ნახშირბადის დიოქსიდით:



კაზმში ჭარბი ნახშირბადის შეტანა ამცირებს ნახშირბადის დიოქსიდის რაოდენობას (რეაქცია III.81). მიუხედავად ამისა, თუთიის ხელმოკრედ დაეანგვის მთლიანად გამორიცხვა შეუძლებელია. მიღებული ლითონური თუთიის საერთო რაოდენობიდან 3-დან 15%-მდე ლითონი იკარგება ეწ. „ლურჯი თუთიის“ სახით. ლურჯი თუთია, ოქსიდით დაფარული, მყარი თუთიის ნაწილაკებისგან შედგება. ლურჯი თუთიიდან თუთიის ამოღება ისევ დისტილიციით ხორციელდება.

დისტალაციის პროცესით თუთიის პორიზონტალურ რეტორტებში მიღების ხერხი ყველაზე ძველია. იგი 20-19 საუკუნის დასაწყისში დამუშავდა ევროპაში და მას დღესაც უნიშვნელოვანი ადგილი უკავია თუთიის წარმოებაში მსოფლიო მასშტაბით. თუმცა, ამ ხერხით თუთიის მიღება დღითი დღე იზღუდება. ამჟამად მიღებული თუთიის 80% პიდრომეტალურგიული ხერხით იწარმოება (მაგალითად აშშ-ში პორიზონტალურ რეტორტებში თუთიის მიღების ხერხი საერთოდ არ გამოიყენება).

თუთიის ალდენა-დისტალაციის პროცესი ერთი შეხედვით მარტივია, წარმოებაში კი ვებერთალაა და დაბალი გამოსავალიანობით ხასიათდება. დაუსალასებელი თუთიის საბოლოო პროდუქტი კადმიუმითა და ტყვიითაა გაჭუჭყიანებული.

თუთიის პიდრომეტალურგიული ხერხით მიღება პირველი მსოფლიო ომის დროს დაიწყო. პიდრომეტალურგიული ხერხი გამოიყენა კონცენტრატოდან გოგირდმჟავას ხსნარით თუთიის გამოტუტვას ითვალისწინებს. ფუჭი ქანის ძირითადი მასა გამოტუტვის შედეგად უხსნად ნარჩენში (კეში) რჩება. გოგირდმჟავა-თუთიის ხსნარი გასუფთავების შემდეგ ელექტროლიზს ექვემდებარება. კათოდის ფუჭ ალუმინისგან მზადდება. ალუმინზე დალექილი თუთია ადვილად ძვირდება. ანოდები ტყვიისგან მზადდება. ენაიდან ელექტროლიტი სულფატ-იონებითან ერთად წყლის პიდროქსლის უარყოფით იონებს შეიცავს. ანოდზე აირადი ფანბადი გამოიყოფა, ხოლო ხსნარში გოგირდმჟავა გროვდება:



ამის გამო ნამუშევარ ელექტროლიტში გოგირდმჟავას კონცენტრაცია 10%-მდე იზრდება. ამ კონცენტრაციის ხსნარი ვარგისია თუთიის გამოშვარი კონცენტრატის გამოსატუტად.

პიდრომეტალურგიული ხერხი მაღალი სისუფთავის თუთიის მიღების საშუალებას იძლევა იმ დროს, როდესაც დისტალაციით მიღებული თუთია რაფინირებას საჭიროებს. პიდრომეტალურგიული გადამამუშავება, პიდრომეტალურგიულიდან შედარებით (თუთიის ნედლეულის გადამამუშავების შემთხვევაში), უფრო ნაკლები მუშა ხელის გამოყენებით ტარდება. ელექტროლიზის პროცესში საკმაოდ დიდი რაოდენობის ელექტროენერგია იხარჯება და ამიტომ იქ, სადაც ელექტროენერგია ძვირია, ელექტროლიტური თუთია უფრო ძვირი ჯდება, ვიდრე დისტალაციით მიღებული თუთია.

4.1. თუთიის ნედლეულის გადამამუშავება პიდრომეტალურგიული ხერხით

4.1.1. თუთიის ხელფიდური კონცენტრატების გამოწვა

თუთიის კონცენტრატების ფანგვითი გამოწვა თავისი ქიმიური გარდაქმნებით უნიშვნელოდ განსხვავდება სხვა სახის ხელფიდური ნედლეულის გამოწვის პროცესისგან. მის თავისებურებას

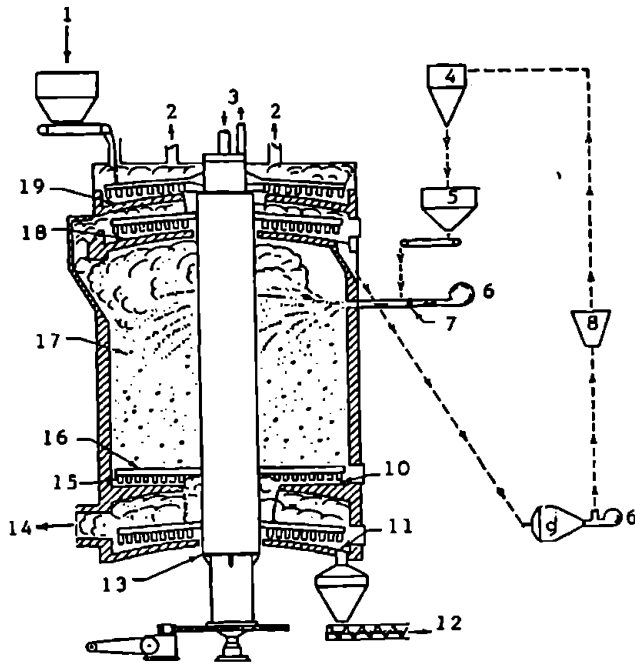
კონცენტრატის სრული გამოწვის ანუ გოგირდის მაქსიმალურად განდევნის აუცილებლობა წარმოადგენს. გამოწვარ კონცენტრატში (ნაშვეში) გოგირდის შემცველობა 1%-ზე ნაკლები უნდა იყოს. გამოწვის შემდეგ სულფიდურ ფორმაში დარჩენილი თუთია გადაშუშების მომდევნო ეტაპზე ნახშირბადთან რეაქციაში არ შევა და გამოუყენებელი ნარჩენის სახით დაიკარგება. ასეთივე მოთხოვნა წყვედება თუთიის გამოშვეარ კონცენტრატის პილორეტალურგოული გადაშუშების დროს (სულფიდური ფორმაში თუთია, პრაქტიკულად, არ გადადის ხსნარში). ენგვითი გამოწვის დროს თუთიის სულფატის წარმოქმნაც მიუღებელია, რადგანაც მომდევნო ეტაპზე გადაშუშებისას იგი თუთიის სულფიდამდე აღდგება და ნარჩენის სახით დაიკარგება. ნაშვეში თუთიის სულფიდის ჩატოვება კიდევ იმითაც არის მიუღებელი, რომ სულფიდურ ნაერთში 1 კგ გოგირდი 2 კგ თუთიას აკავებს (ატომური წონების მიხედვით თუთია – 65, გოგირდი – 32). სულფიდში შემავალი თუთია კი აღდგენის რეაქციაში არ მიიღებს მონაწილეობას, ლითონამდე არ აღდგება და დისტილაციის ნარჩენში დარჩება. ამიტომ კონცენტრატის სრულ გამოწვას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. თუთიის მიღების მიზნით ნაშვის მახტურ ლუმელში გადაშუშების დროს გოგირდის შემცველობას ნაშვეში გადაშვევტი მნიშვნელობა არ ეწება, ვინაიდან ქმნიებიდან შევირლ პაერთან ურთიერთქმედებით ჩარჩენილი გოგირდი იფანგება და SO₂-ის სახით განიდევნება კახსიდან.

თუთიის სულფიდური კონცენტრატების გამოსწავად გამოიყენება მასლის შეტვიტვიებულ მდგომარეობაში გამოწვის ლუმელი, მდულარე ფენაში გამოწვის ლუმელი, მრავალქველიანი ლუმელი და მასლის შესაცხოზი მანქანები. ზოგჯერ ორი სხვადასხვა სახის ლუმელის კომბინაცია გამოიყენება. მასალის შეტვიტვიებულ მდგომარეობაში გამოსწავთ ლუმელი (სურ. III.53). მრავალქველიანი გამოწვის ლუმელის მოდიფიკაციას წარმოადგენს. ლუმელში ეანვით გამოწვას ექვემდებარება წმინდად დაქუცმაცებული (85% 200 მეში) თუთიის სულფიდური კონცენტრატი, რომელიც 30% გოგირდს შეიცავს. გამოწვის შედეგად მიღებული თუთიის ოქსიდი 1%-ზე ნაკლებ გოგირდს შეიცავს.

მაღლების ფლორატციური გამიღვრებით მიღებული გაფილტრული, ტენიანი (3-4%) თუთიის კონცენტრატი ლუმელის შრობის ქველზე (ზოგ ლუმელს ორი შრობის ქველი გაჩნია) იტვირთება (სურ. III.53., 18). შრობის ქველზე დატვირთულ კონცენტრატს, წვის კამერიდან შემობერილი ცხელი აირი ფონება. ზომანზე მტვარე გამსხვილებული ნაწილაკების დაქუცმაცების მიზნით შროლი კონცენტრატი სახვეტი სავარცხლებლის მეშვეობით გადაადილდება შრობის ქველის პერიფერიისკენ, საიდანაც 2,7 მ-ანი დამატრის მქონე ბურთულებიან წისქვილში ეშვება. გაფხვიერებული კონცენტრატი წისქვილიდან პაერის კლასიფიკატორში გადადის, სადაც კონცენტრატის ფხვიერი მასისგან მოშსზო მარცვლები ცალკეელება და ისევე წისქვილში ბრუნდება, ზოლო ფხვიერი მასა მტვრის დამჭერ ციკლონში შეიბრება და პაერის ნაკადისგან ცალკეელება. კონცენტრატის ფხვიერი მასა ციკლონიდან სანთურას ზუნკრში იყრება. ზუნკრიდან შროალი კონცენტრატი სანთურას ქმნიების მეშვეობით პორიზონტალურად შეიფრქვევა ლუმელის წვის კამერაში (კამერის სიმაღლე 7 მ აღწევს). ერთდროულად კამერაში ზვიდან პაერი შეიბრება. ფხვიერი სულფიდის ნაწილაკების აალება სანთურას მახლობლად იწყება. თუთიის სულფიდების აალების ტემპერატურა მათ მინერალოგურ შემადგენლობაზეა დამოკიდებული. მარმატიტი უფრო დაბალ ტემპერატურაზე იწყებს აალებას, ვიდრე სუაღურიტი. გარდა ამისა, 200-300°C-ის ზღვრებში მარმატიტის მარცვლებზე ბზარები წარმოიქმნება, რაც კიდევ უფრო ამცირებს აალების ტემპერატურას. შეიძლება ჩაითვალოს, რომ თუთიის კონცენტრატში სულფიდების აალება პრაქტიკულად 550-600°C-ზე ხდება. სულფიდების წვის სინქარე ტემპერატურის აწვეთი ორზდება. კაერიის მთელ სიგრძეზე ჩაშვებისას შეტვიტვიებულ მდგომარეობაში მყოფი სულფიდური ნაწილაკების წვა გრძელდება. თუთიის სულფიდის დაეანგვის რეაქციის,



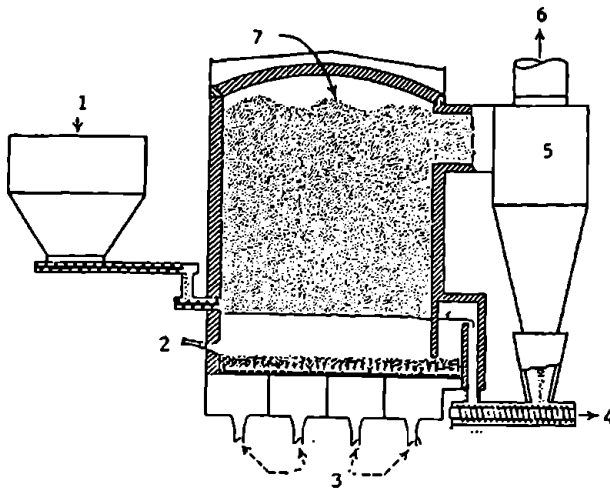
ვგზოთერმული სითბოს დარეგულირების მიზნით, წვის კამერის ატმოსფერულ პაერთან შრობის ქველიდან შეწოვილი ცივი აირის ნაკადის შერევა ხდება. გარდა ამისა, შრობის ქველიდან შეწოვილ აირს კამერაში შეაქვს მტვერი, რომელიც ეანვით გამოწვას ექვემდებარება. ვგზოთერმული სითბოს მეშვეობით გამოწვის პროცესი აეტოგენურ რეჟიმში მომდინარეობს და 1000°C-ზე უფრო მაღალი ტემპერატურა ვითარდება. წვის კამერაში გამოშვეარი კონცენტრატის (ნაშვის) დაახლოებით 60% ეშვება ლუმელის შემკრებ და გადმოსატვრით ქველებზე. გოგირდის უმეტესი ნაწილი კონცენტრატის



სურ. III.53. თუთიის სულფიდური კონცენტრატის შეტივტივებულ მდგომარეობაში გამოწვის ღუმელი. 1 კონცენტრატის შევებადი ბუნკერი; 2 სავენტოლოცო ჰერელები; 3 პაერი; 4 ციკლონი; 5 სანთურა; 6 შევებადი ბუნკერი; 7 კომპრესორი; 8 სანთური; 9 კლასიფიკატორი; 10 ბურთულეხიანი წისქვილი; 11 შევებადი ჰერელები; 12 გადმოსატარი ჰერელები; 13 ნაწილი; 14 მბრუნავი ლილევი; 15 აირები — ბოილერისა და გოგირდბეჭავის ქარხნისკენ; 16 სავარცხლები; 17 პაერი; 18 საცხებელი სავარცხლებების სახელურა; 19 გოგირდის დიფუზორი და ნაწილის ნარევი; 20 შრობის ჰერელები; 21 შევებადი ჰერელები.

ნაწილაკების შეტივტივებულ მდგომარეობაში გამოწვის დროს განიღვენება (შეტივტივებულ მდგომარეობაში გამოწვის შედეგად მიღებული ნაწილი 8%-მდე გოგირდს შეიცავს). გოგირდის დანარჩენი ნაწილი ნაწილის ქველა ქველზე გადასვლის დროს განიღვენება. ღუმელიდან გადმოტვირთულ ნაწილში გოგირდის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია. კონცენტრატის ზედმეტად გაუხვიერების (რომელიც ჟანგითი რეაქციის დაქარბისა და სისრულისთვისაა აუცილებელი) შედეგად გამოწვის კამერიდან მტერის სახით განიღვენება საკმაოდ დიდი რაოდენობის (დაახლოებით 40% ნაწილისა გარის ღუმელიდან) მასალა, რომელიც ცხელ აირებთან ერთად გარის ღუმელიდან. აირები შემკრები ქველის გავლით განიღვენება ღუმელიდან. ქველზე გავლისას აირები მტერის ნაწილს ტოვებს შემკრებ ქველზე, საიდანაც მტერი ნაწილის ბუნკერში ხვდება. ღუმელიდან გამოსული აირები ჯერ სითბოს მიმოცვლის სისტემაში შედის, ხოლო იქიდან ენტილატორის მეშვეობით მტერის შემკრებ დიდ ციკლონიში შეიწვევა. მოზრდილი ნაწილაკები ციკლონიდან გამოწვის კამერის ქველზე ბრუნდება. აირების ნაკადი ციკლონის ენტილატორის მეშვეობით ელექტროსტატიკურ კოლექტორში ან სველ სარეცხელაში (სკრუბერი) გადადის და საბოლოოდ ცალკედება მტერისგან. მტერში გოგირდის შესტეკლობა დაბალია და ამიტომ იგი საბოლოო პროდუქტის სახით ნაწილის ბუნკერში გროვდება. გასუფთავებული აირი დიდი რაოდენობით შეიცავს SO_2 -ს და ამიტომ იგი მიღების საშუალებით გოგირდბეჭავის წარმოების ქარხანაში მიემართება.

მდურარე ფენის ღუმელში (სურ. III.54.) დაგუნდავებული თუთიის კონცენტრატი (გუნდების ზომები 3-დან 14 მმამდე) გამოიწვევა. ღუმელი სწორკუთხა ფორმისაა. მისი სიმაღლე 4,75, ხოლო



სურ. III.54. თუთიის სულფიდური კონცენტრატის მდლარე ფენაში გამოწვის ღუმელი.

1 კონცენტრატის მკეცხავი; 2. ააღების სანთურა; 3. შეკუმშული ჰაერის შებერვა; 4. ნაშენი; 5. ცხელი ციკლონი; 6. აირების ბოლოერისა და ვოგირდმკეცხავის ქარსისკენ; 7. ვოგირდის დოქსიდისა და ნაშენის მტერის ნარევი.

სიგანე 6 მ-ია. მდლარე ფენის სიღრმე 1,85 ს-ს შეადგენს. კონცენტრატის ჩასატვირთი ღიობი ღუმელის ზერელებიანი რკინის ქვედიდან 1,95 მ-ით არის დაშორებული, ხოლო ნაშენის გამოსასვლელი ქვედიდან დაშორებულია 20 სმ-ით. ქვედიდან ღუმელში 398-დან 482 მ³/წთ ჰაერი შეიბერება.

დაგუნდაებული კონცენტრატის გამოწვის შედეგად, მასში ვოგირდის შემცველობა 33%-დან 0,54%-მდე მცირდება. დაგუნდაებული კონცენტრატის ნაშენი, რომელიც ღუმელიდან ჯერ საცივებელში, ხოლო შემდეგ შემკრებ ბუნკერში გადადის, მთლიანი გამოწვარი პროდუქტის 55%-ს შეადგენს. ღუმელის თავში მდებარე გასასვლელიდან წარმავალი ცხელი აირები სიბოხს მიმომცველი ბოილერის გავლით ციკლონური ტიპის მტერის კოლექტორში შედის. ციკლონურ კოლექტორში მთლიანი გამოწვარი პროდუქტის 38% ამოიღება. მისი ერთი ნახევარი ნაშენის საცივებელში გადადის, ხოლო მეორე ნახევარი დაგუნდაების სააპტორში მიემართება და შემკრელის სახით გამოიყენება. ციკლონურ ნაშენში ვოგირდის შემცველობა 1%-ს აჭარბებს. ციკლონური კოლექტორიდან წარმავალი აირები წმინდა მტერის სახით ჯერ კიდევ შეიცავს მთლიანი გამოწვარი პროდუქტის 7%-ს, ამიტომ ციკლონიდან გამოსული აირი მეორედ გასაფუთავებას ექვემდებარება ელექტროსტატიკურ სალექარში. სალექარში განკალკეებული ნაშენის მტერი, რომელიც დაახლოებით 0,1% ვოგირდს შეიცავს, ნაშენის შემკრებ ბუნკერში გროვდება. გამოწვის შედეგად მიღებულ სამივე ნაშენში (ღუმელიდან, ციკლონიდან და ელექტროსტატიკურ დამლექიდან) ვოგირდის ჯამური შემცველობა 0,75%-ს შეადგენს.

მრავალქვედიანი გამოწვის ღუმელში ორი სახის გამოწვა ტარდება. პირველი ითვალისწინებს თუთიის სულფიდური კონცენტრატის სრულ უანგვით გამოწვას. მეორე სახის გამოწვა ორი საფეხურისგან შედგება. პირველ საფეხურზე, კონცენტრატის გამოწვის პროცესი მრავალქვედიან ღუმელში ტარდება და იგი ვოგირდის მხოლოდ ნაწილობრივ განდევნას ითვალისწინებს. მეორე საფეხურზე გამოწვის პროცესი სააგლომერაციო მანქანაზე ტარდება და იგი ნაშენიდან ვოგირდის საბოლოო გადღვენასა და ერთდროულად ნაშენის განაჭრევენებას ითვალისწინებს. სააგლომერაციო მანქანაზე ზოგჯერ თუთიის კონცენტრატის ერთსაფეხურიანი, სრული გამოწვა ტარდება.

თუთიის ნედლეულის გამოსაწვავი მრავალქვედიანი ღუმელი და სააგლომერაციო მანქანა კონსტრუქციითა და მოქმედების პრინციპით ადრე განხილული უანგვითი გამოწვის აგრეგატების ანალოგურია.

მრავალჯედიან ღუმელში თუთიის ნედლეულის სრული გამოწვის პროცესში ქველიდან ქვეზე ჩასვლის დროს კონცენტრატი ორ ძირითად ტემპერატურულ ზონას გადის. პირველ ზონაში (700-800°C) უმეტესად გამოწვის შედეგად სულფიდური გოგირდი იყენება და გოგირდის დიოქსიდის სახით გოგირდის უმეტესი ნაწილი განიღვნება (კონცენტრატში გოგირდი 30%-დან 8%-მდე მცირდება). მეორე ზონაში (1000°C) დანარჩენილი გოგირდის ნაწილი განიღვნება. ღუმელი მასუთით ან ბუნებრივი აირით ხურდება.

საგლომერაციო მანქანაზე გამოშვარი ნაჭროვანი აგლომერატი, თუთიის მიღების მიზნით, მახტურ ღუმელებსა და რეტორტებში გადაამუშავდება. რეტორტაში გადასამუშავებლად უფრო მცირე ზომის დამსხვრეული აგლომერატის მარცელები (ზომით 6-7 მმ ტოლია) გამოიყენება. საგლომერაციო მანქანაზე გადასამუშავებლად, როგორც წესი, საბრუნო აგლომერატის ნაშისხვრევებისა და ნედლი კონცენტრატისგან შემდგარი ნარევი გამოიყენება. თუ გამოშვარი ნარევის აგლომერატი მახტურ ღუმელში უნდა გადაამუშავდეს, მაშინ აგლომერაციის წინ ნარევის ფელისის სახით CaO ემატება. ერთგვაროვანი მასის მისაღებად ნარევი სველდება და ფენების სახით იდება უწყვეტად მოძრავი მანქანის ცსურზე. სათბობის საწვავი მოწყობილობის საშუალებით ნარევის ფენის ზედაპირი აალებას იწყებს. აალებულ ფენაში ზევიდან შემობერილი ჰაერის გავლით გამოწვისა და შეცხობის პროცესი არ წყდება ცხურას (პალეტას) გადაადგილების მთელ მონაკვეთზე.

დაბალგოგირდიანი მასალით გაზავეების გარეშე თუთიის ნედლი კონცენტრატის საგლომერაციო მანქანაზე გადაამუშავებისას ფანგვით გამოწვის პროცესი ძალზე აქტიურდება და ეგზოთერმული რეაქციის ჭარბი სითბო გამოიყოფა (დღი რაოდენობის სულფიდური გოგირდის წვის გამო). გამოწვის ასეთ პირობებში კონცენტრატის კომპონენტების ერთმანეთთან შეღწობის გამო უანგვით პროცესის შეწყვეტის საშიშროება იქმნება. ამიტომ საგლომერაციო მანქანაზე გადასამუშავებლად, როგორც წესი, საბრუნო აგლომერატი გაზავეული თუთიის კონცენტრატი გამოიყენება. აგლომერატისა და კონცენტრატის ნარევი გოგირდის შემცველობა დაახლოებით 5-6%-ს შეადგენს. ნარევის გადაამუშავების შედეგად მიღებულ აგლომერატში გოგირდის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია.

იმ შემთხვევაში, თუ საგლომერაციო მანქანაზე დაბალგოგირდიანი მასალით გაუზავებელი თუთიის კონცენტრატის გადაამუშავება გათვალისწინებულია, მაშინ კონცენტრატი ორსაფეხურაან ფანგვით გამოწვას ექვემდებარება. პირველ საფეხურზე კონცენტრატის გამოწვით მრავალჯედიან ღუმელში გოგირდის შემცველობა კონცენტრატში (ნაშევი) 8%-მდე დაიყვანება. მეორე საფეხურზე ნაშვის საგლომერაციო მანქანაზე გადაამუშავებით ნარჩენი გოგირდი საბოლოოდ განიღვნება და პროდუქტის სახით გამოშვარი აგლომერატი მიიღება. დამსხვრევისა და კლასიფიკაციის შემდეგ (აგლომერატის ნაჭრების დამსხვრევით 25 მ-იანი ზომის აგლომერატის მარცელები მიიღება) აგლომერატი შემკრებ ბუნკერში იყრება.

4.1.2. თუთიას აღდგენასა და დისტილაციის პროცესი

ჰირსიზონტალურ რეტორტში თუთიის აღდგენისა და დისტილაციის პროცესის ჩატარების დროს რამდენიმე ასული მცირე ზომის რეტორტა გამოიყენება. გადასამუშავებელი მასალით (გამოშვარი კონცენტრატით და ნახშირბადოვანი აღმდგენით) დატვირთული ყველა რეტორტა ერთ ღუმელში თავსდება. ღუმელის სიღრმეში რეტორტების ოთხი ან ხუთი რიგია განლაგებული, ხოლო თითო რიგში (ღუმელის სიგრძის მიმართულებით) ასზე მეტი რეტორტა თავსდება (სურ. III.55.)

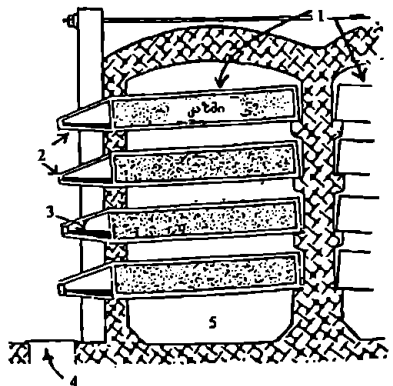
რეტორტა, ნედლი და გამოშვარი თიხის ნარევის (წონითი ფარდობით 1:1) ჰიდრაულიკურ წნეხში დაწნებით შვადდება. დაწნეხილი რეტორტა, რომელიც 12-15% წყალს შეიცავს, ჯერ რამდენიმე კვირის განმავლობაში შრება შრობის კამერაში, სადაც ტემპერატურა თანდათან იზრდება 70°C-მდე, ხოლო სრულყოფილად ღუმელში 48 საათის განმავლობაში ნელ-ნელა ხურდება 1350°C-მდე. სილიკუმის კარბიდისა და გამოშვარი თიხის ნარევისგან დამზადებული რეტორტა, რომელიც იგივე სახის თერმულ დამუშავებას ექვემდებარება, უფრო ძვირია, მაგრამ იგი თერმული დარტყმებისადმი უფრო გამძლეა და მაღალი თბოგამტარობით, მექანიკური გამძლეობითა და წვის ცვეთისადმი მაღალი მდგრადობით გამოირჩევა. მისი მუშაობის ხანგრძლივობა ხუთ თვეს შეადგენს მაშინ, როცა თიხისგან დამზადებული რეტორტა მხოლოდ 40-50 დღეს ძლებს.

კონდენსატორი, რომელშიც თუთიის ორთქლის კონდენსაცია ხდება, რეტორტის ბოლოში ჩამაგრებული (სურ. III.56.). კონდენსატორი ღუმელიდან გარეთაა გამოსული და, რეტორტისგან განსხვავებით, მაღალი ტემპერატურების ზემოქმედებას არ განიცდის. ამიტომ კონდენსატორი უფრო იაფი მასალისგან მზადდება (ნელი თიხისა და რეტორტის ნამტკვრეების ნარევისგან). კონუსის ფორმის ბოცეში მოთავსებული საკონდენსატორო მასალა მასში სამართულის შეყვანით კონდენსატორის ფორმას ღებულობს. გამოყენებამდე კონდენსატორის ნაშალი შრობასა და გამაწვას განიცდის. კონდენსატორის თავზე ზოგჯერ ეტემა რკინის მილისგან დამზადებული ე.წ. „წანაზარდი“ (რუსულ ლიტერატურაში აღონის სახელწოდებით არის ცნობილი), რომელიც ლითონის მაქსიმალურად შეგროვებას უწყობს ხელს. კონდენსატორი მუშაობის დროს უფრო ჩქარა იცეითება (6-7 დღეში), ვიდრე რეტორტა. ამიტომ კონდენსატორის ღირებულება მინიმუმამდე უნდა იყოს დაყვანილი.

პროცესისთვის მომზადებული რეტორტა მასში მოთავსებული კაზმით თოსდება ღუმელში, სადაც ტემპერატურა 1350-1400°C-ს აღწევს. აღდგენის ენდოთერმული რეაქცია, რომელშიც თუთიის ოქსიდი და ნახშირბადი მიანწილებს (რეაქციები III.79; III.80; III.81.), 1300°C-ზე საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს. დისტილაციის პროცესის დაწყებისთანავე რეტორტიდან გამოსვლას იწყებს აირადი CO, რომელიც კონდენსატორის ან წანაზარდის გამოსასვლელშივე CO₂-მდე იწევა (სურ. III.56.), ხოლო რეაქციის შედეგად აღდგენილი თუთიის ორთქლი რეაქციის ზონიდან კონდენსატორში შედის და თხევადი სახით კონდენსირდება. თუთიის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. იგი 420-500°C-ის ზღვრებს არ უნდა ცილდებოდეს. თუ ტემპერატურა 420°C-ზე (თუთიის დნობის ტემპერატურა) დაბალია, მაშინ თუთია გამყარდება, კონდენსატორში დაიფანება და ლურჯი ფერის ფხვნილის სახით დაგროვდება, ხოლო თუ კონდენსაციის ტემპერატურა 500°C-ზე უფრო მაღალი იქნება, მაშინ კონდენსატორში შესული თუთიის ორთქლი მთლიანად არ დაკონენსირდება, მისი ნაწილი გავა კონდენსატორიდან და ატმოსფეროში გაიფანტება.

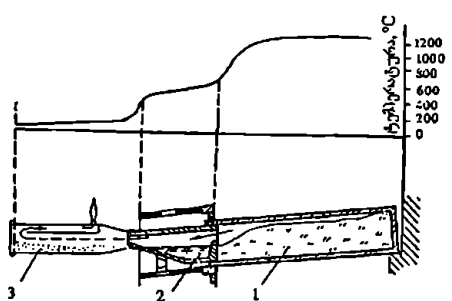
პორიზონტალური რეტორტის ვანიცეთი 250-370 მმ-ია, ხოლო მისი კედლის სისქე 25-30 მმ-ს შეადგენს. რეტორტის სიგრძე არ უნდა აღმატებოდეს 1,7-1,9 მ-ს, წინააღმდეგ შემთხვევაში, 1400°C-ზე მისი კედელი საკუთარ წონასა და კაზმის წონას ეერ გაუძლებს. ასეთი რეტორტა 80-90 კგ მასალას იტევს (მასალაში დაახლოებით 30% თუთიაა) და დღე-ღამეში, არა უმეტეს, 30 კგ თუთიას იძლევა. მაგალითად, დღე-ღამეში 100 ტ თუთიის მისაღებად აუცილებელია ერთდროულად 3000 რეტორტის გამოყენება. ადრე გამოყენებული 1000 რეტორტის ტევადობის ღუმელები ძალზე ვებერთელა და მუშაობაში უხერხული იყო. ამჟამად გავრცელებულია საშუალო ტევადობის ღუმელები, რომლებშიც 240-300 რეტორტა ეტევა.

დისტილაციის პროცესის ხანგრძლივობა დაახლოებით 18 საათს შეადგენს. ამ ხნის განმავლობაში მიღებული თუთიის რაოდენობას მთლიანად ეერ იტვს



სურ. III.55. თუთიის ნედლეულის პერიოდულ რეჟიმში გადასამუშავებელი პორიზონტალური რეტორტების ღუმელში განლაგების სქემა.

1. რეტორტები; 2. კონდენსატორები;
3. კონდენსირებული თხევადი თუთია; 4. ნარჩენების გამოსასვები დარა; 5. ღუმელი.



სურ. III.56. პორიზონტალურ რეტორტაში თუთიის აღდგენა-დისტილაციისა და კონდენსაციის ტემპერატურების ვანაწილება.

1. რეტორტა; 2. კონდენსატორი; 3. წანაზარდა (აღონისა).

კონდენსატორი და ამიტომ აღდგენა-დისტალაციის პროცესში კონდენსატორიდან თუთიის გადმოღება საშუალო ხდება: პირველი - 6, მეორე - 12 და მესამე - 18 საათის შემდეგ (რეტორტაში კაშხის რიგითი ჩატვირთვის შემდეგ). პროცესის დასაწყისში დისტალაცია აქტიურად მიმდინარეობს და ამიტომ პირველ გადმოღებაზე ამოსაღები თუთიის მთელი რაოდენობის 60% მიიღება, მეორე გადმოღებაზე - დაახლოებით 30% და ბოლო, მესამე გადმოღებაზე - თუთიის დანარჩენი 10%. პირველად გადმოღებული თუთია ყველაზე მეტად მდიდარია კადმიუმით და სუფთაა ტყვიისგან. ბოლო გადმოღებები კი - პირიქით, თითქმის არ შეინიშნება კადმიუმი და ყველაზე მეტი ტყვიანია.

პროცესის დამთავრების შემდეგ კონდენსატორი იხსნება და რეტორტიდან ნარჩენი ქაფრეზიანი მზრუნავი (120 ბრ/წთ) ბურლით (ბურლი წყლით ცივდება) ამოიბურლება. ცარიელ რეტორტებში ისევ კაშხი იყრება და ციკლი თავიდან მეორდება. მიღებული დაუხალასებელი თუთია, როგორც წესი, შეიცავს: 98-99% Zn, 1,8%-მდე Pb, 0,05-0,1% Fe და 0,004-0,02% Cd. თავისი შემადგენლობით დაუხალასებელი თუთია ყველაზე დაბალი ხარისხის კომერციული თუთიის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს. ამიტომ დაუხალასებელი თუთია უფრო ხშირად რაფინირებას ექვემდებარება.

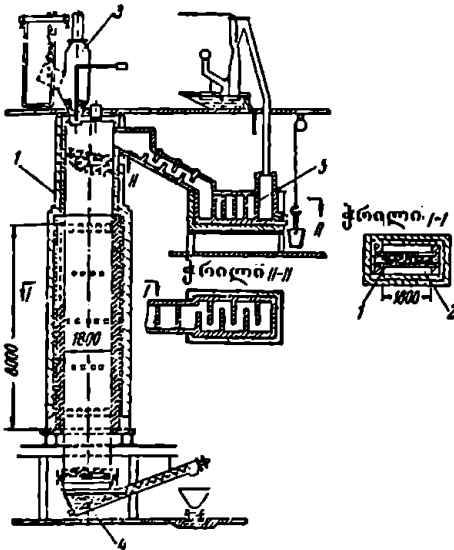
ვერტიკალური რეტორტა (თუთიის დისტალაციის პროცესში პირველად ნიუ-ჯერსის კომპანიამ გამოიყენა), პორიზონტალურთან შედარებით, ბევრად დიდი ზომისაა და პროცესის უწყვეტ რეჟიმში ჩატარების საშუალებას იძლევა (სურ. III.57.). პორიზონტალურ რეტორტებთან შედარებით, ვერტიკალური რეტორტა გაცილებით ნაკლებ მუშაზელს საჭიროებს. ვერტიკალური რეტორტა მაღალი ხარისხის სილიციუმის კარბიდისგან (კარბორუნდი, SiC) მზადდება. კარბორუნდი მაღალი სიმტკიცითა და თბოგამტარობით გამოირჩევა. მისი დნობის ტემპერატურა 2700°C-ს შეადგენს. კარბორუნდისგან დამზადებული რეტორტის მუშაობის ხანგრძლივობა 3-5 წელია.

ვერტიკალური რეტორტის შახტში, რომელიც კვეთში სწორკუთხაა (სიგრძე 2, სიგანე 0,3 და სიმაღლე 12 მ-ია), დღე-ღამეში 10 ტ თუთია იწარმოება.

რეტორტში ჩასატვირთი კაშხი წარმოადგენს შემცხვარ (750-900°C-ზე) ბრიკეტებს, რომელთა შემადგენლობაში შედის 60% თუთიის ოქსიდი, 25% ქვანახშირი, 9% შემკერული და 1% სულფურტი ხსნარი. შესაცხოზ ღუმელიდან ბრიკეტები ცხელ მდგომარეობაში ეშვება რეტორტაში. ბრიკეტებით შეტანილი სითბო რეტორტაში მიმდინარე ენდოთერმული რეაქციის განვითარებას უწყობს ზელს.

სასურებელ კამერაში ჩაშვებული რეტორტის ზედა ნაწილი 1,5-1,8 მ-ით გამოშვებულია კამერიდან. რეტორტის სასურებელი ნაწილის სიმაღლე დაახლოებით 7,5 მ-ს შეადგენს. რეტორტის გამსურებელი არი იწვის გრაფიტის კანერებში, რომლებიც რეტორტის ორივე მხარეზეა განლაგებული. კამერის კვეთის შიგა ზომები დაახლოებით 300x1500 მმ შეადგენს. გამოყენებული სათბობის შემადგენლობაში 70% ბუნებრივი არი და რეაქციის შედეგად თანაური პროდუქტის სახით გამოყოფილი CO (30%) შედის. რეტორტაში ჩატვირთული ბრიკეტები რეტორტის თავიდან რეტორტის ძირამდე ჩასვლას და რეტორტიდან გარეთ გასვლას 24 საათს ანდომებს. აქაც, ოქსიდის აღდგენის შედეგად თუთია ორთქლში გადადის.

რეტორტაში განვითარებული დაბალი წნევა, რეტორტიდან არრების გააჩრვას ზღუდავს ქიმიური რეაქციების შედეგად გამოყოფილ



სურ. III.57. თუთიის ნედლეულის უწყვეტ რეჟიმში გადასამუშავებელი ვერტიკალური რეტორტა.

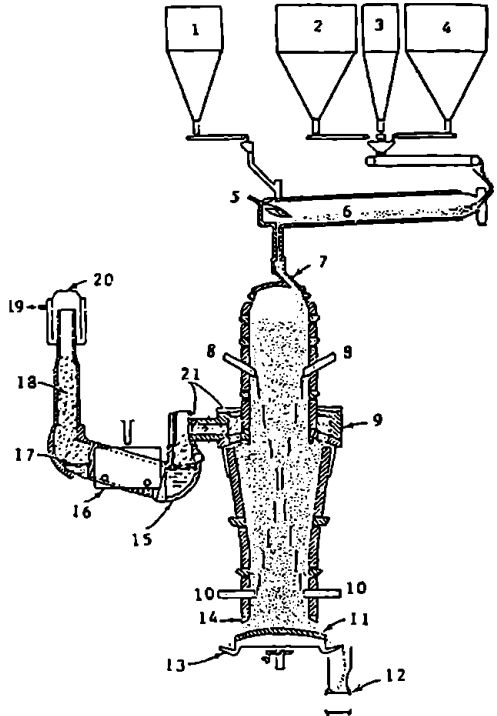
- 1 რეტორტა; 2 არის საწვავი კამერა; 3 ჩასატვირთი მოწყობილობა; 4. ვადმოსატვირთი მოწყობილობა; 5 კონდენსატორი.

აირებში 40% თუთიის ორთქლია, 45% - CO, ხოლო დანარჩენი, - წყალბადი, აზოტი და CO₂. გამოყოფილი აირები რეტორტის ყელიდან ქვეით დაქანებული ოთხკუთხა ფორმის მილსადენის გაყვლით გამშვებ კონდენსატორში გადადის. ცეცხლგამძლე აგურებით ამოვსებულ კონდენსატორში ტემპერატურა 500°C-მდე აღწევს. თუთიის ოხვად აბანაში ჩაფლულია მბრუნავი (400 ბრ/წთ) ტრიალა. ტრიალა თხევადი თუთიის შხუვებს აფრქვევს. გაურქვეული შხუვები მთლიანად ფარავს კონდენსატორიდან აირების გასასვლელს, რითაც ორთქლიდან თუთიის კონდენსაციის ხელშეწყობი პირობები იქმნება. კონდენსატორიდან თუთია უწყვეტ ნაკადად შეპერებში გადაედინება, ხოლო შემკრებიდან - ღუმელში. ღუმელიდან თუთიის ნაწილი, დბალი ხარისხის თუთიის სახით (97,5-98,7%Zn), ბოყებში ჩამოისხმება, ხოლო დანარჩენი ნაწილი რაიინირებაზე მიემართება. ვერტიკალურ რეტორტაში ნედლეულის გადაამუშავების დროს თუთიის გამოსავალი 97%-ს აღწევს.

ელექტროთერმული ღუმელი, რომელიც თუთიის აღდგენა-დისტალაციის უწყვეტ პროცესში გამოიყენება (სურ. III.58.), დღე-ღამეში 100 ტ თუთიას აწარმოებს (წმინდა ჯოის მინერალების კორპორაცია). ამ პროცესში თუთიის გამოსავლიანობა 98%-ს შეადგენს. ვერტიკალური რეტორტისგან განსხვავებით, ელექტროთერმულ პროცესში სითბო, ღუმელის თავში და ძირში წვილ-წყვილად ჩაყენებულ გრაფიტის ელექტროდებს შორის მოთავსებულ გადასამუშავებელ მასალაში დენის გაედისას, მასალის წინაღობით გამოიყოფა. მრგვალი ფორმის ღუმელის დიამეტრი 2,3, ხოლო სიმაღლე 14 მ-ია. მთავარი სარგებელი ზონა, რომელიც ღუმელის ქვედა ნახევარშია მოქცეული, წყლით სავსე ფოლადის კესონებითაა გარშემორტყმული. რგოლისებრი საორთქლე ცალკის (დაახლოებით ღუმელის ცენტრშია განლაგებული) მეშვეობით ღუმელში წარმოქმნილი აირები (მათ შორის თუთიის ორთქლიც) კონდენსატორში გადადის. საორთქლე ცალკი და კონდენსატორი შიგნიდან კარბოურდის აგურებითაა ამოვსებული.

კაზში ძირითადად თუთიის შემცვერი ოქსიდისა და ქვანახშირისგან შედგება. ზოგჯერ თუთიის შემცველი სხვა მასალაც (გრანულები, დროსი, ნარჩენები და სხვა) ემატება კაზში. ქვანახშირის რაოდენობა თუთიის ოქსიდის მასის 44%-ს შეადგენს. ნახშირბადის რაოდენობა კაზში სტეკიომეტრიულზე გაცილებით მეტია და თეორიულ რაოდენობას 300%-ით აჭარბებს (ნახშირბადის ჭარბი რაოდენობა ოქსიდიდან თუთიის აღდგენის რეაქციის მსვლელობისთვის არის აუცილებელი).

ცალკეულ ბუნკერებში მოთავსებული შემცვერი ოქსიდი (მარცვლის სისხო 25 მმ)



სურ. III.58. თუთიის ნედლეულის უწყვეტ რეჟიმში გადასამუშავებელი ელექტროთერმული ღუმელი.

1. გრანულების ბუნკერი; 2. კოქსის ბუნკერი; 3. პროცეტების ბუნკერი; 4. ალუმინატის ბუნკერი; 5. აირის სანთურა; 6. წინასწარი ვახურების კამერა; 7. მბრუნავი მანქანა; 8. ზედა ელექტროდები; 9. საორთქლე სარტყელი; 10. ქვედა ელექტროდები; 11. ნარჩენი; 12. რეგენერაციაზე; 13. მბრუნავი გადასასატვირთი; 14. წყლით სავსე ცალკი; 15. კონდენსატორი; 16. სავსე ცალკი; 17. თუთიის ნაწილი; 18. ნახშირბადის მანქანა; 19. გაყვამ-ტუმბისკენ; 20. აირის გამორეცხავი; 21. თუთიის ორთქლი და ნახშირბადის მანქანა.

და კოქსი (მარცვლის სისხო 6,25 მმ) მიეწოდება წინასწარი გახურების კამერას, სადაც მათ შერევა და გახურება ხდება. წინასწარი გახურების კამერის სიგრძე 9 მ-ია, დიამეტრი კი 1,50 მ. კამერა აღდგენის ღუმელიდან გამოსული CO-ს მეშვეობით სურდება.

მბრუნავი (0,4ბრ/წთ) მანწილებელი უწყვეტად ფანტავს ღუმელის თავზე 750°C-მდე გახურებული თუთიის ოქსიდისა და კოქსის ნარევეს და ერთდროულად პერმეტულად კეტავს შახტის თავს, რითაც აირების გამარევის შესაძლებლობა იზღუდება. ახლად შესული ნარევი ღუმელის გაელას 22 საათს ანდომებს.

ღუმელის გახურება რვა წყვილი ელექტროდის (ელექტროდის სიგრძე 9 მ-ია, ხოლო დიამეტრი 20 სმ) მეშვეობით ხორციელდება. ღუმელის თავთან განლაგებული ელექტროდები 30°-ით ქვევითაა დაქანებული, ხოლო ღუმელის ძირიდან ელექტროდები პორიზონტალურადაა ჩამაგრებული ღუმელში. ელექტროდების საერთო ხარჯი ერთ ტონა ლითონურ თუთიაზე 1,2 კვ-ს შეადგენს.

ღუმელის საერთო სიმძლავრე 200-230 ვოლტზე 10000 კილოვატია, ხოლო წინააღობით გამოყოფილი სითბო საორთქლე ცალულის ზონაში 1400°C ანეითარებს, ქვედა ელექტროდების ზონაში კი 1300°C იძლევა. ღუმელიდან კონდენსატორში შემავალი აირების ტემპერატურას 850°C-ს აღწევს. აირებში 45% თუთიის ორთქლი, 45% CO და დანარჩენი აზოტი, წყალბადი და CO₂-ია.

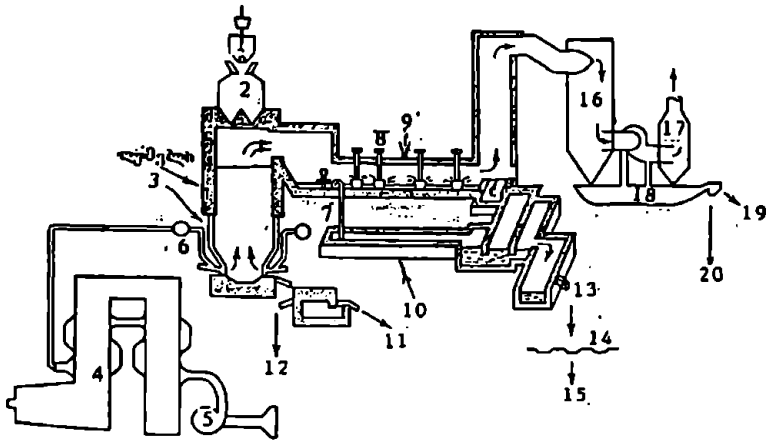
საორთქლე ცალულის ქვეშ განლაგებულ ნაღისებრი (Ω) ფორმის კონდენსატორს ვერტიკალური შესასვლელი და გასასვლელი აქვს. კონდენსატორში შექმნილი გაუხშობა (200-300 მმ ვერცხ. წყლის სვეტი) ხელს უწყობს აირების გაწოვასა და ადვილებს თუთიის ორთქლის კონდენსაციას. ფურცლოვანი რკინისგან დამზადებული კონდენსატორი შიგნიდან კარბორუნდითაა ამოკეპული. კონდენსატორის ძირი, რომელიც პორიზონტალური სირბტყიდან 22°-ით ზევითაა აშვერილი, 6 მ-ის სიგრძისაა და მისი განივი კვეთის ფართობი 2მ² შეადგენს. კონდენსაციის ტემპერატურის (480-500°C) რეგულირების მიზნით საცივებელი ღარი გარშემორტყმულია მილისგან დამზადებული კლანჩილათი, რომელშიც საცივებელი წყლის ნაკადი გაედინება. კონდენსატორში 45 ტ-ის ოდენობით შეკავებული თხევადი თუთია პერიოდულად ბოყებში ჩამოსხმას ექვემდებარება და ზოდების სახით მოშმსარებელს მიეწოდება ან რაფინირებაზე იგზავნება.

კონდენსატორიდან გამოსული აირები წყლით გამრეცხში შედის და მყარი ნაწილაკებისგან და ლურჯი ფერის ფხვნილისგან ცალკედება. გასუფთავებული აირი, რომელიც 80% CO-ს შეიცავს, სათბობის სახით გამოიყენება. ღუმელის ძირში ჩასული ნარევი შედგება კოქსის, შემცხვარი მასისა და მცირეოდენი წოდის ნაღობისგან. ღუმელში ჩატვირთული კოქსის ჭარბი რაოდენობა გადასამუშავებელი მასალის წოდის ნაღობთან შეწებების შესაძლებლობას გამოიწვევს. ღუმელის ძირი ევრნდება ფოლადის რგოლს, რომელიც წყლით ცივდება. რგოლის ქვეშ განლაგებულია ცეცხლგამძლე მასლით დაფარული ნარჩენის გადმოსატვირთი მბრუნავი (0,03 გრ/წთ) მაგიდა. მაგიდის საშუალებით ღუმელიდან ნარჩენის მსოლოდ მცირე ნაწილი გამოდის. ნარჩენის ძირითადი ნაწილი ღუმელის ძირსა და მაგიდის შორის არსებული ღრიჭვიდან მძიმე ქაფრებით პერიოდულად გადმოიტვირთება. თუთიის გამოსავლიანობა 93%-ს შეადგენს.

შახტური ტაპის ღუმელში (სურ. III.59.) თუთიის ნედლეულის გადამუშავება მოგვიანებით დაიწყო (თუთიის წარმოებაში შახტური ღუმელი პირველად 1950 წელს იქნა გამოყენებული). შახტურ ღუმელში 300 ტ. თუთიის მიღება შეიძლება დღე-ღამეში მაშინ, როცა პორიზონტალურ რეტორტაში 0,06 ტ. ვერტიკალურ რეტორტაში 10 ტ და ელექტროთერმულ ღუმელში 100 ტ თუთია იწარმოება დღე-ღამეში. ამჟამად მსოფლიოში წარმოებული თუთიის 15-18% შახტური ღუმელის გამოყენებით მიიღება.

თუთიის ოქსიდის აღდგენის მიზნით, შახტურ ღუმელებშიც ნახშირბადოვანი აღდგენი გამოიყენება. აღდგენის შედეგად ორთქლის მდგომარეობაში გადასული თუთია აქაც თხევადი სახით კონდენსირდება. გადასამუშავებელი კაზში შედგება ცხელი აგლომერატისგან, წინასწარ გახურებული კოქსისგან და წოდის ფორამერბისთვის საჭირო კირისგან. აგლომერატისა და კოქსის ნაჭრების ზომები 5-7,5 სმ შეადგენს. აგლომერატის შემადგენლობაში, როგორც წესი, 42% თუთია და 20% ტყვია შედის.

კოქსის წინასწარი გახურება კომპლური ტიპის სახურებელში შახტურ ღუმელში მიმდინარე პროცესის მანერებლებს საგრძნობლად აუზრუნველებს. სახურებელი შახტური ღუმელიდან წარმავალი აირების ცხელი ნაკადით სურდება.



სურ. III.59. თუთიის ნედლეულის უწყვეტ რეჟიმში ფადასამუშავებელი შახტური ღუმელი.

1 ცხელი აგლომერატისა და კოქსის ჩასატვირთი ჩაშა; 2 ჩასატვირთი ბუჩქური ორმაგი კონუსური ძირით; 3 წყლით საცხებელი კესინები; 4 წინასწარი გახურების კამერა; 5 პერსაბერა; 6 ქშინებ; 7 ტუმბო; 8 რიოტორი; 9 კონდენსატორი; 10 საცხებელი აბაზანა; 11 ტყვია რაფინირებაზე; 12 საყარი წიდა; 13 თუთიის შესრები აბაზანა; 14 ბოყებში ჩაშოსხა; 15 თუთის ზოდები მომზარებელს; 16 არების გამრეცხა კოპკა; 17 ტენის სეპარატორი; 18 წყლით საცეტი ღურჯი ფხვანლის დამჭერი კოდა; 19 ღურჯი ფხვანლი; 20 ნამუშევარი ხსნარი დაღეყვაზე.

კახში შემავალი მასალების (აგლომერატი, კოქსი, გამოშვარი კირი) ზუსტი თანფარდობა აუცილებელია ღუმელში მიმდინარე პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩატარებისთვის. ამიტომ მასალების ასაწონად მაღალი სიზუსტის ავტომატური მოწყობილობები გამოიყენება. თუთიისა და კოქსის წონითი შეფარდება, შესაბამისად არის 1:0,8.

ოთხკუთხედი ფორმის ღუმელი, მომრგვლებული ბოლოებით, დაახლოებით, ტყვიის სადნობი შახტური ღუმელის ზომისაა. ღუმელის ზედა ნაწილი ცეხლგამძლე აგურებით ამოვებულ ფოლადის სექტს წარმოადგენს, ხოლო ქვედა ნაწილი წყლით საცხებელი ფოლადის კესონებისგან არის აგებული. ქშინებში შესაბერი ჰაერი წინასწარ ხურდება 950°C-მდე. ღუმელი ბუნებრივი აირით ან მახუთით ხურდება.

ღუმელში შებერილი წინასწარ გახურებული ჰაერი რეაქციაში შედის კოქსის წეის შედეგად წარმოქმნილ CO-სთან, რის შედეგადაც ღუმელში დამატებითი სითბო გამოიყოფა (ტემპერატურა 100°C-ით იზრდება). ღუმელში განვითარებულ ტემპერატურაზე (1050°C) თუთიის ორთქლის დაყანვა ხელშეორედ არ ხდება და ორთქლი გადადის თალის ქვეშ განლაგებული აირის ორი გასასვლელის გაყლით კონდენსატორებში.

ღუმელში ჩატვირთულ აგლომერატში ერთმანეთთან შერეულია თუთიისა და ტყვიის ოქსიდები (42%Zn; 20%Pb). ამიტომ ერთდროულად ხდება თუთიისა და ტყვიის ოქსიდების აღდგენა. თუთიის ოქსიდის აღდგენის ენდოთერმული რეაქცია (III.79) სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს, ხოლო ტყვიის ოქსიდის აღდგენის ეგზოთერმული რეაქცია (III.54). უმნიშვნელო რაოდენობის სითბოს გამოყოფს. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ ტყვიის ოქსიდის აღდგენისთვის მხოლოდ მცირეოდენი კოქსის დამატება საჭირო. მიუხედავად იმისა, რომ თუთიის აღდგენის რეაქციის შედეგად გამოყოფილი CO-ს არი გაზაყებულა CO₂-ით, რომელიც ტყვიის აღდგენით გამოიყოფა, არში CO-ს რაოდენობა მაინც საკმაოდ მაღალია (20% CO და 12% CO₂) და მისი გამოყენება კოქსისა და ჰაერის წინასწარი გახურების მიზნით მიზანშეწონილია. ღუმელში წარმოქმნილი თხევადი ტყვიის (მასში გახსნილი სილენძისა და კეთილშობილი ლითონების მინარევეთ) და წიდის ნაღობი ჩადის ღუმელის ძირში, საიდანაც გარეთ გაუდინება და შემკრებ ქერაში გროვდება. ქერაში ტყვიისა და

წილის თხევადი ფენები ცალკეედება. თხევადი ტყვია ქურის ძირიდან გამოდის და ან ადგილზე ექვებება ან რაფინირებას, ან სხვა ქარხანაში იგზავნება. ქურის ზევიდან გადმოსული თხევადი წილა გრანულირების შემდეგ გადაიყრება. წილა 5%-მდე თუთიასა და 0,5%-მდე ტყვიას შეიცავს.

ლუმელის აირის გასასულებლები თხევადი ტყვიის გამჟვრევე კონდენსატორებთანაა შეერთებული. კონდენსატორი (ორი კონდენსატორი) აღჭურვილია ლოპატებიანი როტორებით. როტორების მეშვეობით გაფრქვეული თხევადი ტყვიისგან წმინდა წვეთების წვიმა წარმოიქმნება. ტყვიის წვეთებით ლუმელიდან კონდენსატორებში შესული თუთიის ორთქლიდან სითბო აირინება, რის შედეგადაც კონდენსატორებში ტემპერატურა 550°C-მდე ვარდება. ამ ტემპერატურაზე თუთიის ორთქლი სწრაფად კონდენსირდება და თხევადი ლითონის სახით ტყვიის ნაღწობში ირევა. ყველაზე ფართოდ გავრცელებული კონდენსატორი სამ ზონადაა გაყოფილი. პირველში ოთხი როტორია ჩაყენებული, მეორეში და მესამეში კი ორ-ორი. ლოპატებიანი როტორები, რომლებიც ვერტიკალურ სიბრტყეში ტრიალებს, ტყვიის ნაღწობებშია ჩაყვლილი კონდენსატორის ძირამდე და ლითონის წვეთების მაკონდენსირებელ მხეფებს აფრქვევს. თხევადისა და ორთქლის ერთმანეთთან მაქსიმალური თანხების მისაღწევად თხევადი ტყვიიდან საკმაოდ მცირე ზომის წვეთები უნდა იფრქვეოდეს. წვეთების ზომები დამოკიდებულია ლოპატების ფორმაზე, ტყვიის ნაღწობში როტორის ჩამირვის სიღრმეზე და მისი ბრუნვის სიჩქარეზე.

ტყვიის ცხელი ნაღწობი, მასში გახსნილ თუთიასთან ერთად კონდენსატორიდან ფოლადის კესონებისგან აკრეფილ საცივებელ საგუბარში გადადის. საგუბარში ტემპერატურა 440°C-მდე ვარდება, რის შედეგადაც თუთიის ხსნაღობა ტყვიამში მცირდება და იგი ტყვიიდან გამოიყოფა. ტყვიიდან გამოყოფილი ჭარბი თუთია, რომელიც 1,2% Pb-ს შეიცავს, ტყვიის ნაღწობის ზედაპირზე ადის (თუთიისა და ტყვიის სიმკვრივების სხვაობის გამო) და იქიდან განცალკევების აბაზანაში გადაედინება. განცალკევების აბაზანიდან, სადაც თუთიიდან ტყვია ილექება, თუთიის განცალკევებული თხევადი ფენა უწყვეტ ნაკადად გადადის თუთიის აბაზანაში, რომელიც გარედან ზურდება. აბაზანიდან თუთია ბოყვებში ჩამოიხსმება და ზოღების სახით რაფინირებაზე იგზავნება, ხოლო თუთიიდან გამოდკეილი ტყვია აბაზანის ქვედა ნაწილიდან გრავიტაციით ისევ კონდენსატორში ხვდება. კონდენსატორში გადასული ტყვია ხელმეორედ ზურდება განსრულებული წარმავალი აირების სითბოს ხარჯზე. კონდენსატორში თბური ბალანსის დასამყარებლად (500-550°C ტემპერატურული ზღვრების შესანარჩუნებლად), ყოველ ერთ ტონა მიღებულ თუთიაზე 400 ტ ტყვიის ნაღწობი განიცდის ცირკულაციას ჩაკეტილ წრედში (კონდენსატორი – საცივებელი საგუბარი – განცალკევების აბაზანა), ანუ ღლე-ღამეში 300 ტ თუთიის მიღების პროცესში 120000 ტ ტყვია ექვებდება ცირკულაციას. მასტურ ღუმელში თუთიის ნედლეულის გადაამუშავების დროს თუთიის გამოსავლიანობა 92% შეადგენს. კონდენსატორიდან გამავალი აირების ტემპერატურა რაც შეიძლება დაბალი უნდა იყოს, რათა წარმავალ აირებთან ერთად მინიმალური რაოდენობის თუთიის ორთქლი გაეიფეს კონდენსატორიდან. კონდენსატორიდან გასული აირები (აირი 20%-მდე CO-ს შეიცავს) მყარი ნაწილაკებისა და ღურჯი ფხენილისგან გასუფთავებისა და გაციელების შემდეგ მასტურ ღუმელში ჩასატვირთი კოქსისა და შესაბერი ჰაერის წინაწარი გახურების პროცესში სათბობად გამოიყენება.

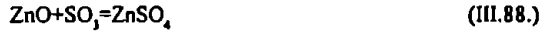
4.2. თუთიის ნედლეულის გადაამუშავება პიდრომეტალურგაული ხერხით

4.2.1. თუთიის ნედლეულის გამოტუტვა

გამოტუტვის წინ თუთიის სულფიდური კონცენტრატის უანგეითი გამოწვა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს. თუთიის სულფიდური კონცენტრატის სრული გამოწვისგან განსხვავებით, რომელიც პიდრომეტალურგაში ტარდება, გამოტუტვის წინ გამომწვარ კონცენტრატში თუთიის სულფატის სახით მცირეოდენი გოგირდის ჩატოვება მიზანშეწონილია. თუ თუთიის სულფიდი გახავებულ გოგირდმჟავაშიც კი შეზღუდულად იხსნება, თუთიის სულფატი თავისუფლად იხსნება წყალში და ამიტომ მის გასასწნელად გამოტუტვის დროს გოგირდმჟავა არ იხარჯება, რაც გოგირდმჟავას ეკონომიის შესაძლებლობას იძლევა. ადრე აღინიშნა, რომ კონცენტრატიდან (ნამწვიდან) თუთიის გამოსატუტად გამოიყენება ნაწუშვარი ელექტროლიტი, რომელიც ელექტროლიზის პროცესში

განსაზღვრული რაოდენობის გოგირდმცავთი მდიდრდება; აქედან გამომდინარე, თუ გამოიწვიარ კონცენტრატში დიდი რაოდენობით თუთიის სულფატი შედის, ნაშუშევიარ ელექტროლიტი მოლოანად არ დაიხარუება გამოტუტვაზე და იგი ჭარბი რაოდენობით დარჩება. ნაშუშევიარ ელექტროლიტის თანდათანობით დაგროება გამოტუტვის პროცესის ბალანსის დარღვევას გამოიწვევს. ამიტომ გამოიწვიარ კონცენტრატში თუთიის სულფატი ზედმეტად მოჭარბებული რაოდენობით არ უნდა შედიოდეს. გამოიწვიარ კონცენტრატში თუთიის სულფატის რაოდენობა ზუსტად უნდა შეესაბამებოდეს გოგირდმცავას დანაკარგებს (დანაკარგი გადმოღვრით, აორთქლებით, ხსნარის გადასვლა-გადმოსვლით) ჰიდრომეტალურგიული პროცესების დროს.

გამოწვის დროს თუთიის სულფატის წარმოქმნა შემდეგი რეაქციებით გამოისახება:



რეაქციის (III.87.) წონასწორობა გამოისახება თანაფარდობით:

$$K = \frac{P_{\text{SO}_2}^2 \cdot P_{\text{O}_2}}{P_{\text{SO}_3}^2} \quad (\text{III.89.})$$

საიდანაც

$$P_{\text{SO}_3} = P_{\text{SO}_2} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{O}_2}}{K}} \quad (\text{III.90.})$$

რეაქციის (III.88.) წონასწორობის მუდმივა აირებში SO_3 -ის პარციალური დრეკადობის ტოლად

$$K' = P'_{\text{SO}_3} \quad (\text{III.91.})$$

თუთიის სულფატი წარმოიქმნება მაშინ, როცა $P_{\text{SO}_3} > P'_{\text{SO}_3}$, ხოლო როცა $P_{\text{SO}_3} < P'_{\text{SO}_3}$, თუთიის სულფატი იშლება. სიდიდეები P_{SO_3} და P'_{SO_3} ტემპერატურაზე დამოკიდებული; ამასთან ლე-შატელიეს წესის თანახმად, ტემპერატურის გაზრდით P_{SO_3} მცირდება, ხოლო P'_{SO_3} იზრდება. მამასადაშე, გამოწვის ტემპერატურის რეგულირებით შესაძლებელი ხდება თუთიის სულფატის წარმოქმნის მართვა. თუთიის სულფატის დაშლა მხოლოდ 700°C -ის ზევით იწყება. სულფატების წარმოქმნის რეგულირების დროს გასათვალისწინებელია მიმდინარე რეაქციების სინქარეები, რომლებიც ტემპერატურასთან ერთად იზრდება.

თუთიის გამოტუტვის სისრულეზე მნიშვნელოვნად მოქმედებს თუთიის ფერიტი, რომელიც გამოწვის პროცესში თუთიის ოქსიდისა და რკინის ზეეანგის (მიიღება სულფიდური რკინის მინარეის დაჟანგვის შედეგად) ურთიერთქმედებით წარმოიქმნება:



ფერიტის წარმოქმნა ამცირებს თუთიის ხსნარში გადასვლის შესაძლებლობას, რადგანაც $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ძალზე ნელა რეაგირებს გაზავებულ გოგირდმცავასთან და ფერიტში შეკრული თუთია პრაქტიკულად ხსნარში არ გადადის. ფერიტების წარმოქმნა განპირობებულია იმით, რომ ZnO — ტუტე, ხოლო Fe_2O_3 მცავა ოქსიდია. დაბალ ტემპერატურებზე ფერიტების წარმოქმნის სინქარე არც ისეთი მაღალია, ხოლო 650°C -ის ზევით იგი სწარუად იზრდება. კონცენტრატის გამოწვა მრავალქველიან ლეგლებში ხორციელდება. ტემპერატურის რეგულირების პირობებში ყველაზე ცხელ, შუალედურ ჰედზე ტემპერატურა $800-850^\circ\text{C}$ -ს არ აღემატება. ქვედა ჰედლიდან გამომაველი გამოიწვიარ კონცენტრატი კი $400-500^\circ\text{C}$ -მდეა გახურებული. ზოგ შემთხვევაში, როცა კონცენტრატში რკინის შემცველობა დაბალია და მნიშვნელოვანი რაოდენობით ფერიტის წარმოქმნა გამოიციხვლია, ტემპერატურის გაზრდა $900-950^\circ\text{C}$ -მდე შეიძლება. ტემპერატურის გაზრდით გამოწვის პროცესი ჩქარდება და ლუმელის მწარმოებლობა იზრდება, მაგრამ ამასთანავე თუთიის სულფატის წარმოქმნა იზრდება, რაც გოგირდმცავას უკმარისობას გამოიწვევს ჰიდრომეტალურგიულ გადამუშავებაში.

ტემპერატურის რეგულირება ნელი კონცენტრატის მიწოდებისა და ჰერის ნაკადის სიჩქარეების შეცვლით ხორციელდება. გამომწვარ კონცენტრატში სულფიდური გოგირდის შემცველობა 0,3-0,5%-ია, ხოლო სულფატური გოგირდი 1-დან 2%-მდეა.

გამოწვის შედეგად მიღებული თუთიის ოქსიდური ნაშენი, რომელიც მცირე რაოდენობით თუთიის სულფატს შეიცავს, გამოტუტვის ეტაპზე გადადის გადასამუშავებლად.

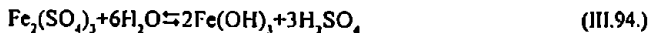
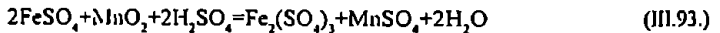
ნაშენის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი მინარეებისგან გასუფთავებას ექვემდებარება და მხოლოდ გასუფთავებულ ხსნარში გადადის თუთიის დალექვა ელექტროლიზით. რაც უფრო სუფთა ელექტროლიტური ხსნარი, მით უფრო მაღალია ელექტროლიზის შედეგად მიღებული ლითონური თუთიის ხარისხი. ამიტომ გამოტუტვის დროს თუთიის ხსნარში მაქსიმალურ გახსნასთან ერთად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მის სრულ განცალკევებას მინარეებისგან. გამომწვარ კონცენტრატში შემავალ თუთიის ყველა ნაერთი უნარიათა გოგირდმჟავასთან ურთიერთქმედებით წყალში ხსნადი სულფატები წარმოქმნას. თუთიის ხსნარში გადაყვანის სისრულე მხოლოდ შესაბამის რეაქციების სიჩქარეზე დამოკიდებული. თუმცა გამოტუტვა არ შეიძლება უსაზღვროდ დიდხანს გაგრძელდეს და ამიტომ თუთიის გამოტუტვის სისრულე გამოტუტვის პროცესის მიზანშეწონილ ზანგრძლივობას უნდა ითვალისწინებდეს.

კაემიწის, ტყვიისა და კალციუმის მინარეები გამოტუტვის ნებისმიერი ზანგრძლივობით, პრაქტიკულად, ხსნარში არ გადადის. ამ მინარეების მსგავსად „იქტევა“ ბარიუმიც.

რაც შეეხება თუთიის გამომწვარ კონცენტრატში შემავალ რკინის, სპილენძის, კადმიუმის, დარიშხანის, ანთიმონის, კობალტისა და სხვა ლითონების მინარეების ნაერთებს, მათი გოგირდმჟავასთან ურთიერთქმედებით წყალში ხსნადი სულფატები ან წყალში ხსნადი სხვა სახის ნაერთები წარმოიქმნება. ვინაიდან თუთიის ოქსიდთან შედარებით ამ მინარეების გოგირდმჟავასთან ურთიერთქმედების სიჩქარე დაბალია, გამოტუტვის პროცესში თუთიისგან მათი ნაწილობრივი განცალკევება ხდება. მაგალითად, Fe_2O_3 -ის ძირითადი მასა გამოტუტვის პროცესში გოგირდმჟავასთან ურთიერთქმედებას ვერ ასწრებს და მყარ ნარჩენში რჩება.

ორველენტიანი რკინა, სპილენძის, კადმიუმის, დარიშხანის, ანთიმონის და კობალტის მინარეები მნიშვნელოვანი რაოდენობით გადადის ხსნარში. ამ მინარეების ხსნარში დატოვება ძალზე ართულებს ხსნარიდან თუთიის ელექტროლიზით გამოლექვის პროცესს. სწორედ ამიტომაცაა საჭირო თუთიის გამომწვარი კონცენტრატის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარის გასუფთავება მინარეებისგან.

რკინისგან ხსნარის გასუფთავება შესაძლებელია გამოტუტვისასთან ერთდროულად, რკინის ქვეყანვის, მანგანუმის ორჟანგით დაჟანგვითა და შემდგომი ჰიდროლიზით:



პირველი რეაქცია (III.93.) გოგირდმჟავას საჭიროებს, ამიტომ რკინა გამოტუტვის დასაწყისში უნდა დაიჟანგოს მანამ, სანამ მჟავა თუთიის გამოტუტვაზე დაიხარჯება. მეორე რეაქცია (III.94.) კი პირიქით, შესაძლებელია განვითარდეს მხოლოდ გამოტუტვის ბოლოში, როცა მჟავა მთლიანად დახარჯულია და ხსნარი თითქმის ნეიტრალურია. რკინასთან ერთად ხსნარიდან განილევენ და დარიშხანისა და ანთიმონის მინარეები, რომელთა ნაერთები რკინის ფენებით სორბირებას განიცდის და მყარ ნარჩენებში რკინასთან ერთად გადადის.

თუთიის სრული გამოტუტვისთვის გოგირდმჟავას სიჭარბეა აუცილებელი. ამასთან, რკინის განდევნისთვის გამოტუტვის ბოლოში ნეიტრალური ხსნარია საჭირო. ამ წინააღმდეგობის გადაწყვეტის მიზნით, გამოტუტვა ორი (ზოგჯერ სამი) საეფსურით ტარდება. გამომწვარი თუთიის კონცენტრატი ვერ $ZnSO_4$ -ის სუსტი მჟავა ხსნარით მუშავდება (ხსნარი 100-120 გ/ლ Zn და 1-5 გ/ლ თავისუფალ გოგირდმჟავას შეიცავს); ვინაიდან მჟავა არ არის საკმარისი თუთიის სრული გამოტუტვისთვის, თუთიის ნაწილი გადავა ხსნარში, რომელიც ნეიტრალური იქნება და, მაშასადამე, რკინისგან თავისუფალი გამოტუტვის პირველი საეფსური ნეიტრალური გამოტუტვის სასელწოდებით არის ცნობილი. ნეიტრალური გამოტუტვის შედეგად დარიშხანი მყარი ნარჩენი საკმაოდ დიდი რაოდენობის თუთიის შეიცავს, ამიტომ იგი მყარ საეფსურზე მჟავა გამოტუტვას ექვემდებარება.

გამოტუტვის პროცესი შეიძლება იყოს უწყვეტი ან პერიოდული. უფრო ხშირად უწყვეტი პროცესებით ხდება თუთიის გამოშვარი კონცენტრატის გადაშენება.

უწყვეტი პროცესის პირველ საფეხურზე (ნეიტრალური გამოტუტვა) ნაშენის გამოსატუტად ნამუშევარი ელექტროლიტისა და მეორე საფეხურზე (მეფა გამოტუტვა) გამოტუტვის შედეგად დარჩენილი ხსნარის ნარევი გამოიყენება. გამოტუტვა ტარდება შემრევე კოლში (კოდი ხისგან ან ბეტონისგან მზადდება; ბეტონი შიგნიდან ფოლადით ან ტყვიით იფარება), რომელიც დახურული ტიპის ბურთულბანანი წისქვილისა და ცენტრფუგის კლასიფიკატორის მოწყობილობებით არის აღჭურვილი. ხსნარების ნარევი, რომელსაც კოდის მოცულობის მესამედი უკავია, განსაზღვრული რაოდენობის თუთიის ნაშენი იყრება ავტომატური მოწყობილობით აღჭურვილი ბუნკერიდან. პულპის ორსათიანი არევის შედეგად ნარევი ხსნარში შემაჯალი თავისუფალი მეფისა (მეფა მთლიანად იხარჯება) და თუთიის ოქსიდის ურთიერთქმედებით ხსნარში თუთიის სულფატი წარმოიქმნება. რეაქციის დარჩარების მიზნით, ხსნარი 98°C-მდე ხურდება (ხსნარის გახურება მასში ცხელი ორთქლის შეშენებით ხდება). გამოტუტვის პროცესში საუფთავლოდ რეგულირდება ხსნარის pH.

თავისუფალი მეფისა დახარჯვის მიზნით ხსნარში ჭარბი რაოდენობით იტვირთება თუთიის ოქსიდი (ნაშენი). მეფისაობის შემცირებით ხსნარის pH-ს მაქვენებელი იხრდება (5-5.2-მდე) და ნამუშევარ ელექტროლიტში გოგირდის შემცველობა, რომელიც დასაწყისში 10-11,5%-ს შეადგენდა, 0,5%-მდე ვარდება (200 გრამიდან ლიტრზე 5 გრამამდე ლიტრზე). გამოტუტვის პირველ საფეხურზე (ნეიტრალური გამოტუტვა) ნაშენში შემაჯალი ხსნადი თუთიის 50-75% გადის ხსნარში.

ხსნარის pH-ის გაზრდით ხსნარში თუთიასთან ერთად გადასული მინარევიები ოქსიდებისა და ჰიდროოქსიდების სახით გამოილეკება ხსნარიდან. მინარევიების ხსნარიდან გამოლეკვის გადვილების მიზნით კოლში ჰაერი შეიბრება (იმ შემთხვევაში, თუ კოდი მექანიკური შემრევით არის აღჭურვილი) ან მეანგავი რეაგენტის სახით ხსნარში MnO_2 იტვირთება. მინარევიების დალეკვის საუკეთესო რეაგენტი საშეაღვრტიანი რკინის ჰიდროოქსიდი, რომლის მეშეობითაც რკინის უმეტესი ნაწილი განილეკება ხსნარიდან. იგი ხელს უწყობს აგრეთვე სილიციუმის, ალუმინის, დარიშხანისა და ანთიმონის უხსნადი ოქსიდური და ჰიდროოქსიდური ნაერთების ფორმირებას. საშეაღვრტიანი რკინის ჰიდროოქსიდი სპილენძის მნიშვნელოვანი ნაწილიც განილეკება ხსნარიდან. ხსნარში თუთიასთან ერთად რჩება კალმომის მთლიანი რაოდენობა.

ნეიტრალური გამოტუტვის ხსნარების კოლებიდან სასქელებელში გადაცლით გაკამკამებული ხსნარისა და უხსნადი ნარჩენის განცალკეება ხდება. უხსნადი (მეფარი) ნარჩენი გამოტუტვის მეორე საფეხურზე (მეფა გამოტუტვა) გადის გადასამუშეებლად, ხოლო გაკამკამებული ხსნარი გასუფთავების სააქტორში მიემართება და პერიოდული მოქმედების შემრევე კოლებში ან უწყვეტი მოქმედების დოლური ტიპის რეაქტორებში გროვდება.

დოლურ რეაქტორში ხსნარის გასუფთავება სპილენძის განდევნით იწყება, როსთისაც ხსნარს თუთიის ჯართი ემატება. ჯართის დამატებით სპილენძი თუთიით ჩაინაცლება და ხსნარიდან გამოილეკება. გამოლეკვის შედეგად ხსნარში სპილენძის რაოდენობა 400 მგ/ლ-დან 0,2 მგ/ლ-მდე მცირდება.

სპილენძის გამოლეკვის შემდეგ ხსნარი სასქელებელში გადის. გაკამკამებული ხსნარი, რომელიც სასქელებელში ფორმირდება, მექანიკური შემრევით აღჭურვილ კოლში გადაიტუმება, სადაც 60°C-მდე ხურდება. კალმომის გამოლეკვის მიზნით გახურებულ ხსნარს თუთიის მტვერი ემატება. კალმომისგან გასუფთავებული ხსნარის ფილტრ-წინებზე დამუშავების შედეგად მიღებულ გაკამკამებულ ხსნარში კალმომის რაოდენობა 0,2 მგ/ლ-ზე ნაკლებია (გამოლეკვამდე კალმომის რაოდენობა ხსნარში 5 მგ/ლ შეადგენდა). კალმომის განდევნის შემდეგ ხსნარი შემრევე კოლში გადაიტუმება და 75°C-მდე ხურდება. გახურებულ ხსნარს ანთიმონის (10 მგ/ლ) და თუთიის (6 მგ/ლ) მტვერი ემატება. ხსნარის არევა გრძელდება იქამდე, სანამ ხსნარში კობალტის რაოდენობა 0,25 მგ/ლ-მდე შემცირდება. გასუფთავების პროცესების ბოლოს ხსნარიდან საბოლოოდ განილეკება დარიშხანი, ანთიმონი, ნიკელი და გერმანიუმი. თითოეული მათგანის რაოდენობა გასუფთავებულ ხსნარში 0,01 მგ/ლ-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

გამოტუტვის პირველ საფეხურზე (ნეიტრალური გამოტუტვა) თუთიის გამოშვარი კონცენტრატის გადამუშავების შედეგად მიღებული გასუფთავებული ხსნარი თუთიის გამოშვარის მიზნით ელექტროლიზს ექვემდებარება. ხსნარის გასუფთავების პროცესებს განსაკუთრებული ყურადღება

ენიჭება. მინარეების მცირე რაოდენობაც კი უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ელექტროლიზის პროცესზე. მაგალითად, თუ რკინის რაოდენობა ხსნარში 20 მგ/ლ-ს აღემატება, ელექტროლიზის პროცესში გამოსავალი, დენის მიხედვით საგრძნობლად მცირდება; 10 მგ/ლ-ზე უფრო მეტი რაოდენობის სპილენძი კათოდურ კოროზიას იწვევს და ამით ღარიშხანისა და ანთიმონის ზემოქმედებას კათოდზე აბლირებს. შედეგად კათოდზე თუთიის უსწორმასწორო, უხეში ფენა ილექება. კადმიუმის მინარევი კი კათოდზე ილექება და გამოლექულ თუთიის ფენას აჭუჭყიანებს.

ნეიტრალური გამოტუტვის შედეგად სასქელებელში დარჩენილი უხსნადი მასა გამოტუტვის მეორე საფეხურზე (მჟავა გამოტუტვა) გადადის გადასამუშავებად. მჟავა-გამოტუტვის დანადგარ-მოწყობილობები ნეიტრალური გამოტუტვის დანადგარების იდენტურია.

გამოტუტვის მეორე საფეხური კოდში მოთავსებული უხსნადი მასის ნამუშევარ ელექტროლიტში გამოტუტვით იწყება. გამოტუტვის დროს საკმაოდ დიდი რაოდენობის ნამუშევარი ელექტროლიტი გამოიყენება, რათა ნეიტრალური გამოტუტვის (გამოტუტვის პირველი საფეხური) შედეგად მყარ მასაში ჩარჩენილი თუთიის მაქსიმალური რაოდენობა გადაიედეს (გამოიტუტოს) ხსნარში. გამოტუტვის შიგლი პროცესის განმავლობაში pH-ის საკმაოდ მაღალი მარეგულირება შენარჩუნებული (პროცესის ბოლოს pH-ის მარეგულირება 2,8-ის ტოლი ხდება) ისე, რომ მინარეების ის მცირე რაოდენობა, რომელიც ნეიტრალური გამოტუტვის დროს გამოილექს, ამჯერად ხელშეორედ იხსნება. გამოტუტვის ორივე საფეხურზე (ნეიტრალური და მჟავა გამოტუტვის პროცესები) თუთიის ნაშვნი 85-დან 90%-ის ფარგლებში იხსნება ხსნარში. გამოტუტვის პროცესის დამთავრების შემდეგ მჟავა გამოტუტვის კოდდან სასქელებლებში გადაიცილება. სასქელებელიდან გადმოსული გაკამამბული ხსნარი პირველი საფეხურის (ნეიტრალური გამოტუტვა) გამოტუტვის პროცესში გამოიყენება, ხოლო მყარი ნარჩენის მასა, რომელიც 8-12% თუთიას, 4-5% რკინას, 150-300 გ/ტ ვერცხლს და 30-40% ტყვიას, აგრეთვე მცირე რაოდენობით სპილენძს, კადმიუმს, ინდოუმს, კალას, ანთიმონს, დარიშხანს, გერმანიუმს და სულენს შეიცავს, გარეცხვისა და გაფილტვრის შემდეგ სადნობ ქარხანაში იგზავნება ელემენტების ამოღების მიზნით (ნარეცხი წყალი ნეიტრალური გამოტუტვის კოდში გადაიტუმება).

პერიოდული გამოტუტვის პროცესი მცირე მასშტაბების გამო ხშირად არ გამოიყენება, მაგრამ მას რიგი უპირატესობები გააჩნია. ერთი მათგანი ისაა, რომ თუთიის ფერიტი ($ZnO \cdot Fe_2O_3$), რომელიც ზოგჯერ კონცენტრატის გამოწვის დროს წარმოიქმნება, უხსნადია ჩვეულებრივი გამოტუტვის დროს. პერიოდული გამოტუტვის დროს კი შესაძლებელია ფერიტის შემცველი ნაშვნი გადასამუშავება ისე, რომ ფერიტიდან თუთია გამოიტუტოს. მეორე უპირატესობა გამოტუტვის პროცესის რეჟიმში ცვლილებების შეტანის შესაძლებლობას იძლევა იმ შემთხვევაში, თუკი მორიგ გადასამუშავებელ მასალაში შემადგენლობის ცვლილება შეინიშნება. პერიოდული მოქმედების პროცესში გადასამუშავებელი მასალა ფანჯვითი გამოწვის დროს მაკერ კონტროლს არ ექვემდებარება, რადგანაც ფერიტების წარმოქმნა კრიტიკული არ არის. ეს კი თუთიის კონცენტრატის მაღალ ტემპერატურაზე გამოწვის ტემპერატურის შემცირება აუცილებელი არ არის, რითაც გამოწვის პროცესის ეფექტიანობა იზრდება. წარმოქმნილი ფერიტების ნაწილი მაგნიტური სეპარაციით განიდევენება ნაშვნიდან და თუთიის ოქსიდური ნაწილისგან ცალკე გადასამუშავდება.

ფერიტული ნაწილის ერთსაათიანი გამოტუტვა მაღალი მჟავიანობის მქონე (H_2SO_4 -60 გ/ლ) 60°C-მდე გახურებულ ნამუშევარ ელექტროლიტში ხორციელდება. გამოტუტვის პროცესი მქსანიურ შემრევ კოდში ტარდება. გამოტუტვის შედეგად თუთიის ფერიტი იშლება. დაშლის პროცესში განთავისუფლებული რკინა MnO_2 -ის დამატებით იჟანგება. რკინის დაჟანგვის შემდეგ თავისუფალი მჟავას დახარჯვის მიზნით, ხსნარს უფერიტო თუთიის ოქსიდური ნაშვნი ემატება (მჟავა დამატებული ოქსიდთან თუთიის გამოტუტვის დროს იხარჯება). მჟავას შემცირებით ხსნარის pH-ის მარეგულირება იზრდება და ამით რკინისა და სხვა ლითონის დაჟანგული მინარეები ხსნარიდან გამოილექება. გამოლექვის შედეგად რკინის რაოდენობა ხსნარში 12-25 გ/ლ-დან 25 მგ/ლ-მდე მცირდება. მჟავას საბოლოო განეიტრალებისთვის ხსნარს კიდევ ერთხელ ემატება თუთიის ოქსიდური ნაშვნი ან კირი. (განეიტრალებული ხსნარის pH 5-5,2-ის ტოლია). ფერიტების დაშლით სითბო გამოიყოფა და ხსნარის ტემპერატურა 106°C-მდე იზრდება, რაც წყლის განსაზღვრული ნაწილის აორთქლებას

იწვევს. ხსნარის ზედაპირიდან წყლის ორთქლის გატანის დაქარების მიზნით, მექანიკური შემრევი კოდი ორთქლშემწეოვ სისტემასთანაა დაკავშირებული.

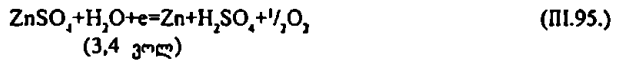
ხსნარის განეიტრალებისა და რკინის ბოლომდე გამოლექვის შემდეგ გამოტუტვის კოდიდან პულსა შემკრება კოდში თავსდება. შემკრები კოდიდან პულსა გაფილტრვის უბანზე გადადის, სადაც ფილტრაციით მყარი ნარჩენი და დედახსნარი ერომანეთისგან ცალკეედება. გაფილტრვის შედეგად მიღებული კეი ჯერ წყლით ირეცხება, შემდეგ კი სასქელვებელში თავსდება და წყლით გაზავენება განიცდის. სასქელვებელში დალექილი მასა ისევ იფილტრება და შვება.

შრობის შემდეგ მყარი ნარჩენი სასარგებლო ელემენტების (ტყეია, თუთია, ვერცხლი) ამოღების მიზნით სადნობ ქარხანაში იგზავნება გადასამუშავებლად.

გაფილტრული დედახსნარი, რომელიც 215 გ/ლ თუთიას, 600 მგ/ლ კადმიუმს, 300 მგ/ლ სპილენძს და 30 მგ/ლ კობალტს შეიცავს, ჯერ სუფთაედება მინარეებისგან და მხოლოდ შემდეგ იგზავნება ელექტროლიზის პროცესზე. პერიოდული გამოტუტვის პროცესში გამოყენებული დანადგარ-მოწყობილობები და ოპერაციები უწყვეტი გამოტუტვის პროცესის იდენტურია. ორივე შემთხვევაში (უწყვეტი და პერიოდული პროცესების დროს) გამოტუტვის პროცესების საეარაულო მარეენებლები აღებულია ბელგის ბაღენის ქარხნიდან.

4.2.2. თუთიას დალექვა ხსნარებდან

ოქსიდური ნაწივის გამოტუტვის შედეგად მიღებულ გასუფთავებული თუთიის სულფატური ხსნარიდან თუთიის დალექვა მხოლოდ ელექტროლიზის პროცესით ხორციელდება. ელექტროლიზორში (ელექტროლიტური აბაზანა) მოთავსებული თუთიის სულფატური ხსნარი ელექტროლიტის როლს ასრულებს:



მეაეიანობის ერთ დონეზე შეკავების მიზნით, ელექტროლიტს უწყვეტად ან დროგამომშვებით (24 საათში – ერთხელ) თუთიის სულფატური ხსნარი ემატება. ელექტროლიზის პროცესში ელექტროლიტის მეაეიანობა იზრდება. მაღალი მეაეიანობის (150-200 გ/ლ) ხსნარის ნაწილი აბაზანიდან გადმოიტუმბება და მეაევას შემკრება კოდში გროვდება. კოდიდან მეაევასხნარი გამოტუტვის საამქროში მიემართება (რეგენარაციისა და ზეღმორედ გამოყენების მიზნით). აბაზანიდან გადმოიტუმბული ელექტროლიტის დანაკლისი იესება ახალი ნეიტრალური ხსნარით, რომელიც გამოტუტვის საამქროდან გადმოიტუმბება. ნეიტრალური ხსნარის დამატებით ელექტროლიტის მეაეიანობა 115 გ/ლ-მდე ვარდება, რაც ელექტროლიზის ნორმალური სამუშაო რეეიმისთვის მისაღებია. განახლებულ ხსნარს (გოგორდმეაევას დაბალი შემცველობით) ელექტროლიტში თან შეატეს 100-დან 160 გ/ლ-მდე თუთია (თუთიის სულფატის სახით). ამ რაოდენობის მხოლოდ 50-70% თუთია გამოიყოფა ელექტროლიტური ხსნარიდან და ლითონის სახით ილექება კათოდზე. გადარიბებული ხსნარი, რომელშიც თუთიის რაოდენობა 50 გ/ლ-მდეა შემცირებული (ხსნარი მაღალი მეაეიანობით გამოირჩევა), გამოტუტვის საამქროში იგზავნება რეგენარაციაზე.

აბაზანა ბეტონისგან მზადდება და შიგნიდან ტყეით იფარება. აბაზანის ტიპური ზომებია: სიგრძე – 4,50, სიგანე 0,85 და სიღრმე – 1,70 მ. აბაზანები კასკადურადაა განლაგებული და ხსნარი ერთი აბაზანიდან მეორეში თეითიონებით გადადის. ბოლო აბაზანიდან ხსნარი ღარში მიემართება. სააბაზანო საამქროში დაახლოებით 300-დან 400 აბაზანაა განლაგებული. აბაზანები ორ ან ოთხ ჯგუფად იყოფა. ყოველ ჯგუფს თავისი სტაციონარული ელექტრომეკბავი სისტემა გააწნია. მართებული მიღები და ღარები მეაეამდგრადი მასალით (ტყეია, პოლიეთილენი) არის ამოგებული. ტემპერატურის რეგულირების მიზნით ყოველ აბაზანაში ჩამაგრებულია წყლით საციებელი, ტყეისგან დამზადებული კლანკილა. ელექტროლიტის ტემპერატურა 35-45°C-ის ზღვრებშია შეკავებული (ტემპერატურის გაზრდით მინარეები უარყოფით ზემოქმედებას ახდენს ელექტროლიზის პროცესზე).

ტყეისგან დამზადებული ანოდი (1%-მდე ვერცხლს შეიცავს), რომელიც 1,25 სმ-ის სისქისაა, ირეტულია ელექტროლიტურ ხსნარში. აღუმინის ფურცლისგან დამზადებული 0,6 სმ-ის სისქის

კათოლიც ინერტულია. ანოდისა და კათოდის ცენტრები აბაზანაში 9 სმ-ით არის დამორებული ერთმანეთისგან. აბაზანაში ჩაკიდებული ანოდების რაოდენობა ერთით მეტია კათოდების რაოდენობაზე (46 ანოდი და 45 კათოდი). უფრო მცირე ზომის აბაზანაში 28 ანოდი და 27 კათოდი ჩაკიდებული. უმეტეს ქარხნებში დენის სიმჭიდროვე 1 მ² კათოდის ფართობზე 200-400 ამპერს შეადგენს. ზოგიერთ ქარხანაში კი – დენის სიმჭიდროვე ბევრად უფრო დიდია ამპერაჟით გამოირჩევა. დენის სიმჭიდროვის გაზრდით ელექტროლიზის პროცესი ყოველ აბაზანაში ძაბვის მომატებით უნდა წარიმართოს, ელექტროლიტის შეაეიანობა და საცივებელი წყლის მოცულობა შესაბამისად უნდა გაიზარდოს. დენის სიმჭიდროვის გაზრდით კათოდზე თუთიის გამოლექვის სიჩქარე მატულობს და მიმოქცევაში უფრო ნაკლები რაოდენობის ხსნარი მონაწილეობს. დენის სიმჭიდროვის შერევა ცალკეული პროცესისთვის დამოკიდებულია ბალანსზე, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ყველა ზემოთ აღნიშნული ფაქტორი.

თუთიის სულფატის ელექტროლიზის ჩასატარებლად ძაბვა თეორიული გათვლებით 2,35 ვოლტ. შეადგენს, მაგრამ პრაქტიკაში ელექტროფრედში დენის კარგეისა და გაუონეის გამო 3,25-3,5 ვოლტია საჭირო. თუთიის სულფატის დაშლის ძაბვა უფრო მეტია, ვიდრე წყალბადისა და ამიტომ თუთიასთან ერთად კათოდზე წყალბადიც გამოიყოფა.

თუთიის ელექტროლიზის პროცესში გამოსავალი, დენის მიხედვით 87-დან 94%-ის ფარგლებში იცვლება. მისი შემცირების ძირითად მიზეზს ელექტროლიტში შემავალი მინარეგები წარმოადგენს. მინარეგების მცირე რაოდენობაც კი კათოდზე გამოლექილი თუთიის დაშლას ან მის არასწორ დაუენას იწვევს. ამიტომ გამოტუტვისა და ელექტროლიტური დალექვის ეტაპებს შორის ხსნარი მინარეგებისგან მაქსიმალურად უნდა გასუფთავდეს.

კათოდზე დაფენილი თუთიის აცლა, როგორც წესი, 24-48 საათში ერთხელ ხდება. ფენის აცლა ხელის იარაღების საშუალებით ხორციელდება. კათოდური თუთია საკმაოდ მაღალი სისუფთოისაა; მასში თუთიის შემცველობა 99,995%-ს აღწევს.

ელექტროლიზის აბაზანა კვირაში ერთხელ სუფთავდება ნალექისგან, რომელიც ძირითადად მაგნიუმის დოქსიდისგან შედგება. მაგნიუმის დოქსიდი, რომელიც გამოტუტვის პროცესიდან მოჰყვება ხსნარს, ანიოდს ეფინება და აბაზანის ძირში გროვდება. ამიტომ აბაზანის ამოწმენდასთან ერთად წყლის ძლიერი ნაკადით ანოდს ჩამოირეცხება.

4.3. თუთიის რაფინირება

თუთიის ნედლეულის პირომეტალურგიული და ჰიდრომეტალურგიული გადამამუშავების შედეგად მიღებული პროდუქტი შესაბამისად 97,5-98,7 და 99,9-99,995% თუთიას შეიცავს. ჰიდრომეტალურგიულთან შედარებით, პირომეტალურგიით მიღებული დაუხალასებელი თუთია გაცილებით დაბალი ხარისხისაა და ამიტომ იგი თითქმის მთლიანად (ძალზე მცირე რაოდენობის გარდა), რაფინირებას ექვემდებარება.

კათოდური თუთია, რომელიც ჰიდრომეტალურგიული ხერხით მიიღება, საკამოდ მაღალი ხარისხისაა. მასში ძირითადი მინარეგების სახით შუდის ტყვია, რკინა, კადმიუმი, სპილენძი და ვერცხლი. ტყვია მთავარ მინარეგად ითვლება და იგი, როგორც წესი, 20-დან 25 გ-მდე ერთ ტონა თუთიაში. ელექტროლიტური თუთიის უმეტესი ნაწილი სწორკუთხა ზოდების (წონით 25 კგ შეადგენს) სახით მიეწოდება მომხმარებელს. ზოდები გამდნარი კათოდური თუთიის ბოყვებში ჩამოსხმით მზადდება. კათოდური თუთიის დნობა ინდუქციურ ან მცირე ზომის ამრეკლ ლუმენში ტარდება. დნობის დროს კათოდური თუთიის ხარისხი უზმინველოდ უმჯობესდება. დნობის პროცესში გამდნარი თუთიის დასნობებით 2,5% იფინება და თუთიის ოქსიდში გადადის. თუთიის ოქსიდი დროისის სახით გადმოიღება თუთიის ნადნობის ზედაპირიდან და გამოტუტვის საამქროში იგზავნება გადასამუშავებლად. თუთიის ოქსიდის ის ნაწილი, რომელიც აირებში გადადის, მტვერდამჭერში გროვდება და ისიც გამოტუტვის საამქროში მიემართება.

პირომეტალურგიული ხერხით მიღებული თუთია მხოლოდ ცეცხლოვან რაფინირებას ექვემდებარება. მისი ელექტროლიტური რაფინირება შესაძლებელია, მაგრამ ელექტროენერჯის მაღალი ხარჯის გამო, ელექტროლიზი თუთიის რაფინირების პრაქტიკაში არ გამოიყენება.

თუთიის ცეცხლოვანი რაფინირება ორი გზით შეიძლება განხორციელდეს – ფრაქციული გამოხდით (რექტიფიკაციით) და ნაღობის ვაცივებით (ლიკვაციით). რექტიფიკაცია (რექტიფიკაციის იდეა გადმოღებულია ქიმიური ტექნოლოგიიდან) ლითონის ფრაქციულ აორთქლებას (დისტილაციას) და ორთქლის ფრაქციულ კონდენსაციას ითვალისწინებს. რექტიფიკაციით რაფინირების დროს მაღალი ხარისხის თუთიასთან ერთად მიიღება ტყეითა და კადმუმით მდიდარი ნახევრად პროდუქტები, საიდანაც ამ ლითონების ამოღება გაადვილებულია.

ლიკვაცია ტემპერატურის ვარდნის დროს მინარევების ხსნადობის შემცირებით ძირითადი ლითონის გასუფთავებას ითვალისწინებს. თუთიის ლიკვაციით რაფინირების დროს მხოლოდ ტყეისა და რკინის განდენაა შესაძლებელი.

4.3.1. თუთიის ცეცხლოვანი რაფინირება და კადმუმის თანაური ამოღება

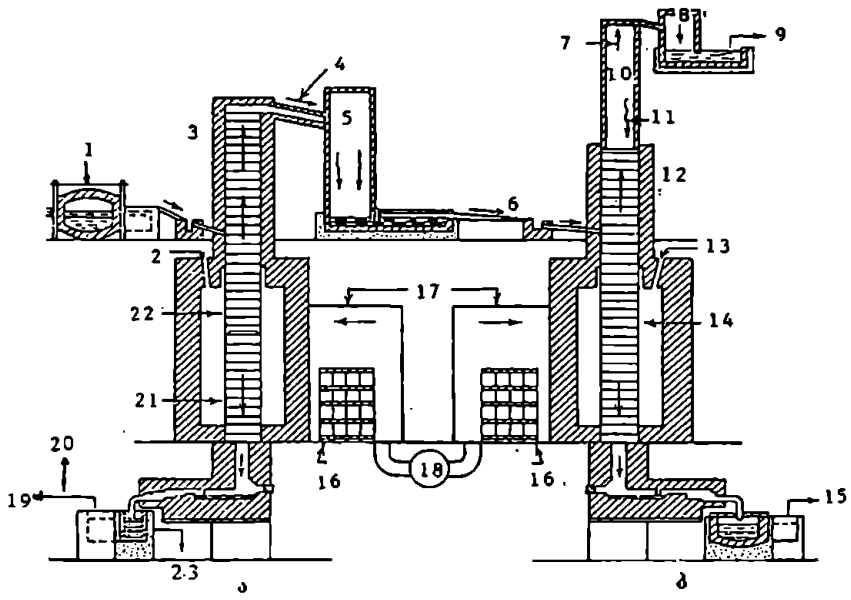
თუთიის ვერტიკალური ხარექტიფიკაციო (ფრაქციული დისტილაციის) დანადგარის სქემა ნაჩვენებია III.60. სურათზე (პროცესი ნოუ-ჯერსის კომპანიის მიერ დამუშავდა). თუთიის რაფინირების დროს თუთიის მადნების თანამდევი ელემენტის, კადმიუმის თანაური ამოღება ხდება (თუთიის ნედლეული კადმიუმის მიღების ძირითად წყაროს წარმოადგენს).

თუთიის, ტყეისა და კადმიუმის რექტიფიკაციით განცალკევება შესაძლებელია, ვინაიდან მათი დუღილის ტემპერატურები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან (დუღილის ტემპერატურება: Pb-1620°C, თუთიის – 907°C და კადმიუმის – 778°C). ორ კომპანიის (სვეტბიანი) ვერტიკალური დანადგარის (სურ. III.60.) პირველ რექტიფიკაციულ კოშკში (სურ. III.60.ა) 1220°C-ზე თუთია და კადმიუმი ორთქლდება, ტყეია გამძნარი მასის სახით რჩება, ხოლო შემდეგ მეორე კოშკში (სურ. III.60.ბ) 850°C-ზე თუთია გამძნარი მასის სახით ცალკეედება კადმიუმის ორთქლისგან.

რექტიფიკაციის დანადგარის პირველ კოშკში უწყვეტ ნაკადად ჩადინება დაუხალასებელი თხევადი თუთია შემკრები ლუმელიდან, რომელიც ვერტიკალური რეტორტის ან ელექტროთერმული ლუმელის კონდენსატორიდან გადმოსული თუთიის ნაღობით ივსება. დღე-ღამეში რექტიფიკაციის დანადგარში 25 ტ რეტორტული თუთია და 15 ტ რევენერირებული თუთია (ჯამში 40 ტ თუთია) გადამუშავდება.

თუთიის რევენერაცია ხდება ნარევიდან, რომელიც ლიკვაციას ექვემდებარება. ნარევი, რომელშიც თუთიის გარდა ტყეია, რკინა და სხვა დუღილის მაღალი ტემპერატურის მქონე მინარევები შედის, პირველ კოშკში წარმოიქმნება და მის ძირში გროვდება (სურ. III.60.ა). ძირიდან ნარევი გადადის ორკამერაან ქვაბში, რომელშიც თუთია ლიკვაციით ცალკეედება. პირველ კამერაში, რომელიც ცივდება, მაღალი სიმჭირის მქონე ტყეის ფენა და თუთია-რკინის დროსი გამოიყოფა, ხოლო გამოთავისუფლებული თუთიის ზედა ფენა მეორე კამერაში გადაედინება. მეორე კამერიდან თხევადი თუთია გადადის დაუხალასებელი თუთიის შემკრებ ლუმელში, საიდანაც თუთიით იკვებება პირველი (სურ. III.60.ა.) ხარექტიფიკაციო კოშკი.

ხარექტიფიკაციო დანადგარის თითოეულ კოშკში ერთმანეთზე დალაგებული სილიციუმის კარბიდისგან დამზადებული სწორკუთხა ფორმის 50 სადისტილაციო თევში (სიგრძე – 1,22, სიგანე – 0,61 მ და სიღრმე 15 სმ). თევშებს შორის ღრიჭებიდან ორთქლის გაპარვის თავიდან აცილების მიზნით, თევშები ერთმანეთთან მჭიდროდაა შეკავშირებული. თევშებში შეკავებულია თუთიის ნაღობი, რომლის სიღრმე რეველირდება გადასასვლელი ზღუდრით, რომელიც თევშის ბოლოში არსებული ნაღობის ჩასასვლელი ხერხლის (დიამეტრი 7,5 სმ ტოლია) გარშემოა შემორტყმული (სურ. III.61.). თევშები ერთმანეთზე ისეა დალაგებული, რომ ზედა და ქვედა თევშის ხერხლები ერთმანეთის მიმართ საწინააღმდეგო მხარეებზეა განლაგებული. ხერხლების ამდაგვარი განლაგება თევშიდან თევშზე ჩამავალ ნაღობს ზიგზაგურ მიმართულებას აძლევს, რაც სითბოს გადაცემას აადვილებს და ნაღობის აქტიურ ზედაპირს ზრდის. ამით კი ნაღობის ზედაპირიდან თუთიის აორთქლების პროცესი ჩქარდება. ზეითევენ ამაველი ორთქლისა და ქვეითევენ ჩამავალი ნაღობის ნაკადები ერთი და იგივე გზას მიჰყვება, რითაც ორთქლისა და ნაღობის ერთმანეთთან შეხება უმჯობესდება და ამავე დროს ზეითევენ ამაველი ორთქლი ნაღობის შემხვედრი ნაკადით ირეცხება.

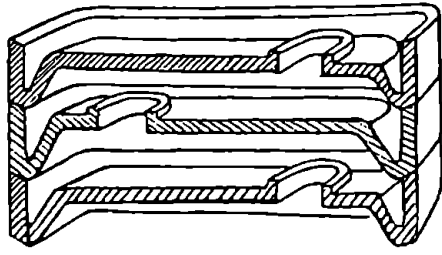


სურ. III.60. თუთიის ცეცხლოვანი რაფინირების სარექტიფიკაციო დანადგარის სქემა.

1 დაუსალასებელი თუთიის შექმრები ღუმელად; 2. ბუნებრივი აირი; 3. ორთქლის უკუდენის სექცია; 4. თუთიისა და კადმისუმის ორთქლი; 5. კონდენსატორი; 6. თუთიისა და კადმისუმის თხევადი ნაღვლების ნარევი; 7. ორთქლი; 8. კონდენსატორი; 9. თუთიისა და კადმისუმის შენადნობები; 10. კონდენსატორი; 11. ნაღვლი; 12. ორთქლის დაგროვების სექცია; 13. ბუნებრივი აირი; 14. წყის კაპერა; 15. შალაილი ხარისხის თუთია; 16. პარის ნაკადი; 17. სითბოს რეკუპერატორები; 18. გამონაბოლქვი აირი; 19. ლიკვაციით რეგენერირებული თუთია; 20. რაფინირებაზე; 21. ბოილერის სექცია; 22. წყის კაპერა; 23. ტყევისა და რკინა-თუთიის ღრიახა.

კომპის ქვედა ნაწილის ორი მებუთელი ჩაშვებულია აირით სახურებელ ღუმელში, რომელიც წეის აირით სახურებელი რეკუპერატორით არის აღჭურვილი. თანაბარი ტემპერატურის მისაღწევად ღუმელის მთელი სიგრძეზე, სხვადასხვა სიმაღლეზე ჩადგმულია სათბობის (ბუნებრივი აირი) წეის საში მოწყობილობა.

თუთიის დისტილაციის პროცესი იწყება პირველი კომპიდან ანუ ე.წ. „ტყევის კომპიდან“, რომელიც შემკრები ღუმელიდან გამომაველი დაუსალასებელი თხევადი თუთიის (რეტორტული მეთოდით მიღებული და რეგენერირებული) უწყვეტი ნაკადით იკვებება. თხევადი თუთია სახურებელი ღუმელის ზეით განლაგებული ორი ან სამი თუთის სიმაღლის დონიდან ჩაედინება ტყევის კომპში (სურ. III.60, ა).



სურ. III.61. თუთიის რექტიფიკაციით რაფინირების სადისტილაციო თუფში.

კომპში განლაგებული თუფები ცარიელი რომ არ დარჩეს, ან არ გადახურდეს, კომპში ჩამავალი თუთიის ნაღვლის სიჭარბე ისეა დარეგულირებული, რომ ყველა თუფში ლითონით ბოლომდე ივსება და თუფიდან გამომაველი ლითონის ნაღვლის უწყვეტი ნაკადი მომდევნო ქვედა თუფში ჩადის.

სახურებელ ზონაში (ტემპერატურა 1150-1200°C შეადგენს) განლაგებულ თუფებს ანუ „სადისტილაციო თუფებს“, სხვა თუფებისგან

განსხვავებით, პერიფერიული ღრმულები გააჩნია და მათი ძირის ცენტრალური ნაწილი ამაღლებულია (სურ. III.61.). ასეთი ფორმის თუფში თუთიის ნაღრობს მაქსიმალური სიბოხის რაოდენობა მიეწოდება გახურებული თუფის კედლებიდან და, ამასთან ერთად, მასში უფრო მეტი რაოდენობის ნაღრობის შეკავება შესაძლებელი. გახურების ზონის ზეით განლაგებულ ბრტყელობრიან თუფებს, ანუ ე.წ. „ორთქლის უკუდენის თუფებს“ პერიფერიული ღრმულები არ გააჩნია და ამ თუფებში უფრო ნაკლები რაოდენობის ნაღრობა შეკავებული. ეს თუფები მოქცეულია გაცივების ზონაში (რუსულ-ლოტრატურაში ფლემმატორის სახელით არის ცნობილი), სადაც ტემპერატურა რეგულირდება. გაცივების ზონაში შესვლისას გახურების ზონიდან აორთქლებული ორთქლი ნაწილობრივ განიცდის კონდენსაციას (ძირითადად ტყვიის ორთქლი) და თხევადი ლითონის სახით გროვდება ორთქლის უკუდენის (გაცივების) თუფებში, საიდანაც სითხე თუფებიდან თუფზე გადასვლით ქვევითკენ ჩაედინება.

„ტყვიის კოშკიდან“ წარმატალი ორთქლი კოშკში შემავალი თუთიის ორ მესამედსა და მთელ კადმიუმს შეიცავს. ამ შენადნობის ორთქლი ტყვიის კოშკიდან კონდენსატორში გადადის და თხევადი მასის სახით კონდენსირდება. კონდენსატორიდან სითხე გადადის მეორე, ე.წ. „კადმიუმის კოშკში“.

კონსტრუქციითა და მუშაობის პრინციპით „კადმიუმის კოშკი“ ძირითადად „ტყვიის კოშკის“ მსგავსია. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ „კადმიუმის კოშკში“ ტემპერატურა შედარებით დაბალია და ყველა თუფში (კოშკის მთელ სიგრძეზე) ბრტყელობრიანია (მსგავსად „ტყვიის კოშკის“ „ორთქლის უკუდენის თუფებისა“). ეს განსხვავებები იმით არის განპირობებული, რომ „კადმიუმის კოშკში“ დუღილის დაბალი ტემპერატურის მქონე კადმიუმის მხოლოდ მცირე რაოდენობა ექვემდებარება განდენას. აქედან გამომდინარე, „ტყვიის კოშკისგან“ განსხვავებით, სადაც კოშკში შესული თუთიის უმეტესი ნაწილი ორთქლდება, „კადმიუმის კოშკში“ კადმიუმის ორთქლის მდგომარეობაში გადასაყვანად უფრო ნაკლები სიმძლავრეება საჭირო. ორთქლის საკმარისი უკუვების მიზნით, „კადმიუმის კოშკის“ თუფების თავზე დადგმულია კონდენსატორი. ამ კონდენსატორში გავლის შემდეგ ორთქლი მეორე, უფრო მცირე ზომის კონდენსატორში შედის და თუთია-კადმიუმის თხევადი შენადნობის სახით კონდენსირდება. შენადნობი, რომელიც 15% კადმიუმს შეიცავს, დღე-ღამეში 73 კგ-ის ოდენობით წარმოიქმნება.

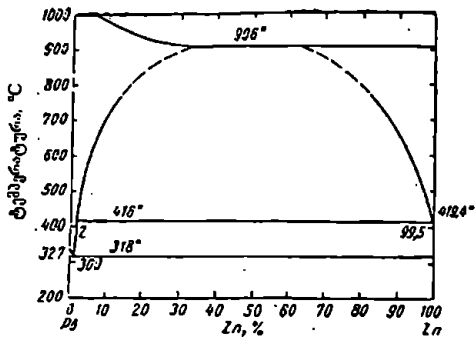
ლითონური თუთია, რომელიც „კადმიუმის კოშკის“ ძირიდან გამოედინება, განსაკუთრებული სისუფთავესაა (99,995% Zn).

თუთიას ლიკვაციას პროცესში, რომელიც რეტორტული მეთოდით მიღებული დაუხალასებელი თუთიის რაფინირებას ითვალისწინებს, მხოლოდ ტყვია და რკინა განიდენება, ხოლო კადმიუმის მინარევი მთლიანად თუთიაში რჩება.

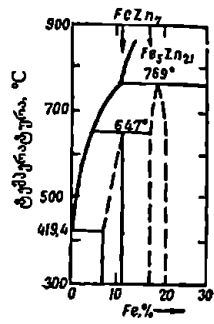
ლიკვაციის პროცესში თუთია ჯერ ღნობას განიცდის, ხოლო შემდეგ ნაღრობი თუთიის გამყარების წერტილიდან მიახლოებულ ტემპერატურამდე გაცივებას ექვემდებარება. ტემპერატურის ვარდნით ტყვიისა და რკინის ხსნადობა თუთიაში მცირდება.

თუთიის ლიკვაციური რაფინირების დროს ტყვიისა და რკინის განდენის ხარისხის წინასწარი განსაზღვრა Pb-Zn და Zn-Fe მდგომარეობის დიფერენციალური შეიძლება (სურ. III.62. და III.63.).

ტყვია-თუთიის მდგომარეობის დიფერენციალური (სურ. III.62.) ჩანს განსაზღვრული ხსნადობის არე, რომლის ადგილმდებარეობიდან გამოიშინარეობს, რომ ერთგვაროვანი შენადნობები, რომლებიც 1,5%-ზე მეტ ტყვიას შეიცავს, გაცივების დროს განშრევებას განიცდის. ტემპერატურის 408°C-მდე დაკარდის შემთხვევაში ზედა ფენაში 1,5% Pb-ია და 98,5% Zn, ხოლო უფრო მძიმე, ქვედა ფენაში 98% Pb და 2% Zn. პრაქტიკულად კი, შენადნობის გაცივების საბოლოო ტემპერატურა რამდენიმე მაღალია, რაც გამოირიცხავს ნაღრობის გამყარების დაწყებას (ტემპერატურა 420-430°C-ის ფარგლებში); შესაბამისად ქვედა ფენაც უფრო გამზიდრებულია თუთიით. იგი შეიცავს 90% Pb და 10% Zn. ზედა თუთიის ფენა პრაქტიკულად ტყვიით უფრო ღარიბი გამოდის, ვიდრე ეს მდგომარეობის დიფერენციალური გამომდინარეობს; მასში რჩება არა უმეტეს 0,7-0,8% Pb. ეს იმით აიხსნება, რომ ლითონის დიდი აბაზანა არათანაბრად ცივდება, მის ზოგიერთ უბანზე ტემპერატურა სუფთა თუთიის კრისტალიზაციის დაწყების ტემპერატურამდე ვარდება და თუთიის ამორტივებული კრისტალებით ზედა ფენის გახურება ხდება, რის შედეგადაც მასში ტყვიის კონცენტრაცია მცირდება.



სურ. III.62. ტყვია-თუთის მდგომარეობის დიაგრამა.



სურ. III.63. თუთია-რკინის მდგომარეობის დიაგრამა.

თუთიაში რკინის შემცველობა იშვიათად აღწარბებს 0,2-0,3%-ს. ამიტომ გამოყოფილი მყარი ფაზის შემადგენლობა შეესაბამება $FeZn_7$ ქიმიურ ნაერთს (სურ. III.63.). ნაერთი ($FeZn_7$) თუთიაზე უფრო მძიმეა და ამიტომ იგი აბაზანის ფსკერზე ეშვება. ამ გზით თეორიულად შესაძლებელია მთელი რკინის განდევნა; პრაქტიკულად კი მისი შემცველობა 0,02-0,03%-დე მცირდება.

ლიკვაციური რაფინირების პრაქტიკაში ტყვიისა და რკინის განდევნის პროცესები ერთ ოპერაციაშია შეთავსებული. ამ ოპერაციის ჩასატარებლად თუთიის შოთები გადნობას ექვემდებარება საშუალო მოცულობის ამრეკლ ლუმელში. განშრეების საჭირო სისრულის მისაღწევად თხევადი აბაზანის დაყენება 420-450°C-ზე 1-2 დღე-ღამე ვრბელდება. ქვედა ფენაში თავს იყრის ტყვია-თუთიის შენადნობი, ხოლო ქვედა და ზედა (თუთიის ფენა) ფენებს შორის წარმოიქმნება $FeZn_7$ -ის კრისტალებისგან შემდგარი, ფაფისებრი შუაშრე, რომელიც მყარი თუთიის სახელწოდებით არის ცნობილი. ლუმელის უკანა ტორსულ გვერდზე განლაგებული ზვრელიდან ზედა ფენის $1/3$ -ის ოდენობით გამოშვებისა და ბოყვებში ჩამოსხმის შემდეგ აბაზანა დაუხალასებელი თუთიის ახალი პორციით ივსება. მყარი თუთია და ტყვიის შენადნობი პერიოდულად განიდევნება ლუმელიდან. მყარი თუთია ნედლეულის პირობეტალურგიული გადამუშავების საამქროში იგზავნება, სადაც ნედლეულისგან შემდგარ კაზმთან ერთად რეტორტებში იტვირთება გადასამუშავებლად. ტყვიის შენადნობი, რომელიც 93-94%Pb-სა და 4-6%Zn შეიცავს, ტყვიის ქარხანაში იგზავნება, სადაც იგი ტყვიის კეთილშობილი ლითონებისგან რაფინირების პროცესში გამოიყენება.

თავი 5. დარიშხანის პირობეტალურგია

დარიშხანი სუფთა სახით პირველად 1694 წ. იქნა მიღებული (შროედერის მიერ). მიუხედავად ამისა, ვერ კიდევ უძველეს დროში დარიშხანის ზოგიერთი ნაერთი კარგად იყო ცნობილი. დარიშხანის ბუნებრივი გოკირდოვანი ნაერთები (მინერალები), რომლებიც ჩვენ დროში რეალგარისა (AsS) და აურიპიგმენტის (As_2S_3) სახელწოდებითაა ცნობილი, არისტოტელეს მიერ მოიხსენიება. დარიშხან-შემცველი მადნების გახურების პროცესი ნახსენებია დიოსკორიდის მიერ (I საუკ. ჩ.წ.წ-ით). დარიშხან-შემცველი მადნების გახურების დროს წარმოიქმნილი დარიშხანის ოქსიდის (As_2O_3) აქროლები შეიძინებოდა ევროპელების მიერ შუა საუკუნეებში. თეთრი ბოლის სახით პაერში გაფრქვეულ დარიშხანის ოქსიდის (As_2O_3) ორთქლს, რომელიც ფერადი ლითონების მადნების გადამუშავების დროს გამოიყოფოდა, მადნის ბოლი შვარქვეს.

დარიშხანის ნაერთებისადმი განსაკუთრებულ ინტერესს იჩენდნენ ალქიმიკოსები. დაინტერესება იმით იყო განპირობებული, რომ დარიშხანი გოკირდითან და ევრცხლისწყალთან ერთად ითვლებოდა სტიქიად (ელემენტად) და ყველა ლითონის შემადგენელ ნაწილად განიზილებოდა. დარიშხანის ზემოქმედებით სპილენძის თეთრ ფერში გადასვლა, ალქიმიკოსების დასკვნით, სპილენძის ევრცხლად გარდაქმნას ნიშნავდა.

საქართველოს ტერიტორიაზე ნაპოვნი ლითონური ინვენტარით მდიდარი არქეოლოგიური ძეგლებიდან ჩანს, რომ ჯერ კიდევ უძველეს დროში (IV-II ათასწლეულები ჩვ-წა-მდე) სპილენძის საგნები დარიშხანის შეიცავდა. დარიშხანი სპილენძის მაღალი ღირებულების წყალობით, უკვე სამაშობო საქმის დაწყების ეტაპზე უძველესი ხელოსნები არა მარტო უზარალო ნაშაღის ჩამოსხმას ახერხებდნენ, არამედ პრიმიტიული ფორმის საგნების ჩამოსხმაც შეეძლოთ.

ადრინდელი პერიოდის ნაკეთობასთან შედარებით, საქართველოს შუა პერიოდის ბრინჯაოს ნაკეთობა დარიშხანის მაღალი შემცველობით (19%-მდე) გამოირჩევა და საყარაულოა, რომ დარიშხანი, იმ დროს, ხელოვნურად შექმნიდათ შენადნობში. ეს დასტურდება საქართველოში სპილენძისა და თითბერის გამოდნობის პროცესების (XVII-XVIII სს.) აღწერით, რომელიც ქართლის მეფის ვახტანგ VI ხელნაწერებშია მოყვანილი. აღწერის მიხედვით, შენადნობის მისაღებად საჭიროა სამ მისხალ სპილენძს ან თითბერს დამატოს ბურაკი და ნარევი ადუღდეს. ადუღებულ ნარევს უნდა დაემატოს ერთი მისხალი დარიშხანი და ნარევის დუღილი დარიშხანის წვის ბოლომდე უნდა გაგრძელდეს, რის შემდეგაც ლითონის შენადნობი უნდა გადმოსხას. სპილენძი უფრო მოთეთრო ხდება, ხოლო თითბერი უფრო ღია ფერს ღებულობს.

როგორც ზემოთ მოყვანილიდან ჩანს, საყარაულოა, რომ უძველეს დროში დარიშხანი, როგორც ელემენტი, არ იყო ცნობილი. ცნობილი იყო მხოლოდ დარიშხანის ყანგაბადთან შენაერთი (As_2O_3), რომელიც ადვილად მიიღებოდა დარიშხანის მინერალების შემცველ ზოგიერთი ლითონის (სპილენძი, ტყვია, კალა და სხვა; ამ ლითონების მადნებში, როგორც წესი, დარიშხანი თანამდევი ელემენტის სახითაა წარმოდგენილი) მადნების პაერზე უზარალო გახურებით. დარიშხანის ეს ოქსიდური ნაერთი, ისევე როგორც სხვა მისი ზოგიერთი ნაერთიც (დარიშხანის ნაერთი ქლორთან, წყალბადთან და სხვა ელემენტებთან), ძლიერ მოშაშავე ნივთიერებებს განეკუთვნება. იგი, როგორც ძლიერმოშაშევი საწამლავი, ფართოდ იყო გავრცელებული ძველი დროის ბევრ ქვეყანაში და მისი სახელწოდებაც მრავალ ენაზე დარიშხანის მომწამლელი თვისებიდან გამომდინარეობს.

ამას ადასტურებს ის, რომ ქართულში დარიშხანი – „შხამის დარი“ – დაწინაურდა, რუსულში *Мышьяк* – „Мышьяк“ – დაწინაურდა (თავის საწამლავი), ბერძნულში *Arsenicum* – „Arsen“ – დაწინაურდა (ძლიერად მოშაშევი) და ინგლისურში *Arsenic* ბერძნულიდან იქნა გადმოტანილი და ა.შ. როდესაც ოქსიდში ყანგაბადთან შეკრული ელემენტი აღმოაჩინეს, დარიშხანის სახელწოდება (აგრეთვე *Мышьяк*, *Arsenicum* და *Arsenic*-ის სახელწოდებები) მასზე გავრცელდა. ამრიგად, ელემენტმა, რომელიც ელემენტების პერიოდულ სისტემაში 33-ე ატომური ნომრით არის წარმოდგენილი, დარიშხანის სახელი დაიმკვიდრა.

დღესაც კი, ფართო საზოგადოებაში დარიშხანის სახელწოდების ქვეშ თეთრი ფერის დარიშხანის მოშაშევი ოქსიდი იგულისხმება.

თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნიკურ და საწარმოო ორგანიზაციებში ელემენტური დარიშხანი (ლითონური ბზინვარებით გამოირჩევა) ლითონური დარიშხანის სახელს ატარებს, ხოლო დარიშხანის მოშაშევი ოქსიდი „თეთრი დარიშხანის“ სახელწოდებით არის ცნობილი.

მე-20-ე საუკუნის დასაწყისში ლითონური დარიშხანის გამოყენება შეზღუდული იყო (გამოიყენებოდა, როგორც მხოლოდ დანამატი ტყვიაზე), ხოლო თეთრი დარიშხანის წარმოება მნიშვნელოვნად ფართოვდებოდა. მაგალითად 1913-დან 1922 წ. ჩათვლით თეთრი დარიშხანის წარმოება იაპონიაში, ავსტრიაში, აშშ-ში, კანადაში, გერმანიაში, შესაბამისად გაიზარდა 71; 63; 4,2; 1,5; 1,2-ჯერ. რუსეთში პირველ მსოფლიო ომამდე დარიშხანი და მისი ნაერთები არ იწარმოებოდა. მათი შემოტანა საზღვარგარეთიდან ხდებოდა. კაპიტალისტურ სამყაროში 1965 წ. თეთრი დარიშხანის წარმოება საკმაოდ მაღალ დონეზე იყო (60 ათასი ტონა), ხოლო 60-იანი წლების ბოლოს დარიშხანის შემცველ მსხამქიმიკატებზე მოთხოვნის შემცირების (ნაკლებად ტოქსიკური ორგანული პესტიციდების წარმოების გაზრდის გამო) გამო, მისი გამოშვება მკვეთრად შემცირდა. სამოცდაათიან წლებში (1970 წ.) სოფლის მეურნეობაში დარიშხანის შემცველი ნაერთების გამოყენების შემცირებასა და გარემოში გატყუყვიანებასთან ბრძოლის გაძლიერებასთან დაკავშირებით თეთრი დარიშხანის წარმოება სულ უფრო და უფრო მცირდებოდა, ხოლო ლითონური დარიშხანის გამოყენების სფეროები ლითონური შენადნობების დამზადების საქმესა და ელექტრონულ მრეწველობაში ფართოვდებოდა.

უფრადი ლითონების შენადნობების წარმოებაში ლითონური დარიშხანის გამოყენების სფეროების გაფართოება იმით არის მნიშვნელოვანად განპირობებული, რომ მისი ლითონებთან შედნობა ადვილად

ხორციელდება. საერაულოა, რომ ლითონური დარიშხანი პირველად ტყვიანზე დანამატის სახით იქნა გამოყენებული. ლითონური დარიშხანის დამატებით (1%-მდე) ტყვიისგან ჩამოსხმული საფანტის სისალე იზრდება. ტყვიის შენადნობებში შემავალი დარიშხანი ხელს უწყობს სტრუქტურის დაწვრილმანებას, ამცირებს სეგრეგაციულ მოვლენებს და შენადნობის სისალეს ზრდის. კალის საჩრდილის შემცველად ფოლადისთვის რეკომენდებულია ტყვიის საჩრდილი, რომელიც 85% Pb, 12% Sb და 0,5% As შეიცავს. განთუთიებასთან ბრძოლისა და კოროზიული მდგრადობის გაზრდის მიზნით, ჩვეულებრივ და ლეგირებულ თითბურს დარიშხანი ემატება. დარიშხანის დამატებით იზრდება აგრეთვე მდგრადობა თითბურის მიღებისა, რომლებიც კონდენსატორების დასაშლად გამოიყენება. დარიშხანის დამატება სპილენძზე მცირე რაოდენობით (0,15-0,45%) ზრდის სპილენძის სითბურ მდგრადობას („საცეცხლე სპილენძი“). ბრინჯაოზე (რომელიც 18-25% Pb შეიცავს) დარიშხანის დამატებით (2-4% As) შენადნობის მექანიკური თვისებები უმჯობესდება.

ლითონური დარიშხანის ფუძეზე სინთეზირებული ნაერთები $A_{III}B_V$ ტიპის (არსენიდები, GaAs, InAs) ნახევრად გამტარებს განეკუთვნება. ამ ტიპის ნაერთებში A_{III} -ის (პერიოდული სისტემის III ჯგუფის ელემენტი) ყოველ ატომზე B_V -ის (პერიოდული სისტემის V ჯგუფის ელემენტი) ერთი ატომი მოდის; ამასთან, კრისტალურ გიოსოში ეს ატომები ერთმანეთს ენაცვლება. დადგენილია, რომ ამ ნაერთებისა და პერიოდული სისტემის IV ჯგუფის ნახევრად გამტარი ელემენტების (გერმანიუმი და სილიციუმი) კრისტალურ სტრუქტურებსა და ელექტრონულ თვისებებს შორის მსგავსებაა.

მიუხედავად ამისა, III-V ნაერთებს IV ჯგუფის ნახევრად გამტარებისგან განსხვავებული დამახასიათებელი თვისებებიც გააჩნია. IV ჯგუფის ელემენტების კრისტალბთან შედარებით III-V ნაერთების კრისტალბები უფრო დაბალი რიგის სიმეტრიით გამოირჩევა. გარდა ამისა, III-V ნაერთების ნიოსის კვანძებში განლაგებულია დადებითი და უარყოფითი იონები მაშინ, როდესაც IV ჯგუფის ნახევრად გამტარების გიოსოები კოვალენტურად შეკრული, ნეიტრალური ატომებისგან შედგება.

გერმანიუმსა და სილიციუმთან (IV ჯგუფის ელემენტური ნახევრად გამტარები) შედარებით, III-V ნახევრად გამტარი ნაერთების უპირატესობა ისაა, რომ მათ ძირითადი პარამეტრების (აკრძალული ზონის სიგანე, მუხტის მატარებლების ძვრადობა) ფართო ნაკრები გააჩნია, რაც ამა თუ იმ კონკრეტულ პირობებში ოპტიმალური მახასიათებლების მქონე მასალების შერჩევის საშუალებას იძლევა. მაგალითად, მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე გამართელებებისა და მაბლიერებლებისთვის უფრო ხელსაყრელია, შეირჩეს ისეთი მასალა, რომელსაც დიდი სიგანის აკრძალული ზონა გააჩნია. არსენიდები (გალიუმისა და ინდიუმის არსენიდები - GaAs და InAs) გამოიყენება ლუმინესცენტური და ლაზერული დიოდების, მიკროტალღური დიოდების, გადამრთველი დიოდების, დეტექტორების, ტრანზისტორების, შვის ბატარეების, ინტეგრალური სქემებისა და სხვა ელექტრონული ხელსაწყობის დამუშავების, დამზადებისა და წარმოების საქმეში. ნახევრად გამტარი არსენიდების მიღების პროცესში ძალზე მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს საწყისი ელემენტებიდან ლითონური დარიშხანის მაღალი სისუყუათვე, ენაიდან უშუალოდ ნაერთების გასუფთავება ძნელად გადასაჭრელ პრობლემას წარმოადგენს. გალიუმისა და ინდიუმის ღრმა გასუფთავების (რაფინირების) პროცესები დასვეწილია, ხოლო რაც შეეხება ლითონური დარიშხანის გასუფთავებას, იგი მთელ რიგ სიმძლევებთან არის დაკავშირებული.

ფერადი ლითონების მანქანებში, თანმდევი ელემენტის სახით, ხშირადაა წარმოადგენილი დარიშხანი. იგი თითქმის მუდმივად თან სდევს სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, კალის, კობალტის, ანთიმონის, ბისმუტის მადნებს. თვითნაბადი დარიშხანი იშვიათად მოიპოვება ბუნებაში, ხოლო დარიშხანის მინერალების რიცხვი 120-ს აჭარბებს (ეხრილი III.11.).

თვით დარიშხანის მადნების წამყვან მინერალებს განეკუთვნება რეალგარი (AsS), აურიპოგმენტი (As_2S_3) და არსენოპირიტი ($FeAsS$).

დარიშხანის მსხვილი საბადოები განლაგებულია საქართველოს ტერიტორიაზე. ცანის (სვანეთი) არსენოპირიტული ($FeAsS$) მადნების საბადო თავისი მარაგითა და დარიშხანის შემცველობით უნიკალურია. დარიშხანის საშუალო შემცველობა მადანში 25-35%-ს შეადგენს.

ლუხუნის (რაჭა) საბადოს დარიშხანის სულფიდურ მადანში დარიშხანი რეალგარის (As_2S_3) და აურიპოგმენტის (As_2S_3) მინერალებით არის წარმოდგენილი. დარიშხანის საშუალო შემცველობა მადანში 7-8%-ია.

დარიშხანის ზოგიერთი მინერალები

მინერალი	ფორმულა	სინგონია	სიმკვრივე	სისაღე
რეალგარი	AsS	მონოკლინური	3,4-3,6	1,5-2
აურიპიგმენტი	As ₂ S ₃	რომბული	3,4-3,5	1,5-2
არსენოპირიტი	FeAsS	რომბული	5,9-6	5,5-6
ლეილინიტი	FeAs ₂	რომბული	7	5-5,5
კობალტინი	CoAsS	ფსევდოკუბური	6-6,5	5-6
გლაუკოდიტი	(Fe,Co)AsS	„	5,9-6	5
კორინიტი	Ni(As,Sb)S	კუბური	-	-
სპერილიტი	PbAs ₂	კუბური	10,5-10,7	6-7
ტენანტიტი	3Cu ₂ S·As ₂ S ₃	კუბური	-	-
პრუსტიტი	5Cu ₂ S·2ZnS·2As ₂ S ₃	ტრიგონალური	5,57-5,6	2-2,5
ალგოდონიტი	Cu ₆ As	ჰექსაგონალური	8,4	4
მაუსერიტი	Ni ₂ As ₂	ტეტრაგონალური	7,83	5

ცანის არსენოპირიტული საბადო, რომელიც 1933 წ. გაიხსნა, ლენტეხის რაიონში (სვანეთი) მდებარეობს (მდ. ცხენისწყლის სათავეებთან; ცურუნგალის მთის კალთებზე). მადნის წამყვან მინერალს არსენოპირიტი წარმოადგენს (FeAsS). იგი დიდი რაოდენობითაა წარმოდგენილი და ფიქალის ქანებს შორის ნაწილობრივ, თითქმის, მონომინერალურ უბნებადაა განლაგებული. გავრცელების მიხედვით შეზღვევი მინერალებია – პირიტი (FeS₂) და ქალკობირიტი (CuFeS₂). შეიმჩნევა სფალერიტი (ZnS) და ვალენიტი (PbS), მაგრამ არა ყველაგან. რეალგარი (AsS) და აურიპიგმენტი მცირე რაოდენობითაა მადანში. ყველაზე მეტად გავრცელებულ მარცვეულ ქანს კვარცი წარმოადგენს. მადნიდან შერჩეული არსენოპირიტის მონომინერალის ქიმიური ანალიზი წარმოდგენილია III.12. ცხრილში.

ცხრილი III.12.

ცანის საბადოს არსენოპირიტული მადნის (მონომინერალის) შემადგენლობა

ელემენტები	შემადგენლობა % მასის მიხედვით
As	44,04
Fe	34,73
S	19,49
Sb	0,10
Bi	0,02
Cu	0,10
Pb	0,12
Zn	0,003
Sn	0,01

კუთლმობილი ლითონების განსაზღვრის მიზნით, არსენოპირიტული მადნის სხვადასხვა სინკებზე (დარიშხანის 30-40%-ის შემცველობით) ჩატარებული ანალიზების მიხედვით, ცანის არსენოპირიტი 3,5-4,5 გ/ტ ოქროსა და 40-50 გ/ტ ვერცხლს შეიცავს.

დარიშხანის სულფიდური მადნების ლუხუნის საბადო, რომელიც სოფ. ურავიდან (რაჭა, ამბროლაურის რაიონი.) 27 კმ-ით არის დაშორებული, ფართოდ გახდა ცნობილი 1930 წელს. საბადო მდ. მადნის-ღელეს (ლუხუნისწყლის მარცხენა შენაკადი) ხეობაში მდებარეობს, დაახლოებით, 2000 მ-ის სიმაღლეზე.

მადნის მინერალოგიური შემადგენლობა საკმაოდ მრავალფეროვანია. მადნის წარმოქმნელ მთავარ მინერალებს რეალგარი და აურიპიგმენტი წარმოადგენს. მეორეხარისხოვან მინერალებს განეკუთვნება არსენოპირიტი, პირიტი, ანთიმონიტი, (Sb₂S₃). რაოდენობრივად რეალგარი ცენტრალურ და დასავლეთ უბნებშია ფართოდ გავრცელებული. აურიპიგმენტი რეალგარის მსგავსად არის გავრცელებული და ძირითადად წარმოდგენილია მსხვილი იდიომორფული კრისტალური მასის სახით,

მომცრო სიციარილებით. დარიშხანის შემცველობა ფართო დიაპაზონში მერყეობს (0,5-დან 30%-მდე) და საშუალოდ 7%-ს შეადგენს. საექტრული ანალიზის მიხედვით მაღანში შეიმჩნევა ბერილოუმის, ანთიმონის, ნიკელის, გალიუმის, მანგანუმის, ვანადიუმის, ცირკონიუმის, ტიტანის, სპილენძის, ქრომისა და სტრონციუმის კვალი. მაღნის ქიმიური ანალიზი წარმოდგენილია III.13. ცხრილში.

ცხრილი III.13.

ლეხუნის საბადოს დარიშხანის სულფიდური მაღნის შემადგენლობა

ელემენტები	შემადგენლობა, %, მანის მიხედვით	
	მაქსიმალური	საშუალო
As	43,85	8,35
Sb	1,42	0,09
Ni	0,01	0,0006
Ga	0,017	0,002
S	27,16	5,10
SiO ₂	71,93	50,92
Al ₂ O ₃	15,95	10,08
FeO	8,00	3,02
CaO	11,39	3,25
MgO	3,16	1,30

თუმცა, სტანდარტები და საყოველთაოდ მიღებული ტექნიკური პირობები დარიშხანის მაღნებზე არ არსებობს, მაინც გამოცდილებისა და საპროექტო მასალების საფუძველზე, საწარმოო საბადოებზე დადგენილია დარიშხანის შემცველობის საშუალო და მინიმალური ციფრები. ეს ციფრები შეიძლება გამოდგეს ორიენტირად საწარმოო მნიშვნელობის ახალი საბადოების შესაფასებლად (ცხრ. III.14.).

ცხრილი III.14.

დარიშხანის საშუალო და მინიმალური შემცველობა (%) საწარმოო მაღნებში

მაღანი	დარიშხანის საშუალო შემცველობა	დარიშხანის მინიმალური შემცველობა ბლოკების კონტურებისთვის
რეალგანის (მიღარი)	10-11	4-5
რეალგარ-აურიტიკემენტის (დარიბი)	3-4	1-1,2
არსენობირტული	6-7	2-5
ოქრო-დარიშხანანი	4-5	1,2-3
დარიშხან-პოლილითონური	0,2-0,3	0,1

უშუალოდ დარიშხანის მაღნებიდან წარმოებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს არსებობი-რიტული მაღანი (ხშირად ოქროს შეიცავს).

დარიშხანის მიღების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს აგრეთვე ფერადი ლითონების მაღნები და კონცენტრატები (სპილენძის, ტყვიის, კობალტის, პოლილითონური და სხვა), რომლებშიც თითქმის მუდმივად შედის დარიშხანი (0,05-1,5%-ის ოდენობით). მაგალითად, ამერიკაში დარიშხანის ძირითად წყაროს ფერადი ლითონების წარმოების ნახევრად პროდუქტები (სპილენძის, ტყვიის წარმოების ნახევრად პროდუქტები) წარმოადგენს. ეინაიდან დარიშხანის მაღნების პირველადი გადამამუშავება ძველი დროიდანვე ყოველთვის დარიშხანის ტოქსიკური ნაერთის (თეთრი დარიშხანის) მიღებასთან იყო დაკავშირებული და გარდა ამისა მაღნებიდან დარიშხანის ამოღების სხვა მეთოდები არ არსებობდა, თეთრი დარიშხანი ლითონური დარიშხანის მიღების საწყის ნედლეულად იქცა. მაღნებიდან დარიშხანის ლითონური ან არატოქსიკური ნაერთის სახით ამოღების ახალი ზერხის დამუშავება კი, როგორც ჩანს, მეთოდური სიძნელების, დარიშხანის ნაერთების მოშვალავე ქმედებისა და ეკოლოგიური პრობლემების „არარსებობის“ გამო ფერხდებოდა. ამიტომაც შემორჩა წარმოებას ეს ძველი პრიმიტიული და გარემოსთვის საშიში „კლასიკური“ მეთოდი.

ამ მეთოდის თანახმად დარიშხანის მაღნების (როგორც არსებობიტიული, ასევე დარიშხანის სულფიდური მაღნები) გადამამუშავების პირველ საფეხურზე, რომელიც ფანგეთი გამოწვის გზით თეთრი დარიშხანის მიღებას ითვალისწინებს, გოგირდის დიოქსიდისა და თეთრი დარიშხანის (As₂O₃) ძლიერტოქსიკური აირ-ორთქლის ნარევი გამოიყოფა. ატმოსფეროში გაფრქვეულ აირად

გოგირდის დიოქსიდს ორთქლის სახით თან მოჰყვება თეთრი დარიშხანის ნაწილი, რომელიც ჰაერში კონდენსაციას განიცდის და გარემოში იფანტება. ამ მოშპაღავე, საშიში ტექნოლოგიით ათეული წლების განმავლობაში, საბჭოთა კავშირის არსებობის პერიოდში, სვანეთისა და რაჭის დარიშხანის მადნებიდან საბოლოო პროდუქტის სახით თეთრი დარიშხანი იწარმოებოდა (საწარმოებმა დიდი ზიანი მიაყენა საქართველოს ამ უმშვენიერესი მხარეების გარემოს).

მეორე საფეხურზე თეთრი დარიშხანი განიცდის ალდგენას ლითონურ დარიშხანამდე (ალდგენი რეაგენტების სახით C და CO გამოიყენება). ალდგენის პროცესი რთულად მიმდინარეობს და იგი დაკავშირებულია აგრეთვე გარემოს მოშპაღავე ნივთიერებით გატუჭყიანებასთან. ამასთან, მიღებული პროდუქტის (ლითონური დარიშხანი) ხარისხი დაბალია.

შედარებით უფრო მაღალი ხარისხის ლითონური დარიშხანის მიღების ხერხი, რომელიც მოგვიანებით დამუშავდა, საწყის ნედლეულად ისევე თეთრი დარიშხანის გამოყენებას ითვალისწინებს. ეს მეთოდი უფრო მეტი სირთულითა და ტექნოლოგიურ პროცესებში მონაწილე ძლიერ ტოქსიკური ნაერთების სიმრავლით გამოირჩევა. მრავალსაფეხურიანი ტექნოლოგიური ციკლის პირველ საფეხურზე თეთრი დარიშხანისა და მარილმჟავას ურთიერთქმედებით კიდევ ერთი ტოქსიკური ნაერთის, დარიშხანის ქლორიდის (As_2Cl_2) მიღებაა გათვალისწინებული, ხოლო ბოლო საფეხურზე ლითონური დარიშხანის ალდგენა ქლორიდიდან წყალბადის მეშვეობით ზორციელდება მაღალ ტემპერატურაზე ($800^{\circ}C$). ალდგენის პროცესში გამოირიცხული არ არის დარიშხანის ძლიერტოქსიკური ნაერთის, აირად არსინის (AsH_3) გამოყოფა. ამ ქლორიდული ტექნოლოგიით 1965 წლიდან საბჭოთა კავშირის არსებობის ბოლომდე ურავის (რაჭა) დარიშხანის ქარხანაში იწარმოებოდა ლითონური დარიშხანი. მიუხედავად ტექნოლოგიის დახვეწის მრავალგზის მცდელობისა, ქარხანაში წარმოებული ლითონის ხარისხი არ შეესაბამებოდა მაღალი სისუფთავის ლითონური დარიშხანის მახასიათებლებს.

საქართველოს მეცნირებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ფერადი ლითონების ლაბორატორიაში (1980-იან წლებში) მრავალწლიანი თეორიული, ლაბორატორიული და ნახევრად საწარმოო კვლევების ბაზაზე დამუშავდა და წარმოებაში დაინერგა უშუალოდ დარიშხანის მადნებიდან (არსენოპირიტული და სულფიდური) ლითონური დარიშხანის მიღების პრინციპულად ახალი ტექნოლოგიები. დამუშავებული ტექნოლოგიები გამოირიცხავენ დარიშხანის ტოქსიკური ნაერთების წარმოქმნას და გარემოს დაცვის პირობებში ტექნიკური და განსაკუთრებული სისუფთავის ლითონური დარიშხანის წარმოებას უზრუნველყოფს.

ნედლეულის გადამუშავებაში ჩართულია შემდეგი პროცესები: დარიშხანშემცველი მინერალის (არსენოპირიტის) თერმული დისოციაცია (დამლა) და ელემენტური დარიშხანის სუბლიმაცია, ორთქლიდან ლითონური დარიშხანის კონდენსაცია (ყველა ეს პროცესი ერთ საფეხურზე ერთი ოპერაციით ზორციელდება), მადნის ფუჭი ქანისაგან დარიშხანის სულფიდური მინერალების გაკუთმთერებული ხერხით განცალკევება, დარიშხანის სულფიდიდან ლითონური დარიშხანის რკინით გამოშვება, ლითონური დარიშხანის თხევად ტყევაში ან ტყევა-ბისმუტის შენადნობში გახსნა და შენადნობიდან ლითონური დარიშხანის სელექტიური დისტილაცია.

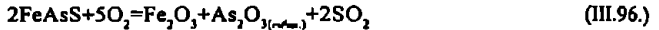
5.1. დარიშხანის მადნებდან ლითონური დარიშხანის მიღება ენაგვა-ალდგენის ხერხით

ლითონური დარიშხანის მისაღებად, როგორც წესი, დარიშხანის მადნები (არსენოპირიტული და რეალგარ-აურიპიგმენტის სულფიდური მადნები) მსოფლიო პრაქტიკაში, როგორც წესი, ორსაფეხურიანი ენაგვა-ალდგენის ხერხით გადამუშავდება.

პირველ საფეხურზე $800-900^{\circ}C$ -ზე, არსენოპირიტული მადნის ჰაერის ენაგვადით დაენაგვის შედეგად თეთრი დარიშხანი (As_2O_3) მიიღება. მადნის გამოწვის პროცესში თეთრი დარიშხანი ორთქლის სახით წარმოიქმნება. აქროლილი ორთქლი დამჭერ სისტემაში კონდენსირდება ფხენილის სახით.

მეორე საფეხურზე $700-800^{\circ}C$ -ზე თეთრი დარიშხანის ნახშირბადით ან ნახშირკანგით ალდგენის შედეგად ლითონური დარიშხანი მიიღება.

არსენოპირიტი, ისევე, როგორც ფერადი ლითონების უმეტესი სულფიდური მინერალები, ინტენსიურად იენაგება მყარ მდგომარეობაში. არსენოპირიტის დაენაგვა $400^{\circ}C$ -ზე შეინიშნება რეაქციით:



არსენოპირიტის (დაქუცმაცებული 64 მეშამდე) 500-800°C-ზე დაქანვის პროცესში, გოგირდისა და დარიშხანის აქროლის ხარისხების შედარებით, გამოვლინდა, რომ გოგირდის დაქანვა მნიშვნელოვნად ჩამორჩება, განსაკუთრებით დაბალ ტემპერატურებზე: 500°C-ზე მთელი გოგირდის 64% ქროლდება, ხოლო დარიშხანის 71%, არადა, გოგირდისა და დარიშხანის დაქანვა პარალელურად უნდა მიმდინარეობდეს. ეს სხვაობა უფრო მაღალ ტემპერატურაზეც არ ქრება, რაც, როგორც ჩანს, დაქანვის პროცესთან ერთად პარალელურად მიმდინარე არსენოპირიტის მყარფაზოვანი დისოციაციის პროცესთან არსხნება (დისოციაციის შედეგად რკინის სულფიდი და ელემენტური დარიშხანი წარმოიქმნება). ამას ადასტურებს არსენოპირიტის დაქანვის შედეგად მიღებული ნაშენის ქიმიური ანალიზის შედეგები, რომლის მიხედვითაც დაქანულ რკინასთან (700-1000°C-ის ფარგლებში წარმოიქმნება Fe_2O_3) ერთად ნაშენში რკინის სულფიდიც შედის.

ლუმელის აირებში ჟანგბადის შემცველობის გაზრდით შესაძლებელია დარიშხანის ხუთვალენტური ნაერთის (As_2O_5) წარმოქმნა:

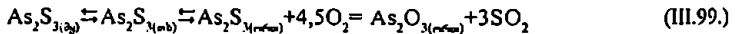


დარიშხანის ეს ნაერთი არ ქროლდება და ნაშენში რჩება. ჭარბი ჟანგბადის შემთხვევაში შესაძლებელია აგრეთვე არსენატის წარმოქმნა:



პარალელურად მიმდინარე რეაქციები ართულებს ჟანგითი გამოწვის ტექნოლოგიურ პროცესს და მისი კონტროლის შესაძლებლობას აძნელებს. ამასთან ერთად გამოწვის შედეგად მიღებული თეთრი დარიშხანის ხარისხი დაბალია.

რაც შეეხება დარიშხანის სულფიდების (AsS , As_2S_3) დაქანვის მექანიზმს, იგი არ არის შესწავლილი. დარიშხანის სულფიდების გამოწვის დროს ჟანგის რეაქციები, როგორც ჩანს, მიმდინარეობს სამი ფაზის მონაწილეობით: მყარის, თხევადისა და აირადის. აურიპიგმენტის დაქანვის რეაქცია შემდეგნაირად შეიძლება გამოისახოს (300-700°C-ზე)



ჟანგითი გამოწვის პროცესი მრავალეტაპურ მუყელებში, ამრეკლ და გამოსაწევე ღუმელებში ტარდება.

დარიშხანის ერთ-ერთ ქარხანაში გადასამუშავებელი არსენოპირიტის მადანი, რომელიც 25%-მდე დარიშხანს შეიცავს, 25-30 მმ სისხოს ნაჭრებამდე იმსხვრევა და ამრეკლ ღუმელში იტვირთება გამოსაწევეად.

სებრეტოსა ფორმის ღუმელის ქედის ფართობი 24,5 მ²-ს შეადგენს, ხოლო მოცულობა 70 მ³-ია. ღუმელის საძირკველი ცემენტის ხსნარისა და ქეაფორისაგან არის ამოყვანილი. ღუმელი ცეცხლგამძლე აგურებითაა ამოგებული შამოტის თიხაზე. ღუმელის ტორსულ ნაწილში განლაგებულია საცეცხლე-სათბობის სახით შემა ან ქვანახშირი გამოიყენება. სათბობით ღუმელის გახურება გამოწვის პროცესის დასაწყისში ხდება, შემდეგ კი სათბო დარიშხანისა და გოგირდის წვის ეგზოთერმული რეაქციების ხარჯზე გამოიყოფა. მოედანი (20,5 მ²), რომელიც მადნის გასაშრობად და მადნის ღუმელში ჩასატვირთავად გამოიყენება, ლითონის მასალისგანაა შესრულებული და საკვამლე მილის მხარეზეა განლაგებული. მადნის გადაზიდვა მოედანზე ვაგონებით ხორციელდება.

ღუმელის ორივე გვერდზე განლაგებულია ფანჯრები (შეიდი, ყოველი მხრიდან). თუ ფანჯრების მზარდი ნუმერაცია I-დან 7-მდე საცეცხლე ტორსიდან აითვლება, მაშინ გამოწვის პროცესში ტემპერატურა №7 ფანჯრიდან №1 ფანჯრამდე 400-დან 900°C-მდე შეიცვლება.

ღუმელში პირობით გამოყოფილია სამი ზონა: I - მე-7 და მე-6, II - მე-5, მე-4 და მე-3, III - მე-2 და I - ფანჯარა. პირველ ზონაში მადანი უძრავად დევს ერთი ცვლის განმეალობაში, ხოლო მეორე და მესამეში შესაბამისად ყოველ 30 და 25 წუთში ერთხელ ირევა. საერთო ჯამში, ღუმელში ჩატვირთული მასალა 16-18 საათის განმავლობაში განიცდის გამოწვას. ნაშენის გადმოტვირთვა ღუმელის პირველი ფანჯრიდან ხდება.

ლუმელიდან წარმატულ აირ-ორთქლის ნარევიდან თეთრი დარიშხანი კონდენსირდება და გროვდება სპეციალურ კამერებში. კამერები შეერთებულია ლუმელთან საკვამლე რკინისგან დამზადებული ორი აირსადენით. აირსადენებს ორი საწმენდი კრიჭა და აირების მოძრაობის სინქარის მარგულირებული სარქველები გააჩნია. აირსადენში გამავალი აირების ტემპერატურა 300°C-ს შეადგენს. რკინაბეტონის კამერები ანუ ბუნკერები, რომლებიც ტუფით ან კვარცის ქვიშისა და თხევადი შუშის ნარევითაა მოპირკეთებული, ათ სექციაშია (ყოველ სექციაში სამ-სამი კამერაა) გაერთიანებული. ბუნკერების შიგნით ცეცხლგამძლე აგურებისგან ჭადრაკული წყობით ამოყვანილია ტიხრები. აირ-ორთქლის ნარევის ტემპერატურის შემცირების მიზნით, პირველ ორ სექციაში ჩაყენებულია ორი წვეილი ლითონის კესონი. ბუნკერებიდან თეთრი დარიშხანის გადმოტირთვა ქვედა გადმოსატვირთი ხერხეულიდან ხორციელდება. მტვერდამჭერი სექციებში ტემპერატურის ცვლილება ნაჩვენებია III.15. ცხრილში.

ცხრილი III.15.

ტემპერატურა მტვერდამჭერ სექციებში

სექცია	t, °C	სექცია	t, °C
1	140	6	80
2	125	7	70
3	110	8	65
4	100	9	60
5	90	10	50

აირ-ორთქლის ნარევი სექციებიდან ექსგაუსტერის ალიბჭეს 6 მ-იან საერთო არხში ხვდება. არხი საკვამლე მილთან არის შეერთებული. მიღებული პროდუქტის შემადგენლობა As_2O_3 -ის მიხედვით სხვადასხვა სექციაში, მოყვანილია III.16. ცხრილში.

ცხრილი III.16.

თეთრი დარიშხანის შემცველობა მიღებულ პროდუქტში

სექცია	თეთრი დარიშხანის (As_2O_3) შეცველობა, %
1	96,3
2	96,6
3	97,2
4	96,2
5	94,5
6	93,4
7	91,0
8	89,0
9	89,0
10	89,5

ბოლო სექციაში თავმოყრილი პროდუქტის მტვერი ისევ გამოწევის ლუმელში ბრუნდება.

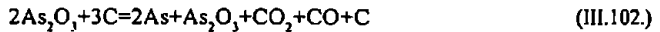
ერთ-ერთ ამერიკულ ქარხანაში დარიშხანის სულფიდური მადანი მსხვერვის შემდეგ ბურთულბინა წისქვილში ქუცმაცდება. დაქუცმაცებული მადანი გარეცხვისა და შრობის შემდეგ მაკლუგალას ტიპის გამოსაწევე ლუმელში იტვირთება (ლუმელის სიმაღლე 5,5-დან 9 მ-მდეა, ხოლო დამატური 3-დან 5 მ-მდე). მასალის შემრევი სახეებების ბრუნვის სიჩქარე 5 ბრ/წთ. შეადგენს. აირებით წატაცებული მტვერი ცალკედება მტერის დამჭერ სეპარატორში, რომელიც ლუმელიდან აირების არინების მიღველშია ჩაყენებული. თეთრი დარიშხანის ორთქლის კონდენსაცია ფურცლოვანი ტყეისგან დამზადებულ კამერებში ხორციელდება. საკონდენსაციო ზედაპირის გაზრდის მიზნით კამერა რამდენიმე სექციებადაა დაყოფილი. კონდენსაციის პირობების გასაუმჯობესებლად, თეთრი დარიშხანის ორთქლი წყლით იხსურება და დაკონდენსირებული მასალა კოდში იკრიბება. კოდში შეკრებილი ხსნარი იფილტრება. ტენის 20-25%-მდე შემცირების მიზნით, გაჯილტრულ მასას შშრალი თეთრი დარიშხანის ფხენილი ემატება და ნარევი მბრუნავ ლუმელში შრობას ექვემდებარება. თეთრი დარიშხანის აქროლის თავიდან აცილების მიზნით ლუმელში ტემპერატურა 180°C-ს არ აღემატება.

გასუფთავების მიზნით, გამოწვის შედეგად მიღებული ნედლი დარიშხანის ოქსიდი (თეთრი დარიშხანი) 245°C-ზე გადადენას განიცდის 3 მ-ის დიამეტრის მქონე ლუმელში. საბოლოოდ მიღებულ პროდუქტში As₂O₃-ის შემცველობა 99% შეადგენს.

ჟანგვა-აღდგენის მეთოდით ლითონური დარიშხანის მიღების მეორე საფეხურზე თეთრი დარიშხანი ნახშირბადით ან ნახშირჟანგით განიცდის აღდგენას:



კვლევებით დადგენილია, რომ რეაქცია (III.100.) ბოლომდე არ მიდის და დარიშხანის გამოსავალი 64%-ს არ აღემატება, რაც თეთრი დარიშხანისა და ნახშირბადის კუთრი თბოტექნოლოგიების სხვაობითა და As₂O₃-ის ცალკეული მოდიფიკაციების შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე აქროლით აიხსნება; თეთრი დარიშხანი ხშირად სუბლიმირდება აღდგენის რეაქციის დაწყების შესაძრწვე განვითარებამდე. ამიტომ პრაქტიკაში დარიშხანის გამოსავლიანობა განისაზღვრება შემდეგი განტოლებით:



თეთრი დარიშხანის CO-ით აღდგენა ზრდის დარიშხანის გამოსავლიანობას, მაგრამ ამ დროს მკვეთად იზრდება აღმდგენის ხარჯი (თეორიულთან შედარებით 14-ჯერ), რაც ეკონომიკურად არაახლსაყრელია. ამასთან ნახშირჟანგით (CO) აღდგენა დამატებითი აპარატურის გამოყენებას საჭიროებს.

ამერიკის კიდევ ერთ ქარხანაში ლითონური დარიშხანის მიღება თეთრი დარიშხანის (As₂O₃) ხის ნახშირით აღდგენის გზით ზორციელდება. აღდგენის პროცესი ტარდება რიგში მდგარ რეტორტული ტიპის ოთხ ლუმელში, რომლებიც ბუნებრივი აირით ზურდება. თითოეული ლუმელის ტვეადობა 100-150 კგ კაზმს შეადგენს. დანადგარის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 100-150 კგ ლითონური დარიშხანია. კაზმის მომზადება (პროპორციით - 1 კგ ხის ნახშირი 4 კგ თეთრი დარიშხანზე) შემრევეში ხდება. ლუმელის გარსაში, რომელიც ფოლადისგანაა დამზადებული, ცვეხლგამძლე აგურებითაა ამოვსებული. თეთრი დარიშხანის ორთქლის გაპარვის თავიდან აცილების მიზნით, ჩასატყორთი მილის ბოლო დახურულია თიხის ბადით, რომელშიც სპილენძის წყალსადენი მილია ჩადგმული. რეტორტის უკანა მხარესთან მიერთებულია წყლით საცივებელი კონდენსატორი, რომელსაც აირების გასასვლელი ზერელი გააჩნია. ლუმელის სამუშაო რეჟიმის ხანგრძლივობა 7-10 საათს შეადგენს. პროცესის დამთავრების შემდეგ რეტორტა და კონდენსატორი ცივდება და მხოლოდ ამის შემდეგ ამოიღება ლითონური დარიშხანი კონდენსატორიდან.

გერმანიის ერთ-ერთ ქარხანაში ლითონური დარიშხანის მიღება ხდება თეთრი დარიშხანის ორთქლის გავარვარებულ კოქსში გატარებით. აღდგენილი ლითონური დარიშხანის ორთქლი კი კონდენსაციას განიცდის.

როგორც ზემოთ მოყვანილიდან ჩანს, დარიშხანის მადნებიდან ლითონური დარიშხანის ჟანგვა-აღდგენის მეთოდით მიღების ხერხს მნიშვნელოვანი ნაკლოვანი მხარეები გააჩნია, რაც, ძირითადად, შემდეგში მდგომარეობს:

- ჟანგვითი გამოწვის პროცესის კონტროლი ვართულებულია;
- გამოწვის პროცესში იქმნება მომსახურე პერსონალის მოწამელის საშიშროება თეთრი დარიშხანის ძლიერტოქსიკური ორთქლით;
- ჟანგვითი გამოწვის დროს არსენოპირიტულ მადანში შემავალი სასარგებლო ელემენტები პროდუქტსა და ნარჩენში არარაციონალურად ნაწილდება;
- ჟანგვითი გამოწვის პროცესში პარალელურად მიმდინარე რეაქციების შედეგად (პარალელური რეაქციების მიმდინარეობას ხელს უწყობს ჟანგვითი გამოწვის მაღალი ტემპერატურა) მიღებული პროდუქტი (თეთრი დარიშხანი) ჭუჭყიანდება;
- აღმდგენი რეაგენტი არასრულად გამოიყენება;
- საბოლოო პროდუქტის ხარისხი (ლითონური დარიშხანის სისუფთავე) დაბალია;
- ლითონური დარიშხანის თვითღირებულება მაღალია;
- გარემო ჭუჭყიანდება გოგირდისა და დარიშხანის ტოქსიკური ნაერთებით.

5.2. არსენობარიტული მადნიდან ლითონური დარიშხანის ჰიდრაპირი მიღება მადნის მადისოციირებელი გამოწვეით

მყარ მდგომარეობაში არსენობარიტის (FeAsS) თერმული დაშლით ლითონური დარიშხანის მიღების შესაძლებლობის შესახებ მონაცემები სამეცნიერო ლიტერატურაში კარგა ხანია არსებობს. ლითონური დარიშხანი არსენობარიტის დაშლის (დისოციაციის) რეაქციის შედეგად გამოიყოფა:



ადრინდელი მონაცემების მიხედვით, არსენობარიტის დაშლის საწყისი ტემპერატურებისა და დაშლის შედეგად გამოყოფილი ლითონური დარიშხანის გამოსავლიანობის სიდიდეები ურთიერთ-საწინააღმდეგოა. ერთ-ერთი მონაცემების მიხედვით დისოციაციის შედეგად არსენობარიტში შემაჯალი დარიშხანის მხოლოდ 50% ქრავდება. მეორე მონაცემებით, არსენობარიტის 600°C-ზე გახურებით იგი 13,3%-ით იშლება, ხოლო 800°C-ზე 65,11%-ით. სხვა მონაცემების მიხედვით, არსენობარიტის შესაძრწევი დაშლა 220°C-დან იწყება.

ლითონური დარიშხანი აქტიურ ლითონებს განკუთვნება და იგი ოდნავი გახურებითაც ადვილად იჟანგება ჟანგბადით. ამიტომ ნებისმიერი თერმული პროცესი, რომელიც ელემენტური (ლითონური) დარიშხანის მონაწილეობას ითვალისწინებს ნეიტრალურ ატმოსფეროში, ვაკუუმში ან დახურული ტიპის აპარატში უნდა განხორციელდეს.

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ფერადი ლითონების ლაბორატორიაში 1980-იანი წლებში დარიშხანის პროცესებთან დაკავშირებული ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევები ტარდებოდა. მაღალ ტემპერატურებზე არსენობარიტის „ქვეის“ ყოველმხრივი შესწავლის შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე დამუშავდა და წარმოებაში დაინერგა არსენობარიტული მადნიდან ლითონური დარიშხანის ჰიდრაპირი მიღების ეფექტური ტექნოლოგია, რომელიც არსენობარიტის მადისოციირებელ გამოწვეას ითვალისწინებს. დადგენილი ტემპერატურების ზღვრებში არსენობარიტული მადნის განსაზღვრული სიდიდის მარცვლების გახურებისას არსენობარიტი მყარ მდგომარეობაში დისოციაციას განიცდის. შედეგად გამოიყოფა ლითონური დარიშხანი, რომელიც ორთქლის სახით სუბლიმირდება, ხოლო დაშლის სარეაქციო ზონაში მყარი მასის სახით გოგირდოვანი რქანა რჩება:

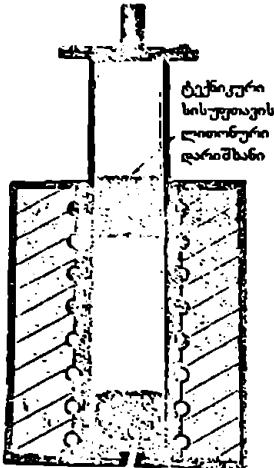


დაშლის რეაქცია ენდოთერმულია და ამიტომ მისი წარმართვა სითბოს მიწოდებას საჭიროებს. სარეაქციო ზონიდან სუბლიმირებული ლითონური დარიშხანის ორთქლი კონდენსირდება კონდენსაციის ზონაში.

აპარატის სქემა და მასში მიმდინარე არსენობარიტული მადნის მადისოციირებელი გამოწვის პროცესის იმიტაცია ნაჩვენებია III.64. სურათზე.

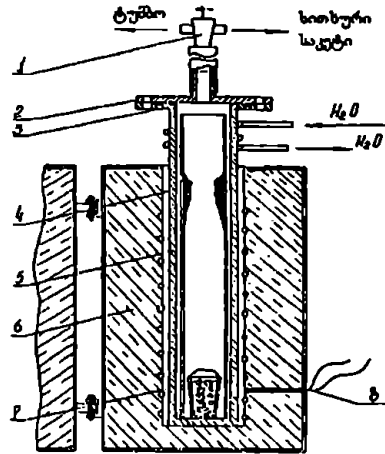
არსენობარიტის თერმული დისოციაციის პროცესის აზოტის ნაკადში, ვაკუუმში და დახურული ტიპის აპარატში (სითხური საკეტიტ მჭიდროდ დახურულ აპარატში) ჩატარებული კვლევების (სურ. III.65.) მონაცემებით დადგინდა (ტემპერატურაზე, პროცესის ხანგრძლივობასა და არსენობარიტული მადნის მარცვლების სისხობზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით), რომ სამივე შემთხვევაში ლითონური დარიშხანის სუბლიმაციის ხარისხის მაჩვენებლები პრაქტიკულად ერთი და იგივეა.

აზოტის ნაკადში და ვაკუუმში მიღებული ლითონური დარიშხანის კონდენსატები უფრო ცუდი ხარისხისაა (ამორფული და კონდენსატორის ზედაპირზე გაფანტული). ვაკუუმში მიღებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშებში გოგირდის შემცველობა უფრო მაღალია, ვიდრე დახურული ტიპის აპარატში მიღებულ ნიმუშებში. დახურულ აპარატში მიღებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშების ფუძეზე სინთეზირებული ინდიუმის არსენიდის (InAs) კრისტალებზე გაზომილი ელექტრო-ფიზიკური მონაცემები, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია დარიშხანის სისუფთავის ხარისხის განსაზღვრა, მაღალი მაჩვენებლებით გამოირჩევა. არსენობარიტის ვაკუუმში თერმული დისოციაციის კიდევ ერთ ნაჯლს განეკუთვნება სუბლიმირებული დარიშხანის ორთქლის ნაკადის მაღალი სინქარე, რაც ორთქლის კონდენსაციის პროცესის ნორმალურ სვლას არღვევს. ორთქლიდან დაკონდენსირებული ლითონური დარიშხანის კონდენსატის ხარისხს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. კონდენსატი



არსენობირიტის მადანი

სურ. III.64. აპარატის სქემა არსენობირიტული მადანის მადისციირებული გამოწვის პროცესის იმიტაციით.



სურ. III.65. არსენობირიტული მადნიდან მადისციირებული გამოწვით ლითონური დარიშხანის მიღების საექსპერიმენტო დანადგარის სქემა.

1. ოქსანი; 2. რეტორტის თავსახური; 3. მოლტური;
4. კონდენსატორი; 5. რეტორტა; 6. ელექტროლოქმიანი;
7. ტოველი; 8. თერმოსწყობილი.

ადვილად უნდა სცილდებოდეს კონდენსატორს და შენახვის დროს ნაკლებად უნდა იფანგებოდეს. ფხვნილისებრი პროდუქტი, რომელიც არსენობირიტის აზოტის ნაკადში ან ვაკუუმში დაშლის პროცესში მიიღება, ადვილად იფანგება ჰაერზე და მტკერდება, რაც აჭუჭყიანებს ლითონურ დარიშხანს და აუარესებს შრომის სანიტარულ პირობებს.

თუ მადნის ნედლეულის პირველადი გადამუშავებით მიიღება მაღალი ხარისხის დაუსაღებელი ლითონი, რომელშიც მინარევი ელემენტების მინიმალური რაოდენობაა ჩარჩენილი, მაშინ შემდგომ ეტაპზე ლითონის ღრმა გასუფთავების ეფექტიანობა, როგორც წესი, საგრძნობლად იზრდება. მადნის ნედლეულიდან მინარევი ელემენტების მნიშვნელოვანი რაოდენობით დაუსაღებელ ლითონში გადასვლით კი ღრმა გასუფთავების პროცესი რთულდება და ამასთან, ვარჯისი პროდუქტის გამოსავლიანობა ხშირად მცირდება. ასე მაგალითად, რაჭის სამთო-ქიმიურ ქარხანაში, სადაც ადრე არსებული ტექნოლოგიით, ნედლეულის პირველადი გადამუშავების შედეგად მიღებულ თეთრ დარიშხანში (რომელიც ლითონური დარიშხანის მისაღებ ნედლეულს წარმოადგენდა) მნიშვნელოვანი რაოდენობით თავს იყრია ანთიმონი, მისი განდევნა ლითონური დარიშხანის მიღების ეტაპზე საჭირო დონემდე არ ხერხდებოდა.

არსენობირიტიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების საწარმოო ტექნოლოგიური პარამეტრების დასადგენად შერჩეულ იქნა დახურული ტიპის რეტორტა (სითხური საკეტი), რომელშიც არსენობირიტის თერმული დაშლისა და დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის პროცესების კვლევითი იყო გათვალისწინებული.

რეტორტის ზედა ნაწილის (რომელიც გახურების ზონაში არ არის მოხვედრილი და ღუმელის გარეთაა გასული) წყლით გაცივების შემთხვევაში ლითონური დარიშხანის ხარისხის გაუარესება ხდება. დარიშხანის 30% (დაკონდენსირებული მასიდან) წერილკრისტალური სახით მიიღება. წყლით გაცივების გარეშე კი კონდენსატი მთლიანად მსხვილკრისტალური მასისგან არის შემდგარი.

კვლევებით დადგინდა, რომ არსენობირიტის გახურების ტემპერატურის ცვლილებით ლითონური დარიშხანი საკონდენსაციო ზონის სხვადასხვა უბნებზე კონდენსირდება, ანუ მადნის გახურების ტემპერატურის ცვლილებით ორთქლის კონდენსაციის „დაწების ტემპერატურა“ იცვლება (ცხრილი III.17).

დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურის დამოკიდებულება
არსენობირიტული მადნის გახურების ტემპერატურაზე

არსენობირიტული მადნის გახურების ტემპერატურა, °C	689	710	725	750	800
დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურა, °C	480	484	491	509	517

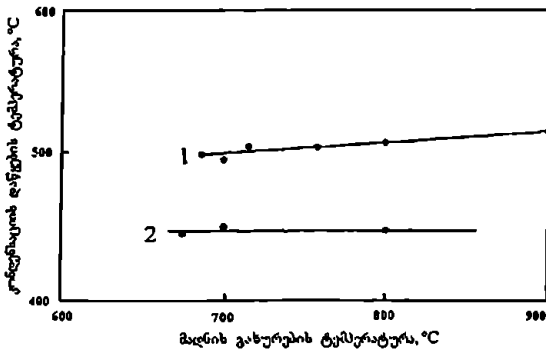
ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ მადნის გახურების ტემპერატურის 200°C-ით გაზრდის შემთხვევაში დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის „დაწვევის ტემპერატურა“ დაახლოებით 40°C-ით იზრდება. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ დარიშხანის ორთქლის არინებისა და მისი კონდენსაციის პროცესებში სარეაქციო ზონაში ტემპერატურის აწვეით დარიშხანის ორთქლის კონცენტრაცია რეტორტის მოცულობაში ოდნავ იცვლება. ცხადია, რომ გასაშუალოებული მადნის (დარიშხანის უფრო დაბალი შემცველობით) გახურების დროს დარიშხანის ორთქლის კონცენტრაცია უფრო დაბალი იქნება რეტორტის მოცულობაში და შესაბამისად, შემცირდება მადნიდან სუბლიმირებული დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურა. ეს დასტურდება III.66. სურათზე გრაფიკულად წარმოდგენილი კვლევების შედეგებით.

დარიშხანის ინტენსიური სუბლიმაცია როგორც გასაშუალოებული (25,69%As და 13,50%S), ასევე მდიდარი (43,50%As და 18,50%S) მადნიდან (მადნების მარცელის სისხო 0,5-1 მმ-ია) 700°C-ის ზევით მიმდინარეობს. ტემპერატურის 725°C-ზე მეტით გაზრდა შედარებით ნაკლებად მოქმედებს დარიშხანის სუბლიმაციის ხარისხზე, ხოლო 900°C-ის ზევით, მადნის შეცხოვისა და ნაწილობრივი გადნობის გამო, პროცესის მაჩვენებლების მკვეთრი გაუარესება შეინიშნება.

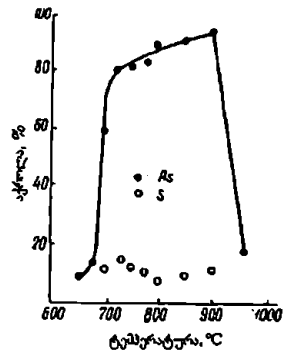
მდიდარი მადნის სხვადასხვა ტემპერატურაზე გახურების დროს მადნის წონის დანაკარგი, ძირითადად, ლითონური დარიშხანის სუბლიმაციის ხარჯზე ხდება. რაც შეეხება გოგირდს, მისი აქროლის ხარისხი მუდმივია მთელი პროცესის განმავლობაში (სურ. III.67.)

მაღალი ხარისხის ლითონური დარიშხანის კონდენსატი მადნის 8-12 და 16 მმ-იანი მარცელების 700-750°C-ის ფარგლებში გახურებით მიიღება. თუმცა, 14-16 მმ ზომის მარცელების 750°C-ზე გახურებით ლითონური დარიშხანის გამოსავლიანობა მნიშვნელოვნად მცირდება. მადნის (8-12 მმ) 750°C-ის ზევით გახურების დროს ლითონური დარიშხანის ხარისხის გაუარესება ხდება, ხოლო 650°C-ზე დარიშხანის გამოსავლიანობა მნიშვნელოვნად იკლებს.

ოპტიმალურ სისხოზე უფრო წვირლმარცელოვანი მადნის ფრაქციის 750°C-ზე გახურებით მიღებული ლითონური დარიშხანის ხარისხი დაბალია, რაც, როგორც ჩანს, დარიშხანის ორთქლის აქროლის (სუბლიმაციის) სიჩქარის გაზრდით აიხსნება. ცნობილია, რომ ზედაპირული ენერჯის გამო, წვირილ (წმინდა) დისპერსიულ მდგომარეობაში მყოფი ყოველი ნივთიერება თავისუფალი



სურ. III.66. დარიშხანის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურების დამოკიდებულება მადნის გახურების ტემპერატურაზე. 1. ქლიდარი მადანი; 2. დარიში მადანი



სურ. III.67. დარიშხანისა და გოგირდის აქროლის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (პროცესის სანერსტიფობა 2 სი).

ენერჯის ჭარბ მარაგს ფლობს და, მაშასადამე, ნაკლებად მდგრადია, ვიდრე – ნაკლებად დისპერსულ მდგომარეობაში მყოფი იგივე ნივთიერება.

მადნის წერილი ფრაქციის თერმული დაშლის დროს დარიშხანის აქროლის ხიჩკარის გაზრდასთან ერთად მადანში შემავალი მინარევი ელემენტების (ნაერთების) ინტენსიური აქროლის პირობებზე იქმნება. გარდა ამისა, დარიშხანის ორთქლის ნაკადის დიდი სიჩქარეების დროს სარეაქციო ზონიდან ორთქლით მადნის ნაწილაკების მექანიკური წატაცება და მათი კონდენსაციის ზონაში შეტანა ხდება. ამას აღსატურებს მადნის წერილი ფრაქციის თერმული დაშლის შედეგად მიღებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშებზე ჩატარებული სპექტრული ანალიზის მონაცემები, რომელთა მიხედვითაც ნიმუშებში მნიშვნელოვანი რაოდენობით რკინა შეიქმნევა.

არსენოპირიტის თერმული დაშლის დროს დარიშხანის განცალკევება ისეთი მინარეებისგან, რომლებსაც დარიშხანთან მიახლოებული აქროლადობა გააჩნიათ (S, Se, Te), შესაძლებელია ორთქლის კონდენსაციით გახურებულ ზედაპირზე. თუ კონდენსატორის ზედაპირზე განსაზღვრული ტემპერატურული გარდონტი არსებობს, მაშინ კონდენსატში მინარეების გადანაწილება, ძირითადად, დამოკიდებული იქნება ზედაპირის ყოველი უბნის ტემპერატურაზე. რაც შეეხება ყველაზე უფრო სუფთა დარიშხანის ორთქლს, იგი რომელიც ტემპერატურულ ზონაში დაკონდენსირდება.

აქროლის დიდი სიჩქარეების დროს კონდენსატორის ზედაპირზე დაცემული ორთქლის სიმკვრივე იზრდება, რის გამოც მინარეები ძირითადი ლითონის ფენით იფარება და აქროლას ვეღარ ასწრებს. გარდა ამისა, დარიშხანი უფრო გაშლილად ჯდება კონდენსატორის ზედაპირზე და თხელი ფორფიტისებრი კონდენსატი წარმოიქმნება (სურ. III.68.).

არსენოპირიტული მადნის ოპტიმალურ პირობებში თერმული დაშლის (მადნის გახურების ტემპერატურა 700-750°C; მადნის ნაჭრების სისხო 8-12 მმ) დროს მიღებული ლითონური დარიშხანის კონდენსატის ფოტო ნაჩვენებია III.69. სურათზე.

თანამედროვე მეტალურგიაში აგრეგატების მუშაობის საეციფიკა პროცესების უწყვეტობაში მდგომარეობს, რაც მადნეული ნედლეულის დიდი მასების ყველაზე უფრო ეკონომიურ რეჟიმში გადაშემაკებიდან გამომდინარეობს. თუმცა, უწყვეტ რეჟიმში მოქმედ აქტიური ლითონის ნედლეულის გადამამუშავებელ აპარატებს სუსტი ადგილებიც გააჩნია. ასე მაგალითად, ნაფენების დაღვევა და ხაორთქლებლების თანდათანობითი გაბარდვა, აპარატში მასალის მიწოდების დოზირებისა და რეგულირების სრითულ (განსაკუთრებით მკირემასმტაბურ წარმოებაში), მეტალურგიული გადაშემაკების დროს წარმოქმნილი კიბიურად აქტიური ნახევრად პროდუქტებისა და პროდუქტების შემოქმედების პირობებში მომუშავე აპარატისთვის მდგრადი მასალების შერჩევა, ზოგჯერ – პერმეტიზაციის სირთულე განსაკუთრებით აგრესიულ ნივთიერებებზე მუშაობის დროს.



სურ. III.68. ლითონური დარიშხანის ფორფიტისებრი კონდენსატი



სურ. III.69. ლითონური დარიშხანის მსხვილკრისტალური კონდენსატი

ლითონური დარიშხანის მდენებიდან მიღების მეთოდების კვლევის დროს შემუშავებული რეკომენდაციების საფუძველზე ტარდებოდა ძიება აპარატურაზე, რომელიც ყველაზე უფრო სრულად შეეფერებოდა ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარების პირობებს.

აპარატურის შერჩევისა და კონსტრუირების საერთო საწყისი დებულებებს წარმოადგენდა:

- ლითონური დარიშხანის წარმოების მცირეებსმტაბურობა;
- დარიშხანით მდიდარი მდენების გამოყენება;
- შედარებით დაბალი ტემპერატურები და პროცესების ხანმოკლეობა;
- ოპერაციების მინიმალური რაოდენობა;
- დარიშხანის ორთქლის აქტიურობა;
- პროცესების ჩატარების აუცილებლობა პერმეტულად დასურულ აპარატებში.

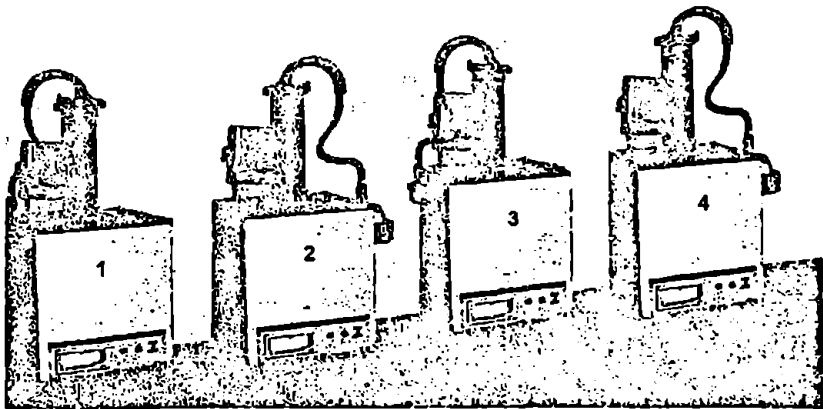
ზემოთ მოყვანილის ანალიზიდან გამოდინარე, დაშუშავებული ზერხის საწარმოო პროცესების აპარატურული გაფორმების ერთ-ერთ რაციონალურ ვარიანტად, როგორ ჩანს, პერიოდული მოქმედების მცირეაპარტიული აპარატების წყება უნდა ჩაითვალოს. სწორედ ამდაგვარი აპარატურული გაფორმებით დაინერგა ცანის (სვანეთი) დარიშხანის ქარხანაში (საქართველოს მეტალურგიის ინსტიტუტის მიერ) არსენობირიტიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების ტექნოლოგია.

ცანის დარიშხანის ქარხანაში არსენობირიტიული მდენიდან ახალი ვარიანტით ტექნიკური სისუფთავის ლითონური დარიშხანის მიღების უბნის ერთ-ერთ ნაწილში განლაგებული აპარატების წყება ნაჩვენებია III.70. სურათზე.

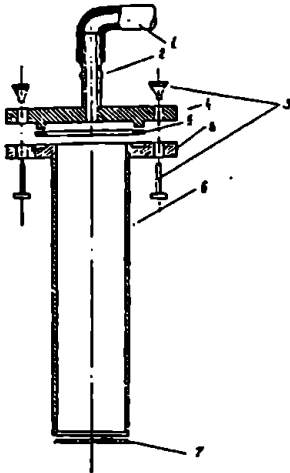
აპარატი შედგება უქანგავი ფოლადისგან დამზადებული მარტივი ტიპის რეტორტისგან (სურ. III.71.) და შახტური ტიპის სტანდარტული ელექტროლუმენისგან (ШШОП - 11,6/12).

რეტორტა წარმოადგენს უქანგავი ფოლადის მილს (დიამეტრით 110 და სიგრძით 1000 მმ), რომლის ერთი ბოლო (ძირი) შედუღებულია. მილის მეორე ბოლოზე (რეტორტის თავი) მიდუღებულია მილტუჩი, რომელშიც რეზინის შუასაღები თავსდება. რეტორტის თავსახურავი მილტუჩთან ჭანჭიკების მეშვეობით არის მოჭვრილი. თავსახურის შტუცერი შლანგით უერთდება სითხური საცეტის სისტემას. რეტორტაში კვარცის კონდენსატორის მოთავსების შემდეგ კორუნდისგან დამზადებული ცილინდრული ფორმის ტიგელი მასში ჩატვირთული მდენით, რეტორტის ძირზე იდგმება.

თერმული დისოციაციის ჩასატარებლად მდენით დატვირთული რეტორტა წინასწარ გახურებული (740°C) ლუმელში თავსდება. სარეაქციო ტემპერატურამდე მდენის გახურებას 20-30 წთ ესაჭიროება

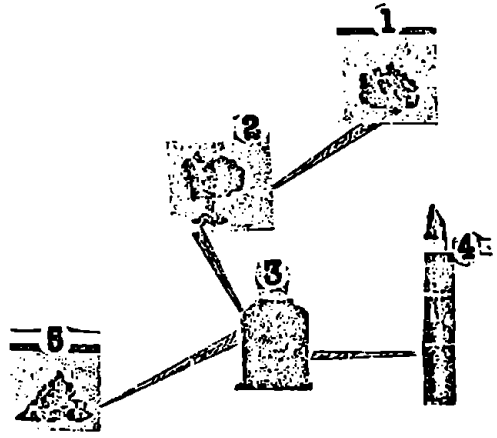


სურ. III.70. არსენობირიტიული მდენის თერმული დამლეთ ლითონური დარიშხანის მისაღები აპარატების წყება ცანის დარიშხანის ქარხანაში (მდენის გადსაშუშავებელი უბანი).



სურ. III.71. რეტორტა.

1. ფაქურმურა მალი; 2. შტუცერა; 3. კან-ჭიკა; 4. რეტორტის თავსახური; 5. რეზინის შუასადება; 6. უფანგავი ფოლადის შილა; 7. რეტორტის ძარი (შედღებულა მელთან მ); 8. რეტორტის მილტყმა.



სურ. III.72. ცანის დარიშხანის ქარხანაში არსებობ-
რითული მადნიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი
მიღების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1. არსენოზორტული მადანი; 2. მადნის მხვევა; 3. მადნის მადნოცხარებული გამოწევა; 4. ლითონური დარიშხანი; 5. გოგირდოვანი რეინის ნარჩენი.

(რეტორტის გახურებულ ლუმელში ჩაშვების შემდეგ). ამ ხნის განმავლობაში რეტორტის მოცულობიდან, სითხური საკეტის გავლით, ჰერის გამოვლა ხდება. ჰერის გამოყოფის შეწყვეტის შემდეგ რეტორტის თავსახურის შტუცერთან შეერთებული მილი მოპჭირით გადაიკეტება და რეტორტაში სარეაქციო ტემპერატურამდე გახურებული მადნის თერმული დაშლა იწყება. რეტორტაში მიმდინარე პროცესები (მადნის თერმული დისოციაცია, ლითონური დარიშხანის სუბლიმაცია და მისი ორთქლის 400-500°C-ის ფარგლებში გახურებული კონდენსატორის ზედაპირზე კონდენსაცია) 2 საათში მთავრდება, რის შემდეგაც რეტორტა ლუმელიდან ამოიღება და ჰერზე ცივდება. ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებულ რეტორტაში ჰერის შეშვებისა და რეტორტის თავსახურის მოხსნის შემდეგ რეტორტიდან ამოიღება კონდენსატორი მასზე დაკონდენსირებული ლითონური დარიშხანის კონდენსატით და ტიკელი მადნის მყარი ნარჩენით. ლითონური დარიშხანის კონდენსატი (99,5%As), ღრმა გასუფთავების მიზნით, რაფინირების უბანზე გადადის, ხოლო მყარი ნარჩენი, რომელიც სამრეწველო მნიშვნელობის სასარგებლო ელემენტებს შეიცავს (ცხრილი III.18.), მასში ჩარჩენილი დარიშხანის გახურების მიზნით, თერმულ დამუშავებას განიცდის დახურული ტიპის აპარატში (რეტორტაში, სურ. III.71.) 900°C-ზე. თერმულად დამუშავებული მყარი ნარჩენის ქიმიური ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია III.19. ცხრილში. მყარი ნარჩენი, რომელიც პრაქტიკული მნიშვნელობის ოქროსა და ვერცხლს შეიცავს, გოგირდოვანი რეინისგან შედგება. კეთილშობილი ლითონების ამოღების მიზნით, ნარჩენის ჩართვა სპილენძის მეტალურგიული გადამუშავების ამა თუ იმ ეტაპზე მიზანშეწონილი იქნება.

ცანის არსენოპირითული მადნის თერმული დისოციაციით ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.72. სურათზე.

ცხრილი III.18.

მყარი ნარჩენის გასაშუალოებული ქარხნული ხსნავების ქიმიური ანალიზის შედეგები

ელემენტა	Fe	S	As	Bi	Pb	Cu	Zn	Sa	Sb	Au	Ag	Se
შტუცელობა, %	51,10	29,40	10,00	0,40	0,55	0,20	0,087	0,07	0,07	6-8 გ/ტ	30-40 გ/ტ	0,01
მასის მ.ხვევათ												

თერმულად დამუშავებული მყარი ნარჩენის ქიმიური ანალიზის შედეგები

ელემენტი	Fe	S	As	Bi	Pb	Cu	Zn	Sn	Sb	Au	Ag	Se
შეცვლა, %	55,60	32,0	0,20	0,44	0,58	0,25	0,09	0,75	0,012	7-9 გ/ტ	35-45 გ/ტ	0,012
მისი მსხველი												

5.3. დარიშხანის სულფიდური მადნებიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების ახალი ხერხი

არსენოპირიტული მადნებიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების ახალი ვარიანტი, რომელიც არსენოპირიტის თერმულ დაშლას ითვალისწინებს, გამოუადგვარია დარიშხანის სულფიდური ტიპის მადნების გადასამუშავებლად. განსხვავებით არსენოპირიტისგან, დარიშხანის სულფიდური მინერალები გახსურებით (მეტალურგიულ პროცესებში გამოყენებულ ტემპერატურებზე) არ იშლება, ენაიდან დაშლამდე მათი აქროლა ხდება შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე. ამიტომ დარიშხანის სულფიდური მადნებიდან ელემენტური დარიშხანის მისაღებად თერმული დაშლის ხერხი არ გამოადგება. დარიშხანი გოგირდთან სამ სულფიდს წარმოქმნის: As_2S_3 , As_2S_4 -სა და As_2S_5 , ხუთგოგირდანი დარიშხანი გახსურებით იშლება ელემენტურ გოგირდად და უძაბლეს სულფიდად, ხოლო ოთხგოგირდანი დარიშხანი (რეალგარი) ჯერ კიდევ დუღილის დაწყებამდე დაშლის შედეგად აურაიგმენტში (As_2S_3) გადადის. სამგოგირდანი დარიშხანი (აურიპიგმენტი) ოქროს ფერისა (ლათონურად aurum+pigmentum-ოქროპიგმენტი), $310^{\circ}C$ -ზე დნება და დუღილის დროსაც ($706^{\circ}C$) კი არ იშლება (აურიპიგმენტის ორთქლის წინასწორული წნევა დაახლოებით 1093 პას შეადგენს $350^{\circ}C$ -ზე).

უშუალოდ სულფიდური მადნებიდან დარიშხანის პირდაპირი ამოღების მიზნით, შერჩეულ იქნა ლითონთერმული პროცესი. პროცესს საფუძვლად უდევს რეაქცია, რომელიც სულფიდში შემავალი ლითონის სხვა ლითონით გაბეჭებას ითვალისწინებს.

სულფიდიდან ლითონის გამოძევა, ანუ მისი ჩანაცვლება, შესაძლებელია სხვა ლითონით, რომელიც სულფიდში შემავალ ლითონთან შედარებით, უფრო დიდ ნათესაურ კავშირშია გოგირდთან. სხვა ლითონის სულფიდის ლითონთან ურთიერთქმედების დროს მათ შორის წინასწარობა შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



ამ რეაქციის მსვლელობის დროს შესაძლებელია ორი შემთხვევა: თუ რეაქცია დაბალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს, როდესაც სულფიდებსა და ლითონებს შორის არც მყარი და არც თხევადი ხსნარები არ წარმოიქმნება, მაშინ რეაქცია შეიძლება განეთარდეს ორივე მიმართულებით (ან მარჯვნივ ან მარცხნივ) ბოლომდე, ანუ ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების გაქრობამდე. რეაქციის მიმართულება ჯიბის ენერჯის კანონით განისაზღვრება. ჯიბის ენერჯია ელემენტებთან სულფიდების წარმოქმნის ენთალპიების ალგებრული ჯამით განისაზღვრება:



იმ შემთხვევაში, თუ $\Delta G < 0$, მაშინ რეაქცია მარჯვნივ გადაიხრება. თუ რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებები ხსნარებს წარმოქმნის, მაშინ რეაქცია (III.105.) ბოლომდე არ წარიმართება და ნაღობში შემავალ ყველა ოთხ ნივთიერებას შორის წინასწარობა დამყარდება.

იმის გათვალისწინებით, რომ რკინა და გოგირდი ერთმანეთთან დიდ ნათესაურ კავშირშია, ლითონური დარიშხანის პირდაპირი გამოყოფის შესაძლებლობის დადგენა დარიშხანის ბუნებრივი სულფიდისა და რკინის ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევებით წარიმართა:



წინასწარი თერმოდინამიკური გათვლებით დადგინდა, რომ $298-832^{\circ}K$ ინტერვალში რეაქციის (III.107.) ΔG -ის სიდიდე უარყოფითია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ რეაქცია (III.107.) მარცხნიდან მარჯვნივ წარიმართება (თერმოდინამიკურად).

მისაღები ლითონის ხარისხი ბევრადაა დამოკიდებული საწყისი ნედლეულის ხარისხზე. რაც უფრო დიდი რაოდენობითაა ძირითადი ლითონი საწყის ნედლეულში, მით უფრო ეფექტურია მის გამოყოფის ძირითადი მეტალურგიული პროცესი.

დარიშხანის შემცველობის მიხედვით, რაჭის სულფიდური მადანი (As-7%) ბევრად ღარიბია ცანის არსენოპირიტულ მადანზე (As-35-40%), ამიტომ სულფიდური მადნის გამდიდრება საგრძნობლად გააძვირებს სულფიდური ლითონური დარიშხანის გამოყოფის მეტალურგიულ პროცესს.

დარიშხანის სულფიდური მადნების გასამდიდრებლად ავტორების მიერ (საქ. მეც. აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტი; ვაკეშვილი საეკტორო მოწმობები) დამუშავდა გამდიდრების ანუ სუფთა დარიშხანის სულფიდის მიღების ახალი, არატრადიციული ხერხი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნა დარიშხანის ბუნებრივი სულფიდების ადვილად აქროლა. დარიშხანის სულფიდის მიღების ხერხი ითვალისწინებს მადნიდან დარიშხანის სულფიდის თერმულ აქროლას საშუალო ვაკუუმში.

5.3.1 დარიშხანის სულფიდური მადნიდან სუფთა დარიშხანის სულფიდის მიღება თერმული აქროლის ვით

მადნიდან დარიშხანის სულფიდის თერმული აქროლის ოპტიმალური პირობების დასადგენად აქროლის პროცესი სხვადასხვა პირობებში ტარდებოდა (მადნის სინჯებში დარიშხანის შემცველობა, მასის მიხედვით 7,43; 24,39-სა და 36,58% შეადგენდა).

დახურული ტიპის აპარატში და არგონის ატმოსფეროში 400-700°C-ის ტემპერატურულ ინტერვალში აქროლის პროცესი სულფიდის დაბალი გამოსავლიანობით ხასიათდება. ასე, მაგალითად, 700°C-ზე მადნის 2 – საათიანი გახურებით, როგორც დახურული ტიპის აპარატში, ასევე არგონის ატმოსფეროში დარიშხანის სულფიდის გამოსავლიანობა 20%-ს არ აღემატება.

საშუალო ვაკუუმის (13,3-1,33 პას) და 250-400°C-ის ტემპერატურული ინტერვალის პირობებში (მადნის სხვადასხვა სინჯებზე – დარიშხანის შემცველობისა და მადნის სისხოს მიხედვით) ჩატარებული ექსპერიმენტები კი, სულფიდის გამოსავლიანობისა და მისი ხარისხის მიხედვით, მაღალი მაჩვენებლებით გამოირჩევა. ამიტომ ამ მონაცემების საფუძველზე დამუშავდა რაჭის დარიშხანის სულფიდური მადნის გამდიდრების (მადნიდან დარიშხანის სულფიდის მიღების) საწარმოო ტექნოლოგია.

ტექნოლოგიის მიხედვით მადანი მილიან ვერტიკალურ ელექტროლუმებში ხურდება. რეტორტის სახით გამოიყენება ერთი ბოლოთი შედუღებული უფანგავი ფოლადის მილი. რეტორტაში კვარცის კონდენსატორის ჩამუშების შემდეგ რეტორტის ძირზე იდგმება კვარცის (ან კარბორუნდის) ტიფელი მასში ჩატვირთული მადნით. პერმეტიული თავსახურავით დახურვის შემდეგ რეტორტა მექანიკურ ვაკუუმურ ტუმბოს უერთდება და რეტორტაში გაუხშობა იქმნება, რის შემდეგაც რეტორტა წინასწარ გახურებულ ლუმელში თავსდება. პროცესის დამთავრების შემდეგ რეტორტა ამოიღება ლუმელიდან და ოთახის ტემპერატურამდე მისი გაციელების შემდეგ ვაკუუმური ტუმბო გამოირთვება. რეტორტის გასწვრივ შემდეგ რეტორტიდან ამოიღება კონდენსატორი მასზე დამჯდარი დარიშხანის სულფიდითა და აქროლის მყარი ნარჩენით.

დარიშხანის სულფიდური მადნების ვაკუუმთერმული გადამუშავებით დარიშხანის სულფიდის გამოყოფის ოპტიმალური პირობები წარმოადგენილია III.20. ცხრილში.

ცხრილი III.20.

დარიშხანის სულფიდური მადნებიდან დარიშხანის სულფიდის გამოყოფის ოპტიმალური პირობები

მადნის გახურების ტემპერატურა °C	ხანგრძლივობა, წთ.	მადნის ნაჭრების სისხო, მმ	ნარჩენი სერის წნევა, პას.	დარიშხანის სულფიდის კონდენსაციის ტემპერატურა, °C
350	120	8-15	13,3-1,33	100-150

დარიშხანის სულფიდური მადნების გამდიდრების ვაკუუმთერმული ხერხი არამარტო მაღალი ხარისხის დარიშხანის კონცენტრატის მიღების საშუალებას იძლევა, არამედ იგი სუფთა დარიშხანის სულფიდის მიღებასაც უზრუნველყოფს. დარიშხანის სულფიდი, როგორც მიზნობრივი პროდუქტი, გამოიყენება ტექნიკის სხვადასხვა დარგებში (ოპტიკური შუშები, ქალოკენილური ნაერთები).

5.3.2. დარიშხანის სულფიდთან ლითონურა დარიშხანის პირდაპირი მიღების ლითონთერმული ხერხი

დარიშხანის სულფიდისა და რკინის ურთიერთქმედებით (რეაქცია III.107.) ლითონურ დარიშხანის გამოყოფის პრაქტიკული შესაძლებლობის დასადგენად ჩატარებული ექსპერიმენტები ითვალისწინებდა დარიშხანის სულფიდისა და რკინის ფენილებისგან შემდგარი ნარევის თერმულ დამუშავებას 400-800°C-ის ტემპერატურულ ზღვრებში. სულფიდის აქროლის თავიდან აცილების მიზნით, ექსპერიმენტები ვაკუუმირებულ და დარჩილულ კვარცის ამალებში ტარდებოდა. რეაქციის (III.107.) ყოველმხრივი შესწავლის (კინეტიკის შესწავლა, თერმოდრამული კვლევა და ა.შ.) შედეგად დადგინდა, რომ სულფიდისა და რკინის ნარევის შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე (400-450°C) დამუშავებით (პერმეტულად დახურულ ჭურჭელში) შესაძლებელია სულფიდიდან ლითონური დარიშხანის მაღალი ხარისხით ამოღება. ნარევის თერმული დამუშავების შედეგად შექმნილი მყარი მასის (მორუხო ფერის, ბზინვარე კრისტალების ჩანარობით) სახით წარმოიქმნება გოგიდოლოანი რკინისა და ლითონური დარიშხანის მუქნიკური ნარევი. პერმეტულად დახურულ ჭურჭელში დარიშხანის სულფიდისა და რკინის ფენილების ნარევის გახურებით ლითონთერმული რეაქცია (III.107.) მაღალი სისრულით მიმდინარეობს. თუმცა, 420°C-ის ზევით ტემპერატურის გაზრდა ნაკლებ გავლენას ახდენს ლითონთერმულ პროცესზე. ნარევის გახურების ხანგრძლივობის გაზრდით კომპონენტების ურთიერთქმედების პროცესი ინტენსივირდება, თუმცა, 120 წთ-ზე ზევით ხანგრძლივობის გაზრდა ნაკლებად მოქმედებს პროცესზე.

ლითონთერმული პროცესის შედეგად მიღებული შექმნილი მასიდან (რკინის სულფიდისა და ლითონური დარიშხანის შექანიკური ნარევი) ლითონური დარიშხანის ექსპერიმენტული კვლევები მასის ვაკუუმის პირობებში გახურებით ტარდებოდა. დადგინდა, რომ შექმნილი მასის (1-10 გ ოდენობით) 325-350°C-ზე ვაკუუმში გახურებით ლითონური დარიშხანის აქროლის პროცესი 90-80 წთ გრძელდება, ხოლო 365-425°C-ზე აქროლა 30-10 წუთში მთავრდება. დარიშხანის ორთქლის კონდენსაცია 200-150°C-ის ინტერვალში ხდება. აქროლილი მინარევეები ლითონური დარიშხანის კრისტალური კონდენსაციისგან დამორბეულ ზედაპირზე (100°C-ზე) კონდენსირდება.

ექსპერიმენტების მონაცემების საფუძველზე საწარმოო ტექნოლოგიისთვის დადგინდა დარიშხანის ბუნებრივი სულფიდთან, ლითონთერმული გზით ლითონური დარიშხანის მიღების ოპტიმალური პირობები, რომელიც წარმოადგენილია III.21. ცხრილში.

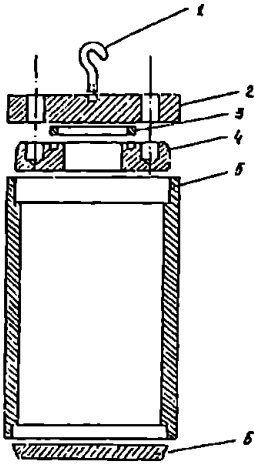
ცხრილი III.21

დარიშხანის ბუნებრივი სულფიდიდან ლითონური დარიშხანის მიღების ოპტიმალური პირობები

ფენილისებრი რკინის შემცველობა დარიშხანის სულფიდთან ნარევაში, % მასის მიხედვით	ნარევის გახურების ტემპერატურა, °C	გახურების ხანგრძლივობა, წთ	თერმულად დამუშავებული ნარევიდან დარიშხანის ვაკუუმში აქროლის ტემპერატურა, °C	აქროლის ხანგრძლივობა, წთ
50	420-450	180	400	180

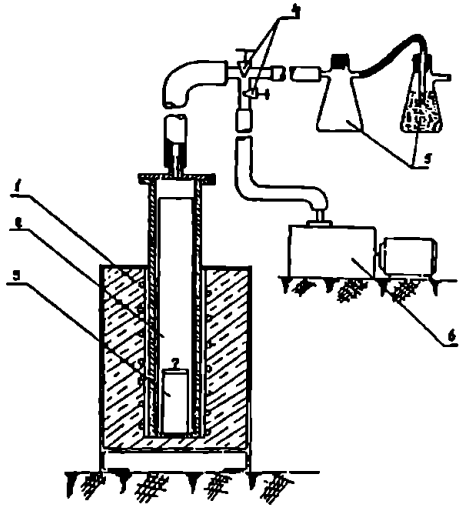
დარიშხანის სულფიდისა და რკინის ნარევის თერმული დამუშავებისთვის საციალური რეაქტორი (ტიკელი) გამოიყენება (სურ. II.73.).

რეაქტორი წარმოადგენს უეანგავი ფოლადის მილს (დიამეტრით 50 და სიგრძით 80 მმ), რომლის ბოლოებთან მიდრეკილია ძირი და მილტური. რეაქტორის მილტური, რომელშიც ჩასხულია ლითონის შუასადები, იხურება სახურავით. სახურავი მოჭერილია კანჭიკებით. რეაქტორი მასში ჩატირთული ნარევი ლითონური დარიშხანის მისადები აპარატის (რეტორტის) ძირზე თავსდება (სურ. III.74.), რის შემდეგაც რეტორტა იხურება თავსახურავით, რომელიც ონკანით (4) მიერთებულია სითხურ საკეტთან (5) და ვაკუუმურ ტუმბოსთან (6). ლუმელში ჩაშვების წინ (ლუმელი წინასწარ ხურდება) რეტორტა სითხური საკეტის სისტემას უერთდება. ნარევის თერმული დამუშავების შემდეგ რეტორტა ლუმელიდან ამოიღება და ოთახის ტემპერატურამდე ცივდება. გაცივებული რეტორტიდან ამოღებულ რეაქტორის თავსახურავი ეხსნება. ღია რეაქტორი, თერმულად დამუშავებულ ნარევიდან ერთად ისევ რეტორტის ძირზე თავსდება. რეტორტა იხურება თავსახურავით და 400°C-მდე გახურებულ ლუმელში ჩაშვების წინ ვაკუუმურ სისტემას უერთდება. აქროლის პროცესის დამთავრების შემდეგ



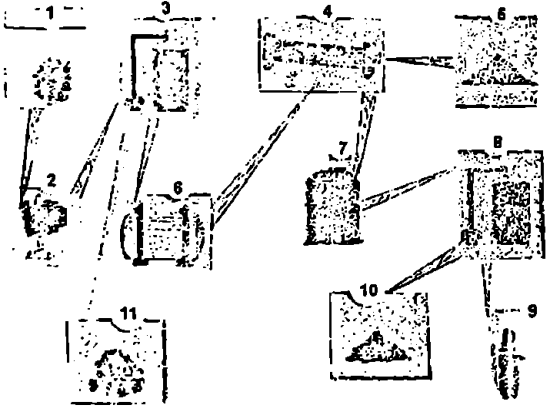
სურ. III.73. უვანგავი ფოლადისგან დამზადებული სპეციალური პერმეტული რეაქტორი (ტოვლი).

1. კაუჩი; 2. ტოვლის თავსასურავი; 3. შეასადები; 4. მილტუნი (შედუღებულა მილთან); 5. მილი; 6. ტოვლის ძირი (შედუღებულაა მილთან 5).



სურ. III.74. ლითონაერმული ხერხით ლითონურ დარიშხანის მისაღები აპარატის სქემა.

1. ელექტრიფიკაცია; 2. რეტორტა კვარცის კონდენსატორით; 3. რეაქტორი; 4. ოსკანი; 5. სითხური საკეტო; 6. ტუმბო.



სურ. III.75. სულფიდური მადნიდან ლითონური დარიშხანის მიღების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1. დარიშხანის სულფიდური მადანი; 2. მადნის მსხვერვა; 3. მადნიდან დარიშხანის სულფიდის ვაკუუმური აქროლა; 4. სულფიდის დაქუცმაცება; 5. სულფიდისა და რკინის ფხვნილების შერევა; 6. ფხვნილების რკინა; 7. ნარევის თერმული დამუშავება; 8. უმცხვარი ნარევიდან ლითონური დარიშხანის ვაკუუმური აქროლა; 9. ტექნიკური სასუფთავის ლითონური დარიშხანი; 10. ნარევის აქროლის ნარჩენი; 11. მადნის აქროლის ნარჩენი.

რეტორტა ღუმელიდან ამოიღება და ოთახის ტემპერატურამდე ცივდება, რის შემდეგაც რეტორტა ვაკუუმური სისტემიდან გამოირთვება. რეტორტიდან ამოიღება კონდენსატორი მასზე დაკონდენსირებული ლითონური დარიშხანით და რეაქტორი გოგირდოვანი რკინის ნარჩენით.

ლითონთერმულ პროცესში დარიშხანი 94-96%-ით აღდგება, ხოლო აქროლის პროცესში ლითონური დარიშხანის ანაქროლი 92% შედგენს მასის მიხედვით.

დარიშხანის სულფიდური მადნიდან ლითონური დარიშხანის პირდაპირი მიღების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.75. სურათზე მადნიდან სულფიდის მისაღები აპარატის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 9,5 კგ სულფიდია, ხოლო ლითონური დარიშხანის მისაღები აპარატის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 6-8 კგ დარიშხანს შეადგენს.

5.4. ლითონური დარიშხანის რაფინირება

გალომის არსნიდის (GaAs) ტიპის მაღალი ხარისხის ნახევრად გამტარი ნაერთების წარმოებისთვის აუცილებელია საწყისი ელემენტების მაღალი სისუფთავე, ვინაიდან ელემენტებიდან სინთეზირებული ნაერთის გასუფთავება სასურველ შედეგს არ იძლევა.

ლითონური დარიშხანის ღრმა გასუფთავება ჯერ კიდევ რთულ ამოცანას წარმოადგენს. გასუფთავების ეფექტური მეთოდების დამუშავების სიძნელეები დარიშხანის განსაკუთრებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებიდან გამომდინარეობს. იგი ერთადერთი ლითონია, რომელსაც ნორმალური წნევის პირობებში დნობის ტემპერატურაზე (დნება 818°C-ზე 36 ატმოსფერულ წნევაზე) უფრო დაბალი დუღილის ტემპერატურა (610°C) გააჩნია. დარიშხანი ადვილად იფანება და თითქმის, ყველა ელემენტთან აქტიურად ურთიერობენ. დარიშხანის გაერყელებულ მინარევებს წარმოადგენს: ვოგირდი, სელენი, ტელური, ანთიმონი და ბისმუტი. ამ მინარევების უმეტესობას დარიშხანთან მიახლოებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები გააჩნია.

დარიშხანის ნაერთები (AsH_3 , $AsCl_3$, As_2O_3) მაღალი ტოქსიკურობით გამოირჩევა, რაც ართულებს ქიმიური მეთოდების გამოყენებას დარიშხანის გასასუფთავებლად აღნიშნული ნაერთების გასუფთავების პროცესებში მონაწილეობის გამო.

ანალიტიკური ქიმიისა და ფიზიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე ნივთიერების ქიმიური შემადგენლობის პირდაპირი დეტალური ანალიზის საფუძველზე, ხშირად შეუძლებელია სისუფთავის ხარისხის შეფასება, თუმცა, ეს, პრინციპში, ნივთიერების სისუფთავის ხარისხის შესახებ ინფორმაციის მიღების ერთადერთი უტყუარი წყაროა.

პრაქტიკიდან გამომდინარე, ნივთიერება საკმაოდ სუფთაა თუ მასში ესა თუ ის მინარევი არ არის წარმოდგენილი იმ რაოდენობით, რომელიც ხელს შეუშლიდა ამ ნივთიერების გამოყენებას კონკრეტული მიზნის განხორციელებაში. აქედან გამომდინარე თვით სისუფთავის ცნებაც იცვლება.

თუ სამრეწველო გამოყენების მრავალი დარგისთვის მისაღებია ფართოდ გაერყელებული ლითონების (ალუმინის, სპილენძის, ნიკელის, კალის, ტყეის, თუთიის და სხვა ლითონის) სისუფთავე, რომელიც ძირითადი ლითონის შემცველობით 99,0-99,99%-ით განისაზღვრება, ახალი ტექნიკისა და მეცნიერების დარგებისთვის ასეთი სისუფთავე სრულიადაც არ არის საკმარისი.

ნახევრად გამტარი ხელსაწყოების წარმოების მოთხოვნებიდან გამომდინარე აუცილებელი გახდა ისეთი სისუფთავის ლითონების მიღება, რომლებშიც ძირითადი ლითონის შემცველობა 99,9999-99,999999% შეადგენს (სისუფთავის ხარისხის „ცხრიანებში“ გამოსახვა ყოფილ საბჭოთა კავშირში იყო მიღებული).

დასაქმებულ ლითონის სისუფთავე ხშირად გამოისახება სიმბოლო N-ით. ასე მაგალითად 2N-ით აღინიშნება ლითონური მასალის სისუფთავე, რომელშიც ლითონის შემცველობა 99% ტოლია, 2N5=99,5%, 5N8=99,9998%, 6N=99,9999% და ა.შ.

საგულისხმოა, რომ ლითონისა და ნახევრად გამტარი მასალის სისუფთავის ხარისხის „ცხრიანებში“ გამოსახვის ხერხი თავისი მნიშვნელობით ჯერჯერობით ჩვეულებრივი სამრეწველო ლითონებისთვისაა მისაღები. განსაკუთრებული სისუფთავის მასალებისთვის კი სისუფთავის ხარისხის გამოსახვის ასეთი ხერხი არასაკმარისია.

„ცხრიანებში“ გამოსახული ლითონის სისუფთავე ყოველთვის პირობითია, ვინაიდან სასაზღვრო მინარევების რიცხვი, როგორც წესი, 3-10 მთავარი მინარევით შემოისაზღვრება. ამ მინარევების ჯამი აკლდება 100-ს და ძირითადი ლითონის საეარაულო შემცველობა სხვაობით განისაზღვრება. თუ გავითვალისწინებთ გასუსაზღვრებადი მინარევების ჯამს, მაშინ სისუფთავის რიგი მნიშვნელოვნად შემცირდება. მაგალითად ABOO (99,99%Al) მარკის ალუმინის საგულდაგულო ანალიზის მიხედვით, გარდა ძირითადი მინარევებისა (Fe და Si), მასში აღმოჩნდა კიდევ 17 მინარევი, რომელთა ჯამური შემცველობა დაახლოებით 0,05% შეადგენდა, ამიტომ აღნიშნული მარკის ალუმინის ფაქტობრივი სისუფთავე 99,94%Al შეადგენს, ხოლო ანალიზის მეთოდის მგრძობიარობის გაზრდის შემთხვევაში მისი სისუფთავის ხარისხი კიდევ უფრო შემცირდება.

უფრო ზუსტია და თვალსაჩინო ყოველი სასაზღვრო მინარევის გამოსახვა პროცენტებში (როგორც წესი წონით ერთეულებში). ამ შემთხვევაში აზობენ – ლითონი შეიცავს 0,1, 02% და ა.შ. ან $1 \cdot 10^{-2}$, $2 \cdot 10^{-2}$ % და ა.შ. მინარევის.

ფართოდაა გავრცელებული სისუფთავის გამოსახვის ხერხი ppm ერთეულებში, რაც ნიშნავს parts per million (მინარეების წილის რიცხვი ძირითადი ლითონის ერთ მილიონ წილზე) და ppb ერთეულებში, რაც ნიშნავს parts per billion (მინარეების წილის რიცხვი ძირითადი ლითონის ერთ მილიარდ წილზე). ppm-ის ერთი ერთეული შეესაბამება $1 \cdot 10^{-6}$ ან $1 \cdot 10^{-4}$ %, ppb-ის ერთი ერთეული კი შეესაბამება $1 \cdot 10^{-9}$ ან $1 \cdot 10^{-7}$ %. ppm-სა და ppb-ს ერთეულების გამოსახვა ატომურ ან წონით წილებშიც შეიძლება. ამ შემთხვევაში, თუ მინარევის კონცენტრაცია მასალაში ერთი ppm-ის ტოლია, მაშინ ძირითადი მასალის 10^6 ატომი მინარევის 1 ატომს შეიცავს.

განსაკუთრებული სისუფთავის ლითონებისა და ნახევრად გამტარი მასალების სისუფთავის ხარისხის აღნიშვნისას მიმართავენ აგრეთვე გამოსახულებას, რომელშიც მასალის ერთ კუბურ სანტიმეტრში მინარევის შემცველობა მისი ატომების რიცხვითაა წარმოდგენილი. მაგალითად 10^{15} , 10^{16} ატომი/სმ³ და ა.შ. ცხადია, რომ რაც უფრო ნაკლებია ხარისხის მარკენებელი, მით უფრო სუფთაა მასალა.

სისუფთავისა და მინარეების შემცველობის აღნიშვნის ხერხი დღესაც არ არის ბოლომდე დახვეწილი. თუმცა, ცხადია, რომ ზესუფთა ლითონებისა და ნახევრად გამტარი მასალების შეფასება „ცხრიანების“ ხერხით არასაკმარისია. არ არის განსაზღვრული აგრეთვე ნივთიერების სისუფთავის ხარისხის აღნიშნული ტერმინები: „განსაკუთრებული სისუფთავის“, „ქიმიურად სუფთა“, „სექტრულად სუფთა“ და ა.შ. ასეთ მასალებს თან უნდა ასლდე მინარეების შემცველობის მარკენებელი.

ზმირად დარიშხანის სისუფთავის შესაფასებლად გამოიყენება არაპირდაპირი მეთოდი, რომელიც სინთეზით მიღებული ინდიუმის არსენიდის კრისტალებზე მუხტის მატარებლების კონცენტრაციისა და ძერადობის განსაზღვრას ითვალისწინებს. ეს პარამეტრები დარიშხანის სისუფთავის ხარისხზე დამოკიდებულებით მკვეთრად იცვლება. ცხადია, რომ მატარებლების ძერადობის სიდიდებით შეუძლებელია ცალკეული მინარევის განსაზღვრა, მაგრამ მიუხედავად ამისა, ეს მეთოდი, როგორც ჩანს, ყველაზე მისაღებ მეთოდად უნდა ჩაითვალოს დარიშხანის ხარისხის განსაზღვრის დროს.

დარიშხანის ღრმა გასუფთავების მიზნით, ცვალებადი წარმოტყებებით გამოიყენება:

- ლითონური დარიშხანის ვაკუუმური სუბლიმაცია;
- ლითონური დარიშხანის სუბლიმაცია წყალბადის ნაკადში;
- ორთქლზონური გასუფთავება;
- ნაერთების მეშვეობით გასუფთავება დარიშხანის შემდგომი აღდგენით;
- თეთრი დარიშხანის (As_2O_3) აღდგენა;
- დარიშხანის ქლორიდის აღდგენა;
- ელექტროგამოლექვა;
- კრისტალიზაციით გასუფთავება;
- დისტილაციური გასუფთავება.

5.4.1. ლითონური დარიშხანის ვაკუუმური სუბლიმაცია

ელემენტური (ლითონური) დარიშხანის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მიხედვით დარიშხანის ღრმა გასუფთავების ყველაზე ეფექტურ მეთოდად, ვარაუდით, სწორედ ვაკუუმური სუბლიმაცია უნდა ჩაითვალოს. თუმცა, პრაქტიკულად ამის განხორციელება ძნელია.

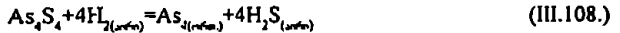
ვაკუუმში დარიშხანი $200-350^{\circ}C$ -ზე ქრულდება. სუბლიმაციის შედეგად დარიშხანი ადვილად სუფთავდება მძიმე ლითონებისგან. რაც შეეხება ისეთ მინარეებს, როგორიცაა გოგირდი, სელენი, ტელური და ანთიმონი, მათი აქროლა დარიშხანთან ერთად ხდება, რაც დარიშხანის გაჭუჭყიანებას იწვევს. ეს მინარეები ნაერთების სახითაც შედის დარიშხანში. მაგალითად, გოგირდი დარიშხანში AsS სახით შედის. დარიშხანის სუბლიმი ადვილად ქრულდება დარიშხანის ვაკუუმური სუბლიმაციის დროს და დარიშხანთან ერთად კონდენსირდება. ამიტომ აღნიშნული მინარეების დარიშხანიდან განდევნისთვის მარტივი სახის ვაკუუმური სუბლიმაცია არ გამოდგება.

ვაკუუმური სუბლიმაციის დროს ზმირად გამოიყენება კონდენსატორები ტემპერატურული გრადიენტებით. ერთ-ერთი მეთოდის მიხედვით, მიჩრილული და ვაკუუმირებული აშპულის ერთ ბოლოში თავსდება ლითონური დარიშხანი. ამჟელა ზურდება 9° -ზონიან მილიან ლუმელში. აშპულის

დარიშხანიან ბოლოში ტემპერატურა 400°C-მდე აღწევს, ხოლო ღუმელის მომდევნო სექციებში (ზონებში) ტემპერატურა უტაპობრივად მცირდება 150°C-მდე. კონდენსატორის უფრო ცივ უბნებზე კონდენსაციას განიცდის უფრო მეტად აქროლადი მინარევები (დარიშხანის ოქსიდი და სულფიდი). დარიშხანი კონდენსირდება შუა ზონებში, ხოლო ძნელად აქროლადი მინარევები (ნახშირბადი, რკინა და სხვა მინარევები) რჩება ამპულის ცხელ ბოლოში.

5.4.2. ლითონური დარიშხანის სუბლიმაცია წყალბადის ნაკადში

გოგირდის განდევნის მიზნით ხშირად დარიშხანის სუბლიმაციის პროცესი წყალბადის ნაკადში ტარდება. გოგირდისა და წყალბადის ურთიერთქმედებით აირადი გოგირდწყალბადი წარმოიქმნება:



რეაქციის წინასწორება რომ მარჯენივ გადახაროს, აუცილებელია წყალბადის დარიშხანთან პარციალური წნევების ფარდობის გაზრდა. გოგირდწყალბადი ლითონური დარიშხანის კონდენსაციის ზონიდან წყალბადის ნაკადით გაიტანება. ამ მეთოდით გასუფთავებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშებზე სინთეზირებული ინდიუმის არსენიდზე გაზომილი მატარებლების ძერალობა 9000-46100 მ³/ვოლ.წმ-ის ფარგლებშია (მატარებლების 3,6·10¹⁶-2,6·10¹⁶ სმ³ კონცენტრაციაზე).

5.4.3. ლითონური დარიშხანის გასუფთავება ორთქლზონურა მეთოდით

დარიშხანის ვაკუუმთერმული სუბლიმაციის დროს მინარევების ეფექტური განცალკევების მიზნით, ტემპერატურული გრადიენტის მქონე კონდენსატორთან ერთად მოძრავი საორთქლებული გამოიყენება. გასასუფთავებელი დარიშხანი თავსდება გრძელი მილის (პირექსის ან კვარცისგანაა დამზადებული) ბოლოში, ხოლო მილი ტემპერატურული გრადიენტების მქონე ღუმელში. გახურებით დარიშხანი სუბლიმაციას განიცდის და შემდეგ კონდენსირდება უფრო დაბალი ტემპერატურების ზონაში. მინარევებისგან გასუფთავება ორივე პროცესის (სუბლიმაციისა და კონდენსაციის) დროს ხდება. მილის გასწვრივ ღუმელის ნელი მოძრაობის შედეგად დარიშხანის უწყვეტი და მრავალჯერადი რესუბლიმაცია ხდება, რაც პროგრესულ გასუფთავებას უზრუნველყოფს.

მოძრავი საორთქლების მეთოდის სახესხეობას წარმოადგენს ზონური გასუფთავება ორთქლის ფაზაში, რომელიც დარიშხანის ღრმა გასუფთავებისთვის გამოიყენება. ჩვეულებრივ ზონური დნობით დარიშხანის გასუფთავების სიძნელეების გამო ამ მეთოდში ლითონური დარიშხანის გასუფთავების პროცესი ორთქლის ზონის მიძრავით ხორციელდება. ლითონური დარიშხანი, რომელიც პირქვის ძოლში მოთავსებული, მოძრავი სახურებლით ხურდება. სახურებლის გადაადგილების სიჩქარე 40 მმ/თ. ორთქლის ზონის ექსტრე გავლის შემდეგ დარიშხანის მასის დასაწყისში სილიციუმის, რკინის, ალუმინის და სილიციუმის კონცენტრაცია საშუალო იზრდება; საშუალო იზრდება აგრეთვე ტყეისა და ბისმუტის შემცველობა მასის ბოლოში, ხოლო მაგნიუმისა და ვერცხლის რაოდენობა მასის მთელ სიგრძეზე თანაბარი რჩება. ამ პროცესის შედეგად დარიშხანის მასის შუა ნაწილში მინარევების რაოდენობა, საწყის დარიშხანთან შედარებით ორჯერ მცირდება.

5.4.4. დარიშხანის გასუფთავება მისი ნაერთების მეშვეობით

გოგირდის განდევნის მიზნით, ლითონური დარიშხანი ხშირად თეთრ დარიშხანში (As₂O₃) გადაყვანას ექვემდებარება და შემდეგ ოქსიდიდან აღდგენას განიცდის. ოქსიდის აღდგენა სუფთა ზის ნახშირით 600-750°C-ზე ხდება წყალბადის ნაკადში. რეაქტორად კვარცის მილი გამოიყენება. პროცესის დაწყებამდე ზის ნახშირი განსაკუთრებული სისუფთავის HCl-თა და HNO₃-ით შეიწმობება, შემდეგ კი გულდასმით ირეცხება დისტილირებული წყლით.

გვრთწყოლებულ ქლორიდულ მეთოდში, დარიშხანის გასუფთავების მიზნით, საწყის მასალად მისი ქლორიდი (AsCl₃) გამოიყენება. ქლორიდი მიიღება ლითონური დარიშხანის ქლორთან ან თეთრი დარიშხანის მარილმჟავასთან ურთიერთქმედებით:





დარიშხანის ქლორიდის გასუფთავება დისტილაციით ან ორსაფეხურიანი რექტიფიკაციით ხორციელდება. გასუფთავებული ქლორიდიდან დარიშხანის ალდგენა წყალბადის მეშვეობით ხდება. ქლორიდით გაჯერებული წყალბადი ორზონიან ლუმენში მოთავსებულ კვარცის მილში გაედინება. დარიშხანის ქლორიდი ალდგენას განიცდის მაღალი ტემპერატურის ზონაში 850-900°C-ზე:



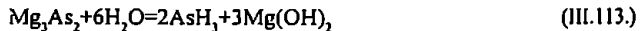
ალდგენილი ლითონური დარიშხანი კონდენსაციას განიცდის დაბალი ტემპერატურის ზონაში 300°C-ზე. უფრო მეტად გასუფთავების მიზნით ალდგენილი ლითონური დარიშხანის კონდენსატი სუბლიმაციას ექვემდებარება ინერტულ ატმოსფეროში. ამგვარად გასუფთავებულ ლითონურ დარიშხანში მინარევების შემცველობა ერთ ტონა პროდუქტზე 1,2-1,4 გ შეადგენს.

დარიშხანის ღრმა გასუფთავების მიზნით გამოიყენება საწყისი ნაერთის სახით აირადი დარიშხანოვანი წყალბადი (არსინი – AsH_3). არსინის მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა ხერხით – ამონიუმის ბრომიდისა და ნატრიუმის არსენიდის ურთიერთქმედებით, მაგნიუმის არსენიდის ჰიდროლიზითა და სხვა მეთოდებით.

რუსეთის ერთ-ერთ ქარხანაში არსინის მისაღებად მაგნიუმის არსენიდი გამოიყენებოდა. მაგნიუმის არსენიდის მიღება ლითონური დარიშხანისა და მაგნიუმის 400-450°C-ზე ურთიერთქმედებით ხორციელდება:

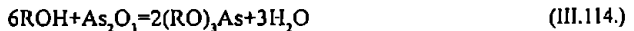


მაგნიუმის არსენიდის შემდგომი ჰიდროლიზით არსინი წარმოიქმნება:

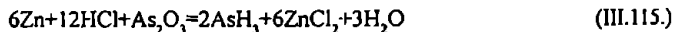


არსინის გასუფთავების ციკლი ფილტრაციის, სორბციისა და დისტილაციის პროცესებისგან შედგება. არსინის გასუფთავების პროცესში, დანამატის სახით, გამოიყენება სხვადასხვა რეაგენტი (მარილმჟავა-ჰიდროქსილონი, ტრილონი, მწკვეუ კალციუმი). ბოლო ეტაპზე გასუფთავებული არსინის პიროლიზით (დაშლით) სუფთა ლითონური დარიშხანი მიიღება.

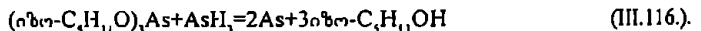
ცნობილია მეთოდი, რომლის მეშვეობითაც სუფთა ლითონური დარიშხანი დარიშხანოვანი მჟავას ეთერისა და არსინის ურთიერთქმედების შედეგად მიიღება. ეთერის მიღება თეთრი დარიშხანის და სპირტის ურთიერთქმედებით ხდება:



ხოლო არსინი შემდეგი ჯამური რეაქციებით მიიღება:



დარიშხანოვანი მჟავას ეთერის ალდგენა ლითონურ დარიშხანად გამოისახება შემდეგი რეაქციით:



სექტრული ანალიზის მიხედვით, მიღებულ ლითონურ დარიშხანში ჯამური შემცველობა ისეთი მინარევებისა, როგორცაა რკინა, მაგნიუმი, სპილენძი, სილიციუმი და კალციუმი, 5·10⁻⁴% შეადგენს.

5.4.5. დარიშხანის გასუფთავება ელექტროგამოლექვის მეთოდით

ელექტროლიტური რაფინირების მეთოდი ითვალისწინებს დარიშხანის ღრმა გასუფთავებას აზოტოვანი ორგანული ნივთიერებისგან შემდგარი ელექტროლიტის გამოყენებით. ელექტროლიზი ტარდება 150°C ტემპერატურაზე, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროლიტის საკმაოდ მაღალ ელექტროგამტარობას.

დარიშხანის ელექტროლიტური გამოყოფა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების დანამატების გამოყენებით ხდება. ამ დანამატების ელექტროლიტში შეტანით კათოდის ზედაპირზე ელემენტური დარიშხანის მტკიცე ზედაპირული ფენა არ წარმოიქმნება და დარიშხანი წვრილი დისპერსიული

ფხენილის სახით ელექტროლიტის მოცულობაში ცვივა. შედეგად დარიშხანის მომდევნო პორციების აღდგენა ზედაპირული ფენის ფორმებში კი აღარ ხდება, არამედ ელექტროლის მთელ ზედაპირზე ხორციელდება. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების დამატებით ელექტროლიზის პროცესის სიჩქარე 5-10-ჯერ იზრდება.

დარიშხანის გასუფთავება შესაძლებელია ალკილის ნაერთების გამოყენებით. მეთოდი ითვალისწინებს დარიშხანის ალკილის ნაერთების სინთეზს – მათ დისტალაციურ გასუფთავებას – ნაერთების თერმულ დაშლასა და ლითონის გასუფთავებას ნახშირბადისგან.

დარიშხანის ღრმა გასუფთავების ზემოთ აღწერილი ქიმიური მეთოდები მრავალსტადიურია. ყველა მათგანი შემდეგი ძირითადი ეტაპებისგან შედგება:

- დარიშხანის ნაერთების სინთეზი;
- დარიშხანის ნაერთების გასუფთავება;
- დარიშხანის აღდგენა;
- აღდგენილი დარიშხანის გადასუფთავება.

ყოველი ეტაპი მრავალი ოპერაციისგან შედგება. დარიშხანის მაღალი აქტიურობის გამო, ყველა იმ პროცესის შედეგად, რომელიც დარიშხანის ნაერთების მიღებასა და მათ აღდგენასთანაა დაკავშირებული, აღდგენილ ლითონურ დარიშხანაში, ამა თუ იმ რაოდენობით მინარევების სახით ყოველთვის რჩება ის „დამხმარე ელემენტები“, რომლებიც ქიმიური მეთოდების ოპერაციებისა და პროცესების დროს გამოიყენებოდა.

დარიშხანის გასუფთავების ქიმიური ხერხის მნიშვნელოვანი ნაკლი ისიცაა, რომ მეთოდებში გამოყენებული დარიშხანის ნაერთები (AsH_3 , $AsCl_3$, As_2O_3) მაღალი ტოქსიკურობით გამოირჩევა. ამის გამო, საჭირო ხდება ძვირადღირებული აპარატურის გამოყენება; მრავალეტაპურ ტექნოლოგიურ ციკლში რთულდება ცალკეული პროცესის კონტროლი და ნახევრად პროდუქტების ხარისხობრივი შეფასება, რის გამოც ზშირად მცირდება ვარგისი პროდუქტის გამოსუფთავება. გარდა ამისა, აუცილებელი ხდება წარმოების ძლიერტოქსიკური ნარჩენების განეიტრალებისა და ჩამარხვის მეთოდების დამუშავება. ამასთან მომსახურე პერსონალის ტოქსიკური ნაერთებით მოწამვლისა და გარემოს გაჭუჭყიანების საშიშროება იქმნება.

5.4.6. ლითონური დარიშხანის გასუფთავება კრისტალიზაციის მეთოდით

ნაღობიდან მონოკრისტალის გაზრდის მეთოდით (ბრიჯმენის მეთოდი) შესაძლებელია მაღალი სისუფთავის ლითონური დარიშხანის მსხვილი მონოკრისტალების მიღება სქელკედლიანი კვარცის ამჟღავნებით.

კრისტალების მისაღებად დასაწყისში 200 მმ სიგრძისა და 18 მმ დიამეტრის მჭონე გაუმჭვირი კვარცისა და 25 მმ სიგრძისა და 7 მმ დიამეტრის მჭონე გამჭვირვალე სქელკედლიანი (3 მმ) კვარცის მიღების ერთმანეთთან ბირჩილვით ორიენტაციანი ჭურჭელი შზადდება. სქელკედლიანი მილის (მეორე სექცია) მეორე ბოლო, რომელიც მონოკრისტალის სადედათა გამოზნული, წაწვეტებული ფორმისაა.

დიდი დიამეტრის მილში (პირველი სექცია) 20-30 გ-ის ოდენობით ლითონური დარიშხანის მოთავსების შემდეგ, მილის თავისუფალი ბოლო ვაკუუმურ სისტემას უერთდება; ჭურჭლის ორივე სექციაში 0,00133 პას-ზე ნაკლები წნევა მყარდება და ამის შემდეგ ჭურჭელი $325^{\circ}C$ -ზე ხურდება. გახურების შედეგად ლითონური დარიშხანი ზედაპირული ოქსიდებისგან სუფთავდება (ოქსიდების აჭრულით). დარიშხანის გასუფთავების (ოქსიდებისგან) შემდეგ ვაკუუმირებული ჭურჭელი განრჩილვით ვაკუუმური სისტემისგან ცალკეედება. მომდევნო ეტაპზე დარიშხანი სუბლიმაციის გზით პირველ სექციიდან მეორე სექციაში (სქელკედლიანი კვარცის მილში) გადატანას ექვემდებარება, რის შემდეგაც სქელკედლიანი კვარცის მილი (ამჟღავნა) განრჩილვით მეორე სექციისგან ცალკეედება.

დარიშხანის მონოკრისტალის მიღების მიზნით განცალკევებული (ვაკუუმირებული) ამჟღავნა $840 \pm 5^{\circ}C$ -ზე ხურდება. ასეთ პირობებში დარიშხანის ორთქლის მაღალი წნევა ($6079.5 \cdot 10^{-3}$ პას.) ვითარდება და დარიშხანი თავისივე ორთქლის წნევის ქვეშ დნება; ამჟღავნის ნული გაციელებით ნაღობიდან დარიშხანის მონოკრისტალი იზრდება. მიღებულ კრისტალში გოგირდის შემცველობა ქიმიური ანალიზის მეშვეობით ისაზღვრებოდა (გოგირდის განსაზღვრა კრისტალის სხვედასხვა

ნაწილში ხდებოდა), ხოლო დანარჩენი მინარევების სვერეგაცია კრისტალში ემისიური სპექტრული ანალიზით ღვანდებოდა. ანალიზის მონაცემების მიხედვით ამ მეთოდით სპექტრულად სუფთა ლითონური დარიშხანის მიღება შეიძლება.

როგორც ჩანს, ლითონური დარიშხანის კრისტალიზაციის მეთოდით გასუფთავება შესაძლებელია და ეფექტურია, თუმცა, ამ მეთოდის საწარმოო მასშტაბებში ათვისება აპარატურული გაფორმების სიძნელეებთან იქნება დაკავშირებული. პროცესის ასეთ ტექნოლოგიურულ პირობებში ჩატარებისას, დარიშხანის ორთქლის მაღალი წნევის გამო, ამპულების აფეთქების საშიშროება იქნება.

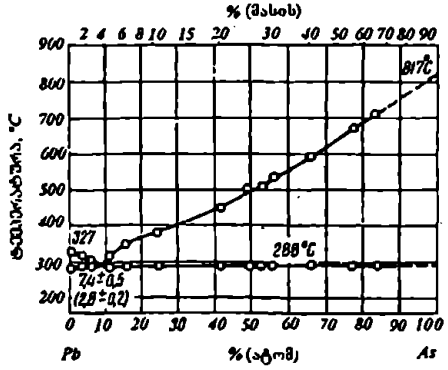
ნ.4.7. ლითონური დარიშხანის გასუფთავება დასტალიაციის მეთოდით

ცნობილია, რომ მრავალი ლითონი წარმოქმნის სტაბილურ სულფიდებს (აგრეთვე სელენიდებს და ტელურიდებს), რომლებიც დაბალი ორთქლის დრეკადობით გამოირჩევა. თუ ასეთი ლითონი დარიშხანთან არსენიდს არ წარმოქმნის, მაშინ ამ ლითონის მეშვეობით შესაძლებელია დარიშხანის ეფექტური გასუფთავება გოგირდისგან, რომელიც ყველაზე ძნულად მოსაცილებელ მინარევად ითვლება ასეთ ლითონებს განეკუთვნება ტყვია და ბისმუტი (სურ. III.76. და III.77.).

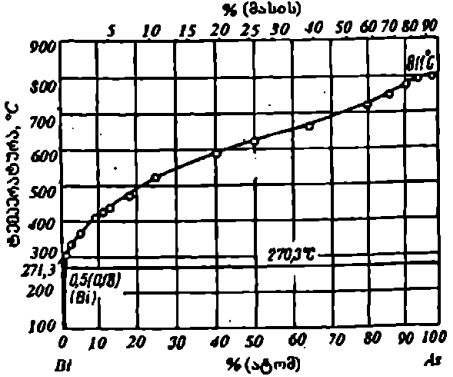
ტყვია ექსპერიმენტულად პირველად 1956 წ. მოსინეცს დარიშხანის გასასუფთავებლად. ექსპერიმენტის მიხედვით, ჯერ ტყვია-დარიშხანის შენადნობი მზადდება. შენადნობის განსაზღვრულ ტემპერატურაზე თერმული დამუშავების შემდეგ, დარიშხანი დისტალაციით ცალკეულდება ტყვია-დარიშხანის თხევადი ნაწილისგან.

პროცესის ჩასატარებლად ტყვია და დარიშხანი კვარცისგან დამზადებულ ნაწიში იტვირთება. შემდეგ კი ნაწი თავსდება კვარცის ამპულაში, რომელიც ვაკუუმის ქვეშ ირილივება. დარიშხანის კონდენსირებული ფაზის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით ამპულა მთლიანად მაღალ ტემპერატურაზე ხურდება. ტყვიის დარიშხანით გაჯერების პროცესის დამთავრებისა და ტყვია-დარიშხანის ნაწილის განსაზღვრულ ტემპერატურაზე დაყოვნების შემდეგ, ამპულის თავისუფალი ბოლო (ნაწიის მოპირდაპირე ბოლო) ვაკიუმებას განიცდის. ასეთ პირობებში დარიშხანი ადილად ორთქლდება ნაწილიდან (ეინაიდან დარიშხანი არ წარმოქმნის ტყვიასთან ნაერთს) და ამპულის ვაკიუმულ ბოლოში კონდენსირდება. ამ ექსპერიმენტის შედეგად გასუფთავებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშების სისუფთავის ზარისხის შესახებ მონაცემები არ არის წარმოდგენილი ლიტერატურაში.

დარიშხანიდან გოგირდის, სელენის და ტელურის მცირე რაოდენობების განდევნის ეფექტურობის დადგენის მიზნით, ევლანის მიერ მოგვიანებით (1960 წ.) ჩატარებულ ექსპერიმენტში ევრტიკალური ტიპის დანადგარი იქნა გამოყენებული. ექსპერიმენტის მეთოდის მიხედვით, დარიშხანის და ტყვიის საწყისი წონაკები (As:Pb=1:2; წონით ერთეულში) კვარცის ამპულაში თავსდება, რის



სურ. III.76. ტყვია-დარიშხანის სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა.



სურ. III.77. ბისმუტ-დარიშხანის სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა.

შემდეგაც ამპულა ვაკუუმირებასა და განრჩილვას ექვემდებარება. პროცესისთვის მომზადებული ამპულა ვერტიკალურ მილიან ღუმელის ტემპერატურულ ზონებში თავსდება. ამპულის ქვედა ბოლო (რომელშიც დარიშხანი და ტყვიაა მოთავსებული) 600°C-მდე ხურდება, ხოლო ზედა ბოლო 630-640°C – ტემპერატურულ ზონაში ხვდება. დარიშხანის ტყვიაში გახსნის შემდეგ ამპულის მთელ სიგრძეზე 600°C-ანი ზონა მყარდება. ამ ტემპერატურაზე ამპულის დაყოფების შემდეგ იგი ღუმელიდან თანდათანობით ამოწვევას ექვემდებარება. ამპულის ამოწვევის პროცესში თხევადი ტყვია-დარიშხანის ნაღობიდან დარიშხანი ორთქლდება და ამპულის ზედა, ღუმელიდან ამოწვეულ ბოლოში კონდენსირდება. მიღებული დარიშხანის ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია III.22. ცხრილში.

ცხრილიდან (III.22.) ჩანს, რომ გოგირდის და სელენის ატომური წილი 700°C-ზე დისტილირებული დარიშხანის ნიმუშებში საგრძნობლად მაღალია. ტელურის კონცენტრაციის ცვლილება არ შეინიშნება ტემპერატურის 760°C-მდე აწვევის შემთხვევაშიც კი. დარიშხანის საშუალო გამოსავლიანობა 600°C-ზე 65%-ია, ხოლო 700°C-ზე – 84%. ტყვიის ორთქლის დრეკადობა 600°C-ზე 0,13 პას შეადგენს, ამიტომ ამ მეთოდით გასუფთავებული დარიშხანი ტყვიის მინარევის შეიკავს. ტყვიის მინარევის შემცირება დარიშხანის ორმაგი სუბლიმაციით ხორციელდება.

ცხრილი III.22.

დარიშხანიდან გოგირდის, სელენისა და ტელურის განდევნის ეფექტიანობა

დარიშხანის ნიმუში	მინარეგების შუცხელობა (ატომური წილი)		
	გოგირდი	სელენი	ტელური
საწყისი დარიშხანი	$1,1+3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0+1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,3+4 \cdot 10^{-7}$
გასუფთავებული დარიშხანი; ნაღობიდან დისტილაციის ტემპერატურა – 600°C	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$
გასუფთავებული დარიშხანი; ნაღობიდან დისტილაციის ტემპერატურა – 700°C	$6,6 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-8}$

ლითონური დარიშხანის თხევადი ტყვიით დამუშავების კიდევ ერთ ექსპერიმენტში, რომელიც ვაისბერგის მიერ (თანამშრომლებთან ერთად) ჩატარდა (1960 წ.), განსაკუთრებული ყურადღება ტყვიისა და As_2S_3 -ის ურთიერთქმედების სისრულეს ექცეოდა. ექსპერიმენტის მეთოდის შემდეგში მდგომარეობს: კვარცის ამპულის ერთ ბოლოში ზონური დნობით გასუფთავებული ტყვიის 70 გ-ანი წონაჟი თავსდება, ხოლო მეორე ბოლოში – ლითონური დარიშხანის 30 გ-იანი წონაჟი. ამპულა შუა ნაწილში მკიფე ტინზარითაა გაყოფილი. ტყვია, რომელიც გრაფიტის ნაგვმა მოთავსებული, წინასწარ მუშავდება წყალბადის ატმოსფეროში, ორზონიანი ღუმელის მაღალი ტემპერატურის ზონაში 700-800°C-ზე (ოქსიდური აფსკის მოცილების მიზნით). ამპულის დარიშხანიანი ბოლო კი, დარიშხანის ოქსიდის განდევნის მიზნით 300°C-ზე ხურდება. განცალკევებული ელემენტების დამუშავების შემდეგ ამპულის ორივე ბოლო ვაკუუმის ქვეშ განირჩილება და ტინზარი იმსხვრევა. დარიშხანისა და ტყვიის ურთიერთქმედებით მიღებული თხევადი შენადნობის 700-750°C-ზე 16 საათის განმავლობაში შეკვების შემდეგ, ნაღობიდან დარიშხანი 600°C-ზე განიცდის დისტილაციას და ამპულის ცივ ბოლოში (400°C-ზე) კონდენსირდება. ვაისბერგის ვარაუდით დარიშხანისა და ტყვიის შენადნობის მაღალ ტემპერატურაზე (700-750°C) დამუშავება აუცილებელია, რათა სრულად წარიმართოს გოგირდის განდევნის რეაქცია:



ტყვია-დარიშხანის შენადნობის თერმულ დამუშავებაზე ტემპერატურის გაცვლის დადგენის მიზნით, გასუფთავებული დარიშხანის ნიმუშებიდან სინთეზით მიღებული ინდოუმის არსენიდის კრისტალზე გუზოშილ იქნა ელექტრო-ფიზიკური პარამეტრები. შედეგები წარმოდგენილია III.23. ცხრილში.

ლითონური დარიშხანის გასასუფთავებლად გამსხნელის სახით ბისმუტიც იქნა გამოყენებული. ბისმუტით გასუფთავებულ დარიშხანის ნიმუშებზე სინთეზირებული ინდოუმის არსენიდის კრისტალების ელექტრო-ფიზიკური პარამეტრების შეფასების შედეგების მიხედვით, ბისმუტის გამოყენება უფრო

ექვეტურია. ეს იმით აიხსნება, რომ დარიშხანში ბისმუტის მინარევი ელექტრულად ნაკლებად აქტიურია, ვიდრე — ტყვიის მინარევი.

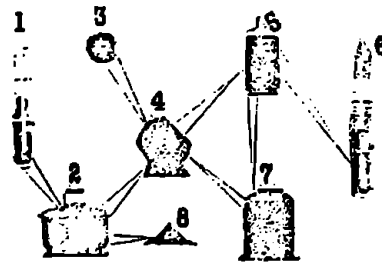
ცხრილი III.23.

ტემპერატურის გაყვანა ტყვია-დარიშხანის შენადნობის თერმულ დამუშავებაზე

ტყვია-დარიშხანის შენადნობის თერმული დამუშავება	ინდიუმის არსნიდის თვისებები, 78°K-ზე	
	მატარებლების კონცენტრაცია n, სმ ³	მატარებლების ტვარდობა μ , სმ ² /ვოლტსმ
თერმული დამუშავების გარეშე	$1,2 \cdot 10^{17}$	27000
შენადნობის დამუშავების ტემპერატურა — 600°C	$2,7 \cdot 10^{16}$	40000
შენადნობის დამუშავების ტემპერატურა — 700°C	$1,4 \cdot 10^{16}$	52000

ლითონური დარიშხანის დისტილაციური გასუფთავების ექსპერიმენტული კვლევების ზემოთ მოყვანილი ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით, ძნელია მთელი რიგი პროცესების ოპტიმალური პირობების (პროცესების ციკლის ხანგრძლივობა, დარიშხანმშემცველი ლითონური ნადნობების დამუშავების ტემპერატურა, დარიშხანის ნადნობებიდან დისტილაციის ტემპერატურა და ა.შ.) დაზუსტება და განსაზღვრა. გარდა ამისა, ლიტერატურაში არ არსებობდა ზემოთ აღნიშნული დარიშხანმშემცველი შენადნობების მნიშვნელოვანი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები. მაგალითად, არ იყო ცნობილი ტყვია-დარიშხანის შენადნობებზე გაჯერებული ორთქლის წნევის ექსპერიმენტული განსაზღვრის სიდიდეები, ტყვია-დარიშხანისა და ბისმუტ-დარიშხანის შენადნობებიდან დარიშხანის ორთქლების (აქროლის) კინეტიკური კანონზომიერებანი და აგრეთვე, ამ შენადნობების ნადნობების ბუნების შესახებ მონაცემები.

ამ საკითხების ირგვლივ ფუნდამენტური ექსპერიმენტული კვლევა პირველად 1930-იან წლებში საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ფერადი ლითონების ლაბორატორიაში ჩატარდა (წიგნის ავტორების მიერ, თანაშრომლებთან ერთად). კვლევების შედეგების საფუძველზე დამუშავდა ლითონური ნადნობების მეშვეობით დარიშხანის ღრმა გასუფთავების



სურ. III.78. ლითონური დარიშხანის ღრმა გასუფთავების ტექნოლოგიური სქემა ცანის დარიშხანის ქარხანაში.

1 ტექნიკური ლითონური დარიშხანისა; 2. დარიშხანის სუბლიმაცია; 3. ლითონური გამხსნელი; 4. დარიშხანის შედნობა გამხსნელთან და ნადნობის თერმული დამუშავება; 5. ლითონური დარიშხანის დისტილაცია ნადნობიდან; 6. გასუფთავებული ლითონური დარიშხანისა; 7. დარიშხანმშემცველი ლითონური ნარჩენის რეგენერაცია; 8. დარიშხანის სუბლიმაციის შედეგად მიღებული ნარჩენი.

დისტილაციური ზერხის საწარმოო ტექნოლოგია, რომელიც დაინერგა ცანის (სვანეთი) დარიშხანის ქარხანაში (1930-იან წლებში). ლითონური დარიშხანის ღრმა გასუფთავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაივენება III.78. სურათზე

ღრმა გასუფთავებას წინ ტექნიკური სისუფთავის ლითონური დარიშხანი სუბლიმაციას ექვემდებარება (ღრმა გასუფთავების პროცესის ექვეტიანობის გაზრდის მიზნით). სუბლიმაციის ოპტიმალური პირობების დასადგენად ექსპერიმენტები უწყვეტ ვაკუუმში (1,33 პას.), გაუნზოებულ, განრიღვეულ ამპულაში (0,013 პას.) და დაზოვულ ტიპის აპარატში ტარდებოდა. უწყვეტ ვაკუუმში 350°C-ზე 8 საათის განმავლობაში დარიშხანის (100 გ ოდენობით) 60% სუბლიმირდება, ხოლო განრიღვეულ, გაუნზოებულ ამპულაში 400°C-ზე 16 საათის განმავლობაში დარიშხანის 70% განოჯის აქროლას. ორივე შემთხვევაში დარიშხანის ორთქლი კონდენსირდება ამორფული მონოფიკაციის სახით, რომელიც სწრაფად იფანება ჰაერზე და ძირითადი მინარევი თანაბრად ნაწილდება სუბლიმირებულ დარიშხანსა და დარიშხანის ნარჩენ მასებს შორის.

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ საწარმოო პირობებში დარიშხანის წინასწარი სუბლიმაციის პროცესის ჩატარება ყველაზე მიზანშეწონილია დახურული ტიპის აპარატში 600°C-ზე. ასეთ პირობებში დარიშხანის ორთქლიდან 400-450°C-ზე კრისტალური ლითონური დარიშხანი კონდენსირდება. სუბლიმაციის შედეგად (ერთი საათის განმავლობაში) მიიღება ლითონური დარიშხანის კონდენსატი, რომლის მასა საწყისი დარიშხანის წონის 98-99 %-ს შეადგენს. დახურული ტიპის აპარატში დარიშხანის სუბლიმაციის დროს ძირითადი მინარევების განდევნის ხარისხი ბევრად მაღალია, ვიდრე – ვაკუუმში სუბლიმაციის დროს. დახურული ტიპის აპარატში დარიშხანის სუბლიმაციის დროს გოგირდის 74% განიღვებება, ბისმუტი – 87 %-ით, ხოლო ანთიმონი და რკინა შესაბამისად – 89 და 97 %-ით (მასის მიხედვით). ქიმიური და სპექტრული ანალიზების შედეგებით შედეგები წარმოდგენილია III.24. და III.25. ცხრილში.

ცხრილი III.24.

ძირითადი მინარევების შემცველობა ტექნიკური სისუფთავის ლითონურ დარიშხანში

მინარევების შემცველობა, % მასის მიხედვით					
S	Se	Te	Bi	Sb	Fe
0,25-0,40	2,5·10 ⁻³ -3,5·10 ⁻³	1,5·10 ⁻³ -2,2·10 ⁻³	1,6·10 ⁻¹ -1,8·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻¹ -2,10 ⁻¹	2,5·10 ⁻¹ -3·10 ⁻¹

ქიმიური ანალიზების მიხედვით, ტექნიკური სისუფთავის დარიშხანის დახურულ აპარატში სუბლიმაციის შედეგად მიღებულ მყარ ნარჩენში, ძირითადად, შდის დარიშხანი – 70 %, ანთიმონი – 11,60 % და ბისმუტი – 10,45 % (მასის მიხედვით). ნარჩენში გოგირდისა და რკინის შემცველობა შესაბამისად 0,8-სა და 0,27 %-ს შეადგენს. გოგირდის ნაწილი, როგორც ჩანს, იწეება პაერის ფანბადით, რომელიც იმყოფება რეტორტის მოცულობაში, რეტორტის გახურების დასაწყის პერიოდში.

სუბლიმაციის პროცესის ჩასატარებლად ტექნიკური სისუფთავის ლითონური დარიშხანი იტვირთება კვარცის ტიგელში (100 გ ოდენობით), ტიგელი კვარცის კონდენსატორიან ფოლადის რეტორტაში (იხ. სურ. III.71.) ეშვება და რეტორტის ძირზე იდგმება. სითხური საკეტის სისტემასთან შეერთების შემდეგ რეტორტა წინასწარ გახურებულ ვერტიკალურ ელექტროლუმულში თესდება. სუბლიმაციის პროცესი მიმდინარეობს 600°C-ზე 1 საათის განმავლობაში. პროცესის დამთავრების შემდეგ რეტორტი ამოიღება ლუმულიდან (სითხური საკეტის გადამკეტვის შემდეგ) და ოთახის ტემპერატურამდე ცივდება. გაციელების შემდეგ რეტორტას თავსახურავე ეხსნება და რეტორტიდან კონდენსატორი (დარიშხანის კონდენსატი) და კვარცის ტიგელი (ნარჩენით) ამოიღება. ამგვარად მიღებული სუბლიმირებული ლითონური დარიშხანი, როგორც საწყისი ნედლეული, ღრმა გასუფთავების პროცესში გამოიყენება.

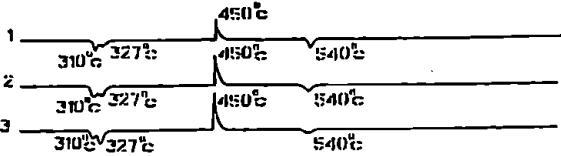
ცხრილი III.25.

ძირითადი მინარევების შემცველობა დახურული ტიპის აპარატში სუბლიმირებულ დარიშხანში

მინარევების შემცველობა, % მასის მიხედვით			
S	Bi	Sb	Fe
0,093	0,016	0,014	6,3·10 ⁻³

ქვემოთ მოყვანილია ზოგიერთი ძირითადი ექსპერიმენტის შედეგები, რომელთა საფუძველზეც ლითონური ნაღობების გამოყენებით დამუშავდა ლითონური დარიშხანის ღრმა გასუფთავების საწარმოო ტექნოლოგია. ექსპერიმენტისთვის გამოიყენებოდა კვარცის ამულები, რომლებიც წინასწარ მარლმჟავას და აზოტმჟავას ნარევი მუშავდებოდა, დეონიზირებულ წყალში დუღებოდა და დისტილირებული წყლით გულმოზღვინედ ირეცხებოდა. დამუშავებულ ამულაში იტვირთებოდა მაღალი სისუფთავის ტყვია (99,99916 % Pb) და დარიშხანი (წონითი ფარდობა Pb:As=2:1), რომელთა სურათი მასა 300 გ შეადგენდა. დატვირთული ამულა ვაკუუმირდებოდა და ირეცხებოდა. ამჟღის ვერტიკალურ ელექტროლუმულში მოთავსებით დარიშხანის ტყვიასთან შედნობა და ნაღობის თერმული დამუშავება სხვადასხვა ხანგრძლივობით 600, 700 და 750°C-ზე ტარდებოდა. ნაღობიდან ლითონური დარიშხანის დისტილაციის პროცესი ლუმულიდან ამჟღის თანდათანობითი ამოწივით ხორციელდებოდა.

დისტილაციის პროცესის დროს ნაღობის ტემპერატურა 600°C-ს შეადგენდა. დარიშხანის ხარისხი ინდიუმის არსენიდის კრისტალებზე ელექტროფიზიკური პარამეტრების გაზომვით ისაზღვრებოდა. ექსპერიმენტის შედეგებმა აჩვენა, რომ ნაღობის ტემპერატურის აწევით ნაღობიდან დისტილირებული დარიშხანის ხარისხი უზრუნველდება (ინდიუმის არსენიდში მატარებლების ძერალობა იზრდება). ამასთან, თერმოგრაფიული გამოკვლევებით დადგინდა (სურ. III.79.), რომ დარიშხანის სულფიდისა და ტყვიის ნარევის გახურებით, ტყვიის სულფიდის წარმოქმნა 450°C-ზე ხდება. რაც



$$1 - As_2S_3 : Pb = 1.5:1$$

$$2 - As_2S_3 : Pb = 1:1$$

$$3 - As_2S_3 : Pb = 1:2$$

სურ. III.79. დარიშხანის სულფიდისა და ტყვიის ურთიერთაქვედების თერმოგრამები (ნარევი ვაკუუმირებულ და განრიღვეულ ამპულებში ხურდებოდა).

ნაღნობის 2 საათი მუტი ხანგრძლივობით თერმული დამუშავება ნაკლებად მოქმედებს დარიშხანის სისუფთავის ხარისხზე.

დარიშხანის 3 - საათიანი დისტალაცია 600°C-მდე გახურებულ ტყვია-დარიშხანის ნაღნობიდან გასუფთავებული ლითონური დარიშხანის 60%-იან გამოსავლიანობას უზრუნველყოფს. დისტალაციის პროცესის ხანგრძლივობის 8-10 საათამდე გაზრდა დარიშხანის გამოსავლიანობაზე (65%) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. მაგრამ, ამ დროს დარიშხანის ხარისხის გაუარესება შეინიშნება. მაგალითად, 3 - საათიანი დისტალაციის დროს (ნაღნობის 700°C-ზე დამუშავებით) მიღებული დარიშხანის ფუძეზე სინთეზირებული ინდიუმის არსენიდში მატარებლების ძვარაღობა 46000 სმ³/ვოლ.წმ. შეადგენს, ხოლო 8 - საათიანი დისტალაციის დროს მიღებული დარიშხანის ფუძეზე დამზადებული ინდიუმის არსენიდში ძვარაღობა 42000 სმ³/ვოლ.წმ-ის ტოლია. ხანგრძლივობის შემდგომი გაზრდით დისტალირებული დარიშხანის გამოსავლიანობის გაზრდა გრძელდება, მაგრამ, ამასთან ერთად, მკვეთრად უარესდება დარიშხანის გასუფთავების ხარისხი. დისტალაციის პროცესის 58-საათიანი ხანგრძლივობის დროს დარიშხანის გამოსავლიანობა 70-80%-მდე იზრდება, ხოლო მის ფუძეზე სინთეზირებული ინდიუმის არსენიდში მატარებლების ძვარაღობა 35000-40000 სმ³/ვოლ.წმ-ს არ აღემატება. დარიშხანის გამოსავლიანობა იზრდება (70-80%-ით) დისტალაციის პროცესის (3-საათიანი ხანგრძლივობით) 650°C-მდე აწვეითაც, მაგრამ დარიშხანის ხარისხი ამ შემთხვევაში უარესდება (სინთეზირებული ინდიუმის არსენიდის ძვარაღობა 42000 სმ³/ვოლ.წმ.).

ტყვია-დარიშხანის შენადნობიდან დარიშხანის სხვადასხვა ტემპერატურაზე (250-600°C-ზე) ვაკუუმში აქროლის კინეტიკის შესწავლამ აჩვენა, რომ შენადნობში შემავალი დარიშხანის ძირითადი რაოდენობა პროცესის დაწყების პერიოდში ვანიციდის აქროლას. აქროლის პროცესის ხანგრძლივობის შემდგომი გაზრდით შენადნობში დარიშხანის კონცენტრაციის (უფრო ზუსტად, აქტიურობის) დაწვეის გამო დარიშხანის აქროლის ხარისხი მკვეთრად ვარდება. დარიშხანის აქროლის სიჩქარე დამოკიდებულია მის საწყის შემცველობებზე შენადნობში, რაც უფრო მაღალია შენადნობში დარიშხანის შემცველობა, მით უფრო მეტია მისი აქროლის სიჩქარე (ავრთველ გამოსავლიანობა) და - პირიქით, შენადნობში დარიშხანის შემცველობის შემცირებით დარიშხანის აქროლის სიჩქარე ვარდება. ასეთივე კანონზომიერება შეინიშნება ვაკუუმირებულ და განრიღვეულ ამპულებში დარიშხანის გამდნარი ტყვიით გასუფთავების დროს.

ცნობილია, რომ აორთქლების სიჩქარეზე დიდ გავლენას ახდენს გახურების სიმძლავრე. უცვლელი სიმძლავრით გახურებისას შენადნობიდან ადვილად აქროლადი კომპონენტის (დარიშხანის) აქროლასთან ერთად შენადნობის ტემპერატურა იზრდება, რაც დარიშხანის ორთქლის დრეკადობის გადიდებას იწვევს. თუმცა, ნაღნობში დარიშხანის შემცველობის შემცირების გამო ნაღნობიდან დარიშხანის აორთქლების სიჩქარე ვარდება და ამით დარიშხანის ორთქლის დრეკადობის ზრდა ბალანსირდება. ამრიგად, ნაღნობიდან დარიშხანის აორთქლების სიჩქარე თვითრეგულირებადი ხდება (მხოლოდ იმ პირობებში, როცა ამპულის ზედა ბოლო თანდათან ცივდება და მასზე დარიშხანი ორთქლიდან კონდენსირდება).

შეებება ვაისბერგის ვარაუდს იმის შესახებ, რომ რეაქცია (III.117.) ინტენსიურად სწორედ 700°C-ზე მიმდინარეობს და შედეგად დარიშხანის ხარისხი უმჯობესდება, როგორც ჩანს, საეჭვოა. ნაღნობის 700°C-ზე დამუშავების შედეგად დარიშხანის ხარისხის გაუმჯობესება, ეტყობა, სხვა მიკრომინარეების განდევნით უნდა აიხსნას, იმ მიკრომინარეების განდევნით, რომლებიც ისევე, როგორც გოგირდი, უარყოფითად მოქმედებს ელექტროფიზიკურ პარამეტრებზე.

დისტილაციის პროცესის განხრებლივით დარიშხანის ხარისხის გაუარესება, როგორც ჩანს, ადვილად აქროლადი მინარევების ორთქლის ფაზაში გადასვლას უკავშირდება იმ მომენტთან, როცა დარიშხანის აორთქლების სიჩქარე შენელებას იწყებს – ანუ მაშინ, როცა ნაღობის ტემპერატურის მკვეთრი აწევა ხდება. დისტილაციის დროს ნაღობის 600°C-ზე ზევით აწევაც ადვილად აქროლადი მინარევების ორთქლის ფაზაში გადასვლას იწყებს.

ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა ტყვია-დარიშხანის ნაღობიდან დარიშხანის დისტილაციის პროცესის ოპტიმალური პირობები: ნაღობის თერმული დამუშავების ტემპერატურა 720°C (ხანგრძლივობა ორი საათი); დისტილაციის პროცესში ნაღობის ტემპერატურა 600°C (დისტილაციის პროცესის ხანგრძლივობა 3 საათი).

გასუფთავებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშებზე ჩატარებული სპექტრული ანალიზის შედეგების მიხედვით, დარიშხანში საგრძნობი რაოდენობითაა ტყვია ($1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4} \%$) და აგრეთვე მასში სილიციუმის ($1 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-2} \%$) და სპილენძის ($1 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-2} \%$) კვალი შეინიშნება.

სილიციუმი და სპილენძი, როგორც ჩანს, კვარციდან გადადის დარიშხანის კონდენსატში. ამ მინარევების წარმოქმნა და მათი გამოლევა კვარცის აშუღის შიგა ზედაპირზე (სადაც ორთქლიდან ლითონური დარიშხანი კონდენსირდება), ძირითადად, აშუღის მიჩრდილის პროცესის დროს ხდება.

გასუფთავების შედეგად მიღებული ლითონური დარიშხანის ნიმუშების ფუჭებზე მომზადებული ინდიუმის არსენიდის კრისტალების მხოლოდ 60 % გამოირჩეოდა მაქსიმალური ძვარობით ($48000 \text{ სმ}^2/\text{ვოლ.წმ.}$, პარატალების კონცენტრაცია შეადგენდა $1,7 \cdot 10^{16} \text{ სმ}^3$).

დისტილაციის პროცესში დარიშხანის გამსხნელად გამოყენებული მაღალი ხარისხის ტყვიის (99,99916 % Pb) და დისტილაციის პროცესის შედეგად მიღებული დარიშხანსმეცველი ტყვიის ნარჩენის შედარებითი სპექტრული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია III.26. ცხრილში.

ცხრილი III.26.
ტყვიისა და დარიშხანსმეცველი ტყვიის ნარჩენის ნიმუშების სპექტრული ანალიზების შედეგები

მინარევების შემცველობა, % მათი მიხედვით					
ტყვია			დარიშხანსმეცველი ტყვიის ნარჩენი		
As	Bi	Sb	As	Bi	Sb
$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	13	$8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$

დარიშხანსმეცველი ტყვიის ნარჩენის საშუალო სინჯებზე ჩატარებულმა კომპურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ნარჩენი 0,04%-ის ოდენობით გოგირდს შეიცავს. ცხრილიდან (III.26.) ჩანს, რომ დარიშხანიდან გამსხნულ ტყვიაში ბისმუტისა და ანთიმონის მნიშვნელოვანი რაოდენობა გადადის.

შენადნობებიდან დარიშხანის აქროლის კინეტიკის შესწავლით დადგინდა, რომ დარიშხანის მნიშვნელოვანი რაოდენობა ბისმუტ-დარიშხანისა და ტყვია-ბისმუტ-დარიშხანის შენადნობებიდან უფრო დაბალ ტემპერატურებზე ქროლდება, ვიდრე ტყვია-დარიშხანის შენადნობიდან. მაშასადამე, დარიშხანის დისტილაცია, ტყვია-ბისმუტ-დარიშხანის შენადნობიდან (ნაღობიდან) შეიძლება უფრო ეფექტური გამოადგეს, ვინაიდან პროცესის ჩატარება უფრო დაბალ ტემპერატურაზე შეიძლება. გარდა ამისა, ბისმუტის დამატებით ტყვიის აქტიურობა შემცირდება.

ბისმუტის ტყვიასთან კომპურ ნაერთებს არ წარმოქმნის. თხევად მდგომარეობაში სრული ურთიერთხსნადობით იგი იძლევა მდგრად მყარ ხსნარებს და ეტექტიკას (ბისმუტის შემცველობა 56,5%-ის ტოლია), რომელიც 125°C-ზე დნება. ტყვიის მინარევებიდან ბისმუტი ყველაზე ნაკლებად მოქმედებს ტყვიის სისალაზე.

ტყვია-ბისმუტ-დარიშხანის ნაღობიდან დარიშხანის დისტილაციის ექსპერიმენტები ტარდებოდა იგივე მეთოდით, რომელიც ტყვია-დარიშხანის ნაღობიდან დარიშხანის დისტილაციის დროს გამოიყენებოდა. საწყისი მასალაში შედიოდა მაღალი სისუფთავის ტყვია, განსაკუთრებული სისუფთავის ბისმუტი და სუბლიმირებული ლითონური დარიშხანი.

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია III.27. ცხრილში. ცხრილიდან ჩანს, რომ ყველაზე მაღალი ელექტროფიზიკური თვისებებით გამოირჩევა ინდიუმის არსენიდის კრისტალები, რომლებიც სინთეზირებულია ბისმუტის მაქსიმალური შემცველობის მქონე შენადნობებიდან დისტილირებული დარიშხანის ნიმუშების გამოყენებით. შენადნობში ბისმუტის რაოდენობის შემცირებით დარიშხანის ხარისხის მცირეოდენი გაუარესება შეინიშნება (ინდიუმის არსენიდზე გასაზომი ელექტროფიზიკური პარამეტრების მიხედვით, რომითაც დაინდებდა დარიშხანის ხარისხი) თუმცა, ამ დროს მნიშვნელოვნად მცირდება დარიშხანის გამოსავლიანობაც.

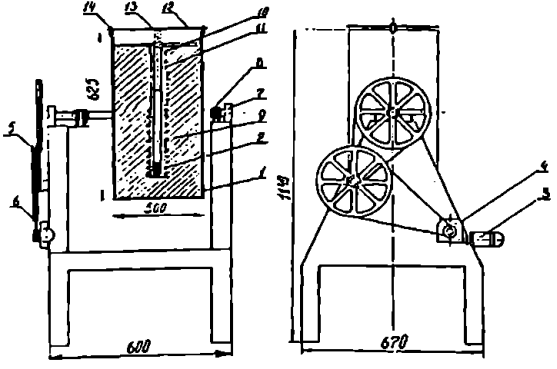
ტყეა-ბისმუტ-დარიშხანის ნაღობებიდან დარიშხანის დისტალაციის ექსპერიმენტების შედეგები

ექსპერიმენტის ჩარღვრება	ექსპერიმენტის პარამეტრები					დარიშხანის გამოსავლი-ანობა, % (მასით)	სინთეზირებული ინდოლის არსებობის ელექტროფორეტიკური თვისებები			
	კომპონენტების შეყვანის ნაღობში, g		ნაღობის დამუშავების ტემპერატურა, °C	ნაგრძ-ლოვობა, საათი	ნაღობის ტემპერატურა ლისილაციის დროს, °C		ნაგრძ-ლოვობა, საათი	მატარებლის კონცენტრაცია, მ. (სმ)	მატარებლის ტარაობა, სმ/წელ.წმ	
	Pb	As								
3	55	45	50	500	2	500	4	60	$1,6 \cdot 10^6$	50000
3	125	115	120	500	2	500	4	60	$1,7 \cdot 10^6$	50000
2	160	10	100	500	2,5	500	5	50	$1,7 \cdot 10^{16}$	47000-50000
2	190	10	100	500	3	500	5	45	$1,7 \cdot 10^{16}$	47000-50000
3	160	40	100	650	2,5	530	4	55	$1,7 \cdot 10^{16}$	48000-50000
2	190	10	100	650	3	530	4	60	$1,7 \cdot 10^{16}$	48000-50000

შენაღობზე ბისმუტის დამატებით დარიშხანის გასუფთავების ხარისხი იზრდება და დისტალაციის პროცესის მაჩვენებლები უმჯობესდება. ამასთან, ვარგისი ლითონის გამოსავლიანობაც იზრდება.

სექტორული ანალიზის მონაცემების მიხედვით, გასუფთავებულ დარიშხანში ტყეის შემცველობა $2 \cdot 10^{-3}$ % (მასის მიხედვით) არ აღემატება, ზოლო სილიციუმისა ($1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$) და სპილენძის ($1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-6}$) მინარევების რაოდენობის შემცირება დარიშხანის ნიმუშებში არ შეინიშნება.

გასასუფთავებელი დარიშხანის მინარევებისა და ტყეის უფრო აქტიური ურთიერთქმედების მიზნით, ჩატარდა ექსპერიმენტები, რომლებიც ნაღობის თერმული დამუშავების დროს ნაღობის არევის ითვალისწინებდა. ექსპერიმენტების ჩასატარებლად კონსტრუირებული იქნა სპეციალური მბრუნავი ელექტროლუმელი, რომლის სქემატ ნაჩვენებია III.80. სურათზე. ელექტროძრავის (3) მეშვეობით ღუმელი ვერტიკალურ სიბრტყეში ბრუნავს. ელექტროძრავის რელექტორი (4) ღვედური გადაცემით არის დაკავშირებული ღუმელის ღილვთან. ღუმელის ელექტროკვება და მარეგულირებელ ზელსაწყობთან თერმოწყვილების მიერთება სპილენძის სრიალა კონტაქტების (8) მეშვეობით ხორციელდება. ღუმელის ბრუნვის სიჩქარე 2 ბრ/წთ. შეადგენს. აშულა (9), უთანგავ ფოლადისგან დამზადებულ კაუსულაში (10) პენოშამოტის საცობით (11) ფეხსირდება. საცობი ღუმელის სახურავზე დამაგრებული ზამბარის მეშვეობით მიჭირილია აშულასთან მცირეოდენი წნევით. ტემპერატურის გათანაბრების მიზნით, ღუმელის თავში ჩადგმულია დამატებითი სახურავი. აშულის ბოლოებზე ტემპერატურის ვარდნა $\pm 5^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს. აშულაში კომპონენტების ჩატვირთვის შემდეგ აშულა ვაკუუმირდება და ირჩილება.



სურ. III.80. მბრუნავი ელექტროლუმელის სქემა.

1. ღუმელის ვარსაცმა; 2. სახურავი; 3. ელექტროძრავა;
4. რელექტორი; 5. ტყე; 6. სადგარი; 7. საყრდენი; 8. სპილენძის სრიალა კონტაქტები; 9. აშულა ნიმუშით; 10. კაუსული;
11. პენოშამოტის საცობი; 12. ღუმელის სახურავი; 13. ზამბარი;
14. სახურავის დასამაგრებელი ჭიანჭყა.

ბიჯით) დარიშხანის დისტალაციის პროცესი იწყება (სამსათიანი ხანგრძლივობით). მიღებული დარიშხანის ნიმუშები ქიმიურ და სპექტრულ ანალიზებს ექვემდებარებოდა. ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია III.28. ცხრილში (წარმოდგენილია ნაღობის არევისა და არევის გარეშე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები). ცხრილიდან ჩანს, რომ ნაღობის არევით მნიშვნელოვნად ჩქარდება მინარევების ურთიერთქმედება ტყვიასთან. ამასთან, დარიშხანიდან მინარევების განდევნის სისრულეც მატულობს. ასე მაგალითად, უძრავი ნაღობის 600°C-ზე ორსათიანი გახურებით გოგირდის მინარევი 2·10⁻⁴-მდე მცირდება მაშინ, როცა ნაღობის იმავე ტემპერატურაზე ერთსათიანი გახურებითა და არევით დარიშხანიდან განდევნილი გოგირდის რაოდენობა მკვეთრად იზრდება. ნაღობის თერმული დამუშავება 600°C-ზე ნაღობის არევით (1 საათის ხანგრძლივობით) და 700°C-ზე არევის გარეშე (2-სათიის ხანგრძლივობით) გოგირდის განდევნის ერთი და იგივე ხარისხს იძლევა.

ცხრილის (III.28.) მონაცემები იმაზეც მიუთითებს, რომ თუ დისტალაციის პროცესი ნაღობის წინასწარი არევის გარეშე ტარდება, მაშინ, როგორც წესი დარიშხანი სილიციუმის და სპილენძის მინარევებით ჭუჭყიანდება. როგორც ადრე აღინიშნა, ამ და სხვა მინარევების წყაროს, შესაძლოა, კვარცი წარმოადგენს. ამჟღავნებს განრჩილვის დროს კვარცი შერბილების წერტილზე უფრო მაღალ ტემპერატურამდე ხურდება, რის გამოც ორთქლდება, ნაწილობრივ იშლება და ამჟღავნებს ციფრულად თეთრი ფერის ზორკლიანი ფენის სახით ხელშეორველ ჯდება. ამასთანავე, შესაძლებელია კვარცის დაშლის პროდუქტებისა და სათურას არევის ამჟღავნების შიგნით მოხვედრა, რაც ორთქლიდან დაკონდენსირებულ დარიშხანის კონდენსატს გააჭუჭყიანებს (დისტალაციის პროცესის დროს).

მიღებული შედეგების თანახმად (ცხრილი III.28.), კვარცის ვაკუუმირებულ ჭურჭელში დარიშხანშემცველი ტყვიის ნაღობის თერმული დამუშავების დროს ნაღობის არევა მნიშვნელოვნად ამცირებს სილიციუმისა და სპილენძის მინარევების შემცველობას ნაღობიდან დისტალირებულ დარიშხანში. ეს, როგორც ჩანს, შეპირობებულია იმით, რომ ვერტიკალურ სიბრტყეში ნაღობიანი ამჟღავნების ტრიალის დროს ამჟღავნების მთელი შიგა ზედაპირი მრავალჯერ სველდება ნაღობით, რომელშიც იხსნება ან რომლითაც წაიტაცება მინარევები. მინარევები ამჟღავნების შიგნით ხვდება, როგორც ამჟღავნების განრჩილვის, ასევე ამჟღავნების საწყისი მასალების ჩატვირთვის დროს.

საწარმოო პირობებში ნაღობის თერმული დამუშავებისა და დისტალაციის პროცესებისთვის ცალ-ცალკე აპარატები გამოიყენება (პროცესების ხანგრძლივობის მნიშვნელოვანი სხვაობის გამო.)

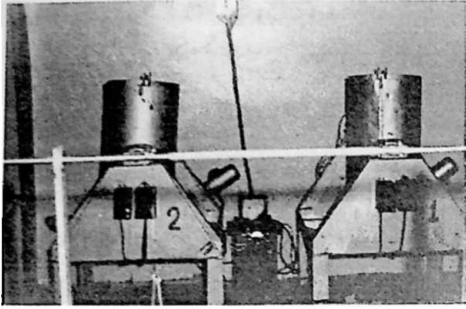
საწყისი კომპონენტების შედარებისა და ნაღობის თერმული დამუშავებისთვის კონსტრუირებული აპარატი შედგება ბრუნავი (2 ბრ/წთ) ელექტროლუმენისგან, რომელსაც ხუთი სახურებელი კამერა (ამჟღავნებისთვის) გააჩნია. ცანის დარიშხანის ქარხანაში გამოყენებული აპარატების ფოტო ნაჩვენებია III.81. სურათზე. ერთი აპარატის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 48 კგ ნაღობს შეადგენს.

დისტალაციის საწარმოო პროცესის ჩასატარებლად შერჩეული იქნა სტანდარტული მილიანი ელექტროლუმენი. ამჟღავნების (ამჟღავნება თავსდება უჟანგავი ფოლადისგან დამზადებულ კაუსულში)

ცხრილი III.28.

ტყვია-დარიშხანის ნაღობიდან დარიშხანის დისტალაციის ექსპერიმენტების შედეგები ნაღობის თერმული დამუშავების სხვადასხვა პირობებში

ექსპერიმენტის რაოდენობა	ნაღობის თერმული დამუშავების პირობები		მინარევების შემცველობა დარიშხანში, % მასის მიხედვით							
	თერმული დამუშავების სახეობა	ტემპერატურა, °C	სანგრძლივობა, საათი	S	Se	Te	Sb	Bi	Si	Cu
2	არევის გარეშე	600	2	2·10 ⁻⁴	2·10 ⁻³	1·10 ⁻³	3·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³
1		600	6	2,5·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻³	3·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³
1		600	8	1,2·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³
2		700	2	2·10 ⁻³	2·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³
1		700	6	5·10 ⁻³	1·10 ⁻³	2·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³
1		700	8	3·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁶
2	არევი	600	1	5·10 ⁻³	2·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³	2·10 ⁻⁷
2		600	2	3·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³	2·10 ⁻⁷
1		600	6	2,5·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³	2·10 ⁻⁷
2		700	0,5	3·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³	2·10 ⁻⁷



სურ. III.81 მზრუნავი ელექტროღუმელები (დარიშხანის ღრმა გასუფთავების უბანი: ცანის დარიშხანის ქარხანა).

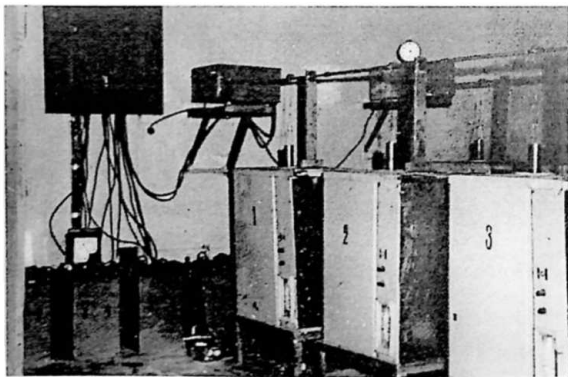
რის გამოც ნაღობიდან ლითონური დარიშხანი ორთქლდება და ამჟღის ზედა ბოლოში კონდენსირდება.

სექტორულ-ქიმიური ანალიზების მიხედვით, ნაღობიდან დარიშხანის დისტალაციის შედეგად მიღებულ ლითონურ დარიშხანში ტყვიის, ბისმუტისა და ანთიმონის მინარეების კვალი შეინიშნება. თუმცა, დისტილირებული ლითონური დარიშხანის შემდგომი სუბლიმაციის (დახურული ტიპის აპარატში 600°C-ზე) შედეგად მიღებულ ლითონურ პროდუქტში დარიშხანის შემცველობა 99,9999%-ს შეადგენდა.

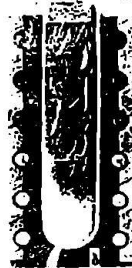
დისტილაციის შედეგად მიღებული ტყვიის ან ტყვია-ბისმუტის ნარჩენი, რომელიც 10-15% დარიშხანს შეიცავს, რეგენერაციის შემდეგ ხელშეორედ გამოიყენება დარიშხანის ღრმა გასუფთავების პროცესში.

დარიშხანის ღრმა გასუფთავების ზემოთ აღწერილი მეთოდებიდან, როგორც ჩანს, ლითონური ნაღობიდან დარიშხანის დისტალაციით გასუფთავების ხერხი ყველაზე მარტივი და ეფექტურია. ქიმიურ მეთოდებთან შედარებით, ეს ხერხი რიგი უპირატესობებით გამოირჩევა:

- საწყის ნედლეულად ტექნიკური სისუფთავის ლითონური (ელემენტური) დარიშხანი გამოიყენება, რაც გამორიცხავს ისეთი საშიში და რთული პროცესების ჩატარებას, როგორცაა დარიშხანის ბლიერტოქსიკური ნაერთების (AsH_3 , $AsCl_3$, As_2O_3) დამზადება, მათი გასუფთავება და აღდგენა ლითონურ დარიშხანამდე;



დარიშხანის გასუფთავებულ კონდენსატი



ტყვიის და დარიშხანის შენაღობი

სურ. III.82. დარიშხან-ტყვიის შენაღობიდან დარიშხანის დისტალაციის პროცესი.

ა. ცანის ქარხანაში გამოყენებული დარიშხანის სადისტალაციო აპარატები; ბ. შენაღობიდან დარიშხანის დისტალაციისა და კონდენსაციის იმიტაცია.

- ოქერაციების რიცხვი მინიმუმამდე შემცირებული, რაც საგრძნობლად აადვილებს მისაღებ პროდუქტის ხარისხის კონტროლს;
- გამორიცხულია ფეთქებადსაშიში აირების (წყალბადი) და ტოქსიკური დამზარე რეაგენტების (HCl და სხვა) გამოყენება;
- გასუფთავების მთელ ციკლში არ წარმოიქმნება ტოქსიკური შუალედური პროდუქტი ან ნარჩენი, რომელიც განეიტრალებას ან ჩამარხვას საჭიროებს.
- გამორიცხულია გარემოს გაჭუჭყიანება და მომასხურე პერსონალის მოწამვლა ძლიერტოქსიკური ნივთიერებებით.

თავი 6. ანიმიონის მეტალურგია

უშუალოდ ლითონური ანიომონი (სტიბოუმი) და მის ფუძეზე შენადნობები არ გამოიყენება ტექნიკაში. ფართოდაა გავრცელებული ტყვიისა და კალის ფუძეზე დამზადებული შენადნობები, რომლებიც კომპონენტის სახით შეიცავს ანიომონს. ანიომონი აუმჯობესებს შენადნობების მექანიკურ თვისებებს და კორიზიულ მედეგობას. ანიომონიანი ტყვია, რომელიც 1-12% Sb-ს შეიცავს, გამოიყენება აკუმულატორის ფირფიტების, კაბელის გარსაცმის წარმოებაში და ა.შ. ტექნიკაში ბაბიტების სახელწოდებით ცნობილი კალაანიომონიანსპილენძიანი და კალატყვიანიანი შენადნობები (ზოგჯერ შენადნობს ემატება დარიშხანი, კადმიუმი, ნიკელი, ტელური და სხვა) 11-16% Sb-ს შეიცავს. ტყვიის ფუძეზე დამზადებული ტიპოგრაფიული შენადნობები 10-25% Sb-ს (უმეტებენ კალას და დარიშხანს) შეიცავს, ხოლო კალისა და კალა-ტყვიის სარჩილებში 6%-მდე ანიომონი შედის. კალაანიომონიანი შენადნობები გამოიყენება დეკორატიული სხმულების დასამზადებლად.

ნახევრად გამტარებზე შექნილ ტექნიკაში გამოიყენება ანიომონის შენადნობები და ინტერლთონური (ინტერმეტალური) ნერთები თუთიასთან, კალციუმთან, ალუმინთან, ვალიუმთან, ინდოქთან და სხვა ლითონებთან. ცეცხლგამძლე საღებავებისა და ემალების დაზაადების საქმეში ანიომონის სამაწნავ იყენებენ. ანიომონის სულფიდი (გოგიერდოვანი ნერთი) გამოიყენება ასანთის დაზაადებაში, პირო-ტექნიკასა და სამხედრო საქმეში. ანიომონის ნერთებით ფართოდ სარგებლობენ ორგანული სინთეზის, ფანამაკეტული, ფეკრული და სხვა სახის ტექნოლოგიებში. ანიომონის მსოფლიო მარაგის ძირითადი ნაწილი თავმოყრილია ჩინეთში, ბოლივიაში, მექსიკასა და საშრეთ აფრიკაში. ანიომონი საქართველოშიც მოიპოვება სულფიდური მინერალის სახით, რომელიც ანიომონიტის (Sb₂S₃)-ის სახელწოდებითაა ცნობილი. ანიომონის კიდევ ერთ გავრცელებულ მინერალს წარმოადგენს ტეტრაედრიტი (3Cu₂SbS₃). სხვადასხვა საბადოზე მოპოვებული ანიომონის მადნები ანიომონის შემცველობითა და მისი დაყანვის ხარისხით დიდად განსხვავდება ერთმანეთისგან. სულფიდური მადანი, რომელიც 1-დან 10%-მდე Sb-ს შეიცავს, როგორც წესი, ფლოტაციურ გამდიდრებას ექვემდებარება. ასეთი ხარისხის მადნების გამდიდრების შედეგად მიღებულ კონცენტრატებში ანიომონის შემცველობა 25-65% შეადგენს, ხოლო ანიომონის ამოღება კონცენტრატში 80-90%-ის ტოლია. ანიომონის დაყანული მინერალები არ გადადის კონცენტრატში. ამიტომ სულფიდურ-ოქსიდური მადნების გამდიდრების შედეგად მიღებულ კონცენტრატში ანიომონის შემცველობა დაბალია და 50-75% არ აღემატება. სულფიდურ-ოქსიდური მადნები, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავს ანიომონის ოქსიდურ ნერთებს, ისევე როგორც სუფთა ოქსიდური მადნები პირომეტალურგიულ გამდიდრებას ექვემდებარება.

ნედლეული, რომელიც მეტალურგიულ გადამუშავებას ექვემდებარება, პირობითად სამ კატეგორიად იყოფა (ანიომონის შემცველობის მიხედვით); ღარიბი მადნები (1-25% Sb), საშუალო მადნები და კონცენტრატები (25-40% Sb), მდიდარი მადნები და კონცენტრატები (40-654% Sb). სულფიდური მადანი, რომელიც 65%-ზე მეტ ანიომონს შეიცავს, გამდიდრების გარეშე მიეწოდება მომზარებელს.

ანიომონის ნედლეულის გადამუშავების ხერხის შერჩევა დამოკიდებულია ნედლეულში ანიომონის შემცველობასა და მის ფაზურ შემადგენლობაზე. პრაქტიკაში გამოიყენება ნედლეულის გადამუშავების სხვადასხვა პირომეტალურგიული და ჰიდრომეტალურგიული ხერხი (ცხრილი III.29.)

ანთიმონის ნედლეულის გადამამუშავების ძირითადი ხერხები

ნედლეულის სახეობა	გადამამუშავების შესაძლებელი პროცესი	ძირითადი ქიმიური რეაქციები
1	2	3
ოქსიდური და სულფიდური მადნები (1-25%Sb); კომპლექსური მადნები, რომლებიც შეიცავს მძიმე და კოილზომილ ფერად ლითონებს; გამაღვრების კურობი;	დისტილაციური გამოწევა	$(Sb_2O_3)_g = (Sb_2O_3)_a$ $(Sb_2S_3)_g = (Sb_2S_3)_a$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები და კონცენტრატები (25-40%Sb), ვერცხლისწყლის - ანთიმონის კონცენტრატები, სილიციუმისა და ალუმინის ოქსიდები 40%-ს არ უნდა აღემატებოდეს, არ უნდა შეიცავდეს მძიმე და კოილზომილ ფერად ლითონებს და აგრეთვე რკინას;	ცანგეთი გამოწევა	$2Sb_2S_3 + 9O_2 = 2Sb_2O_3 + 6SO_2$ $2Sb_2O_3 + O_2 = 2Sb_2O_4$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები (25-65%Sb) არ უნდა შეიცავდეს 40%-ზე მეტ სილიციუმსა და ალუმინის ოქსიდებს; არ უნდა შეიცავდეს ტყეასა და კოილზომილ ლითონებს.	დაღვეითი და დაღვეით-აღდგენითი დნობა	$Sb_2S_3 + 3Fe = 2Sb + 3FeS$ $Sb_2O_3 + nC(CO) - 2Sb + nCO(CO_2)$
ოქსიდური მადნები (25-65%Sb); ცანგეთი გამოწევის პროდუქტები; დისტილაციური გამოწევის აქროლი, რომელშიც სილიციუმისა და ალუმინის ოქსიდები 40%-ს არ აღემატება; ანთიმონის წარმოების მტვერი (ანთიმონის ტექნიკური ნაბეჭედი)	აღდგენითი დნობა	$Sb_2O_3 + nC(CO) - 2Sb + CO(CO_2)$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები (25-40%Sb)	ცანგეთი რეაქციული დნობა	$2Sb_2S_3 + 9O_2 = 2Sb_2O_3 + 6SO_2$ $Sb_2S_3 + 2Sb_2O_3 = 6Sb + 3SO_2$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები და კონცენტრატები (40-45%Sb)	რეაქციული დნობა სილის გამოყენებით	$Sb_2S_3 + 3Na_2O + 3C(CO) = 2Sb + 3Na_2S + 3CO(CO_2)$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები და კონცენტრატები (25-40%Sb), რომლებშიც სილიციუმისა და ალუმინის ოქსიდების შესეკვლა 40%-ს არ უნდა აღემატებოდეს; კომპლექსური მადნები და კონცენტრატები, რომლებიც მძიმე და კოილზომილ ფერად ლითონებს შეიცავს; ვერცხლისწყლის - ანთიმონის კონცენტრატები; დისტილაციური გამოწევის აქროლი, რომელშიც სილიციუმისა და ალუმინის ოქსიდები და ანთიმონი ოქსიდის სახით 40%-ს არ უნდა აღემატებოდეს; ანთიმონის მტვერები; ნატრიუმის ანთიმონატი	სულფიდურ-ტუტე გამოტუტვა	$Sb_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3SbS_3$ $Sb_2O_3 + 3Na_2S = Na_3SbS_3 + Na_2SbO_3$
სულფიდური და სულფიდურ-ოქსიდური მადნები და კონცენტრატები (25-40%Sb); რომლებშიც სილიციუმისა და ალუმინის ოქსიდები 40%-ზე მეტია და მათ შემადგენლობაში არ შედის მძიმე და ტუტეშიწა ფერად ლითონები; ოქროშემსებელი მადნები და კონცენტრატები, რომლებიც არ შეიცავს მძიმე და ტუტეშიწა ფერად ლითონებს; დისტილაციური აქროლი, რომელიც შეიცავს 40%-ზე მეტ სილიციუმსა და ალუმინის ოქსიდებს	ცანგეთი მკავეური გამოტუტვა	$Sb_2S_3 + 6FeCl_3 = 2SbCl_3 + 6FeCl_2 + 3S$ $Sb_2O_3 + 6FeCl_3 = 2SbCl_3 + 3H_2O$
სულფიდური მადნები (40-65%Sb)	ზეიგერება (გერმანულად - Seigern) - მკაიი შემადგენლების შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა, რაც მათი დნობის ტემპრატურების სხვაობას ეყარება. ანთიმონის ჰაერობეტალურგიაში ეს ხერხი მდვილად ტექნიკური სამეოცნოვანი ანთიმონის (Sb_2S_3) ანუ კურდუმის გამოდნობას ითვალისწინებს.	$(Sb_2S_3)_g = (Sb_2S_3)_a$

5.1. ანთიმონის ნედლეულის გადამუშავება პარამეტრულურგულ ხერხით

5.1.1. დისტილაციური გამოწევა

დისტილაციური გამოწევა ანთიმონის სულფიდის (სამყანგის) აქროლას ეყრდნობა მაღალ ტემპერატურებზე. ამ ხერხით ანთიმონის ძირითადი რაოდენობის განცალკევება ხდება ფუჭი ქანისგან, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კომპლექსური და ლარიბი ნედლეულისთვის, რომლის დნობაც არ არის მიზანშეწონილი.

ანთიმონის სულფიდის (Sb_2S_3) დუღილის ტემპერატურა $900^{\circ}C$ -ის ტოლია, ხოლო ოქსიდის (Sb_2O_3) $1450^{\circ}C$. თუმცა, ამ ნაერთების შესამწვეი აქროლა შეინიშნება უკვე $400-650$ -ზე. აქროლის პროცესი რთულდება სულფიდის (დნება $548^{\circ}C$ -ზე), სამყანგის (დნება $656^{\circ}C$ -ზე) და მადანში არსებული ან გამოწევის დროს წარმოქმნილი ნაერთის ($2Sb_2S_3 \cdot Sb_2O_3$; დნება $517^{\circ}C$ -ზე) გადნობით და აგრეთვე ანთიმონის არააქროლად ოქსიდამდე დაეანგვით.

ლუმელში მასალის გადნობის თავიდან აცილების მიზნით გამოწევა $700-800^{\circ}C$ -ზე ტარდება თუ ნედლეული $10-25\%$ ანთიმონს შეიცავს, ხოლო ლარიბი ნედლეულის ($1-5\% Sb$) შემთხვევაში გამოწევის პროცესის ჩატარება შესაძლებელია $1100^{\circ}C$ -ზე. ლუმელში სუსტი აღმდგენი ატმოსფეროს ($2-5\% CO$) შექმნით ანთიმონის არააქროლადი ოქსიდის წარმოქმნა ფერხდება. ნახშირბადის მონო-ოქსიდის (CO) ზედმეტად ჭარბი რაოდენობა აირებში ანთიმონის ლითონამდე აღდგენას იწვევს, რაც ამცირებს მისი აქროლის ხარისხს.

ანთიმონის ნედლეულის დისტალაციური გამოწევა სხვადასხვა ტიპის ლუმელებში ხდება. რიგ ქვეყნებში ანთიმონის მადანის დისტალაციური გამოწევა მახტური ტიპის ლუმელებში ტარდება. მათი კეტი $2-10$ მ²-ის ტოლია, სიმაღლე კი $3-4$ მ-ს შეადგენს. ლუმელის მწარმოებლობა 1 ტ/მ²-ა დღე-ღამეში, საითობის ხარჯი მადნის წონის 15% -ს შეადგენს. ანთიმონის ტექნოლოგიური ამოღების მაქვენებელი (საწყის მადანში ანთიმონის შემცველობა $10-25\%$ -ია, ხოლო ნარჩენ ნაწილში მისი შემცველობა $2-3,5\%$ -ს შეადგენს) $80-86\%$ -ის ტოლია.

ანთიმონის წარმოებაში გამოიყენება მილისებრი მრრუნავი ლუმელიც. ტიპური ლუმელის დიამეტრი 2 მ-ია, სიგრძე კი 26 მ. ლუმელის მწარმოებლობა 50 ტ მადანია დღე-ღამეში, ხოლო ოქსის ხარჯი მადნის წონის 12% შეადგენს. ანთიმონის აირის ფაზაში ამოღება $90-94\%$ -ია (მადანში ანთიმონის შემცველობა $11-15\%$ -ს არ უნდა აღემატებოდეს).

იაპონიის ერთ-ერთ ქარხანაში (ხიგო) გამოწევის პროცესი მასალის შეტივტივებულ მგლო-მარობაში ტარდება. მახტური ტიპის გამოწევის ლუმელი, რომელიც მამდიდრებელი ფაბრიკის მახლობლადან განლაგებული, ფლორატციური ქაფით იტვირთება. ტემპერატურა ლუმელში $1000-1200^{\circ}C$ -ია, ანთიმონის აქროლის ხარისხი $87-90\%$ -ს შეადგენს, ხოლო ოქსის ხარჯი ლუმელის წონის 40% -ია. ოქროსა და ვერცხლის ამოღების მიზნით ნაწილში გადამუშავებას ექვემდებარება.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში ანთიმონის ლარიბი მადნებისა და გაბდიდრების კულების დისტალაციური გამოწევის ჩასატარებლად დამუშავდა და წარმოებაში დაინერგა მდულარე ფენაში გამოწევის პროცესი. მრგვალი ფორმის ლუმელის მუშა კეტი $11,4$ მ²-ა, ზევიდან ლუმელი $1,8$ მეტრ არის გაფართოებული. ლუმელის სიმაღლე $6,6$ მ-ს აღწევს. ლუმელის ქველი ცეცხლამდე ბეტონისგანანა შესრულებულია, მას გაანინა ჰაერგამანაწილებელი ქმინები, რომლებიც საეკოლოგიური ფოკალისგან შზადდება. ქმინის ხერხელის კეტი ქვედის ფართობის $1,6\%$ -ს შეადგენს; გამოსაწეავი მასალის ნაწილაკების ზომა $1-1,5$ მმ-ია, ხოლო მუშა აირის სიჩქარე ლუმელში $13-17$ სმ/წმ შეადგენს. გამოწევის ტემპერატურა $1000 \pm 20^{\circ}C$ -ის ტოლია. გახურების წყაროს წარმოადგენს ქანახშირი, რომლის რაოდენობაც მადნის ან კულების წონის 26% -ს შეადგენს. ლუმელში სუსტი აღმდგენი ატმოსფერო ($0,4-2\% CO$) შექმნილი. ლუმელის მწარმოებლობა $13-15$ ტ/მ² მადანია დღე-ღამეში, ხოლო მასალიდან ($0,6-2\% Sb$) ანთიმონის ამოღება აირად ფაზაში $75-85\%$ -ს შეადგენს.

წიგნის ავტორების მიერ (საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ფერადი ლითონების ლაბორატორიის თანამშრომლებთან ერთად) 1990 -იან წლებში დამუშავდა ანთიმონის ადგილობრივი სულფიდური მადნების ვაკუუმში სუბლიმაციური გამოწევის ხერხი, რომელიც $450-500$ -ზე ანთიმონის სულფიდის მაღალი ხარისხით ამოღებას ითვალისწინებს. ამ ტემპერატურებზე ანთიმონის ნაერთების დნობა არ შეინიშნება, რაც მადნიდან ანთიმონის სულფიდის მაქსიმალურ ამოღებას უზრუნველყოფს.

ანთიმონის ნელლეულის დისტალაციური გამოწვის პროცესში ანთიმონის აქროლის სისრულესთან ერთად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ანთიმონის აქროლის სრულ და სელექტიურ დაჭერას. ფუჭი ქანის მტვერი ექვემდებარება დაჭერას ხეშეში მტერის დამჭერ სისტემაში (მტერის კამერასა და ციკლონში) 700°C-ზე. შემდეგ კი წარმავალი აირების ტემპერატურის დაწვეა ხდება ჰაერის ან წყლის სამაცივრო სისტემის გამოყენებით, რომელიც მოთავსებულია ხეშეშ და წმინდა არგამწმინდებს შორის. ანთიმონის აქროლის დაჭერა მილისებერ კონდენსატორებში, კოქსის კომპლექსში, ელექტროფილტრებში და სხვა სახის აპარატებში ხდება.

აქროლი, რომელიც 50-80% ანთიმონს შეიცავს, აღდგენითი დნობით გადაამუშავდება.

6.1.2. თანგვითი გამოწვა

ანთიმონის სულფიდის (Sb_2S_3) თანგვა სამყანგამდე 200°C-დან იწყება და ინტენსიურად მიმდინარეობს 300-400°C-ზე:



უფრო მაღალი ტემპერატურისა და ჭარბი თანგვადის პირობებში ანთიმონის არააქროლადი ოქსიდის წარმოქმნა იწყება.

დისტალაციური გამოწვისგან განსხვავებით, თანგვითი გამოწვის დროს ანთიმონის გადასვლა აირად ფაზაში არასასურველია, ამიტომ ტემპერატურის დაწვეა და ჰაერის ნაჭარბი, რითაც არააქროლადი ოქსიდი წარმოიქმნება, დადებით ფაქტორად უნდა ჩაითვალოს. გამოსასწავლი მასალის სისხონა და მასში ანთიმონისა და გოგირდის შეცვლადიდან გამოზღინარე, თანგვითი გამოწვის პრაქტიკული ტემპერატურა 400-800°C-ს შეადგენს.

ანთიმონის ნელლეულის თანგვითი გამოწვა ხდება ამრეკლ, მპრუნავ (მაკლისებერ) და მრეაუქციკლადი ლუმელებში.

ამერიკის შერთებული შტატების ერთ-ერთ ქარხანაში (იელუუ ჰაინი) ანთიმონის კონცენტრატი, რომელიც 46% Sb, 1,8% As და 22% S-ს შეიცავს, გამოწვის ექვემდებარება ათქვედიან ლუმელში (ლუმელის დიამეტრი 6 მ-ს შეადგენს). საცეცხლე ფრქვევანა განლაგებულია მე-10 ქვედზე, ხოლო აირების გამოწვა 1-5 ქვედებზე ხდება. მასალის შეცხოვის თაიდან აცილების მიზნით პირველ ხუთ ქვედზე ტემპერატურა არ აღემატება 450°C, მომდევნო ქვედებზე კი ტემპერატურა 550°C-მდე იზრდება. აირებში ანთიმონის დანაკარგები 25%-ს აღწევს. ლუმელის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 37ტ-ს შეადგენს.

ჩოლეს ერთ-ერთ ქარხანაში (პინტალდოსი) თანგვითი გამოწვის ორიგინალური პროცესი გამოიყენება. გამოწვის საწყის მასალას წარმოადგენს ანთიმონის ფლოტაციური კონცენტრატისა (63% Sb) და გვარჯილის ნარევი. გავარეარებული ხის ნახშირით ნარევის აალების შემდეგ გამოწვის პროცესი აუტოგენურ რეჟიმში მიმდინარეობს. ანთიმონის დანაკარგი აირებში 16%-ს არ აღემატება.

რიგ ქვედებში ანთიმონის კონცენტრატების თანგვითი გამოწვა შეტივტივებულ მდგომარეობასა და მზლარე ფენაში ხდება.

6.1.3. დალექვისათ დნობა

დალექვით დნობა უბეკლესი მეთოდი და იგი დლესაც ძირითად ხერხს წარმოადგენს ანთიმონის ნელლეულის პირობეტალურგიულ გადაამუშავებაში. დალექვითი დნობის ძირითადი რეაქცია:

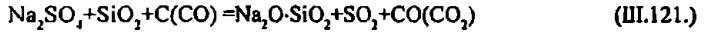
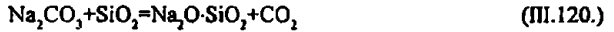


პრაქტიკულად შეუქცევადია და მარეგნივია გადახრილი 1000-1100°C ტემპერატურის ზღვრებში.

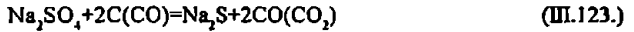
დამლექვის სახით გამოიყენება ფოლადის ან თუჯის ბურბუშლა, რომელიც კაზში შეაქვთ. თუ ნელლეულში ანთიმონი ოქსიდური ფორმითაცა წარმოადგენლი, მაშინ ოქსიდის აღდგენის მიზნით კაზში ემატება კოქსი (ასეთი პროცესი დალექვითი-აღდგენითი დნობის სახელით არის ცნობალი). აღმდგენის როლი მდგომარეობს იმაში, რომ იგი ანთიმონის თანგვასა და მის კარგვას წარმავალ აირებში აჩერებს.

ანთიმონის ნედლეულის დალექვითი დნობით გადამუშავების დროს, როგორც წესი, გამოიყენება ადვილდნობადი ფლუსები: კალციონირებული სოდა, ნატრიუმის სულფატი, სუფრის მარილი და სხვა, რაც განპირობებულია დნობის დაბალ ტემპერატურაზე ჩატარების აუცილებლობით, რათა არ მოხდეს ანთიმონის დაკარგვა წარმავალ აირებში.

სოდასა და ნატრიუმის სულფატს კავშირში და ნაწილობრივ ლითონური რკინა წიდაში გააღაყეს შემდეგი რეაქციებით:



ფლუსებიდან წარმოიქმნება აგრეთვე გოგირდოვანი ნატრიუმი:



უკანასკნელი, ნატრიუმის ოქსიდისა და სუფრის მარილის მსგავსად იხსნება დნობის შედეგად მიღებულ რკინის შტეინში და მის სიმკვრივეს ამცირებს, რითაც ხელს უწყობს ლითონისა და შტეინის გაყოფას.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში დალექვითი – ალდენითი მეთოდით გადამუშავებას ექვემდებარებოდა ღარიბი მწიფდნობადი ნედლეული (ცხრილი III.30.).

ცხრილი III.30.

ანთიმონის კონცენტრატების ტიპური შემადგენლობა

კონცენტრატები	Sb სუფრით	შემცველობა, %												
		Sb შემდეგი ფორმით				შემცველობა, %								
		Sb ₂ S ₃	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	S	As	Pb	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	სხვა
ფლუტაციური	29	22	2	4	1	16	0,2	0,1	6	35	4	2	1	6,7
	30	21	5	3	1	15	0,1	0,1	6	24	5	5	1	13,8
გრაფტაციული	30	17	3	7	3	13	0,1	1,4	4	37	3	2	1	9,5
გამოდირებით მიღებული	32	22	3	4	3	15	0,1	1,2	4	36	3	2	1	5,7

კაშპის შემადგენლობაში შედის 40% კაემიწა, 30% რკინის ქვეყანგი, 15% ნატრიუმის ოქსიდი და 15% დანარჩენი. დნობა ტარდება ამრეკლ ლუმელებში. ტიპური ლუმელის ჭედის ფართობი 8-12 მ²-ია, ხოლო აბაზანის სიღრმე 400-450 მმ. დნობის დროს ტუტე ფლუსების გამოყენების შემთხვევაში ლუმელის ჭედის ამოგება მაგნიზიტის აგურებით ხდება, ხოლო მისი კედლების ამოსაშენებლად ქრომ-მაგნიზიტი გამოიყენება. ლუმელში ერთჯერადად ჩატვირთულ მასალაში შედის დაახლოებით 2000 კგ კონცენტრატი, 500 კგ ნატრიუმის სულფატი ან კალციონირებული სოდა, 500-700 კგ რკინის ბურბუშელა და 100-150 კგ ქვანახშირი. დნობის ერთი ციკლის ხანგრძლივობა 6-8 სთ. შეადგენს, ხოლო დღე-ღამეში საშუალოდ 0,8 ტ/მ² კონცენტრატის გადნობა ხდება.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ანთიმონის ნედლეულის გადასამუშავებლად დალექვითი ელექტროდნობა უფრო კარგი მაჩვენებლებით გამოირჩევა, ვიდრე დნობა ამრეკლ ლუმელებში. ელექტროდნობა პროცესის უფრო ინტენსიურად ჩატარებისა და უფრო მწიფდნობად წიდაზე მუშაობის საშუალებას იძლევა, რაც ტუტე ფლუსების ნაწილის კორკვით შეცვლასა და წიდის შემადგენლობიდან პრაქტიკულად რკინის ქვეყანგის გაძევებას უზრუნველყოფს. წიდიდან რკინის გამოყვანა მნიშვნელოვნად ამცირებს როგორც რკინის ბურბუშელას ხარჯს, აგრეთვე წიდის გამოსავალსა და მასში ანთიმონის შემცველობას (ცხრილი III.31.).

დალექვითი დნობის წიდა საყარ პროდუქტად ითვლება შტეინი, რომელიც 12% Sb, 40-50% Fe, 25-35% S და 10%-მდე Na-ს შეიცავს, დახარისხებას ექვემდებარება; ანთიმონით ღარიბი ზოდები პირობით საყარში თავსდება, ხოლო მდიდარი ზოდები დნობას უზრუნველბა.

ცხრილი III.31.

შედარებითი მატერიალური ბალანსი და ანთიმონის ბალანსი ანთიმონის კონცენტრატების დალექციითი დნობის დროს ამრეკლ ღუმელებში და ელექტროლუმელებში, %

საწყობი მასალები და დნობის პროდუქტები	გამოსავალი კონცენტრატის წონიდან		ანთიმონის შემცველობა		ანთიმონის ამოღება	
	ამრეკლი ღუმელი	ელექტრო ღუმელი	ამრეკლი ღუმელი	ელექტრო ღუმელი	ამრეკლი ღუმელი	ელექტრო ღუმელი
ჩატვირთულია:						
კონცენტრატი	100	100	30	30	100	100
რკინის ბურბუშელა	30	14	-	-	-	-
კალციონირებული სოდა	26	22	-	-	-	-
კირქვა	-	15	-	-	-	-
ქვანახშირი	6	4	-	-	-	-
სულ	162	155			100	100
მიღებულია:						
დაუხალასებელი ანთიმონი	27	30	90	85	81	85
მტვანი	25	30	5	3	4	3
წილა	90	70	1	0,4	3	1
არში დაკარგული	20	25	-	-	12	11
სულ	162	155			100	100

დალექციითი დნობის შედეგად მიღებული დაუხალასებელი ლითონი რაყინირებას ექვემდებარება, ხოლო წარმავალი აირებისგან განცალკევებული მტვერი აღდგენითი დნობაზე ოგზავნება გადასამუშავებლად.

ნ.1.4. აღდგენითი დნობა

აღდგენითი დნობით გადასამუშავებელი მასალების მახასიათებლები მოცემულია III.32. ცხრილში. ანთიმონის სამკანგი ადვილადდგენად ოქსიდებს განეკუთვნება. მას შუალედური ადგილი უკავია ტყვიისა და სპილენძის ოქსიდებს შორის.

ცხრილი III.32.

აღდგენითი დნობით გადასამუშავებელი ანთიმონის ოქსიდური ნედლეულის ტიპური შემადგენლობა

ნედლეულის სახეობა	შემცველობა, %					
	Sb	S	As	Pb	Fe	SiO ₂
ოქსიდური მადანი	46	3	0,1	0,5	1	27
გამომწვარი მადანი	49	1	0,1	0,6	16	23
გამომწვარი ფლოტაციური კონცენტრატი	31	2	0,1	0,2	7	26
მანტურ ღუმელში დისტრილაციური გამოწვით მიღებული აქროლი	77	0,2	0,7	0,1	0,1	4
დარბი მადნების მდურარე ფენაში დისტრილაციური გამოწვით მიღებული აქროლი	30	1	1	1	0,3	41
დალექციითი დნობის მტვერი	69	4	1	0,1	1	7
რაფინირების შედეგად მიღებული მტვერი	80	1	0,6	0,2	0,2	1
კარლმის ზეფერებით მიღებული მტვერი	82	1	0,1	-	-	-
აღდგენითი დნობის მტვერი	78	1	2	0,2	0,5	1

აღდგენითი დნობა, როგორც წესი, ამრეკლ ღუმელებში (სათბობად მაზუთი გამოიყენება) ტარდება. ღუმელში ჩასატვირთ მასალაში საუარაუდიდ შუდის 1,5 ტ მტვერი (60-70 % Sb), 0,6 ტ სოდა, 0,5 ტ ნარჩენები და 0,8 ტ რაფინირების შედეგად მიღებული წილა. დნობა 900-1000°C ტემპერატურების ზღვრებში ტარდება. ღუმელებში აღმდგენი ატმოსფეროა. დღე-ღამეში საშუალოდ 0,6 ტ/მ³ ნედლეულის გადაამუშავება შეიძლება. დნობის შედეგად მიღებული წილა, რომელიც 5% Sb-ს, 45% Na₂O-ს (უმეტესად სოდას სახით) და არა უმეტეს 20% კაჟმიწას შეიცავს, დალექციითი დნობის კაზმთან შერევას ექვემდებარება (ანთიმონის ამოღებისა და წილის მაფულსირებული თვისებების

გამოყენების მიზნით). ანთიმონის ამოღება დაუხალასებელი ლითონის სახით 80-85% შეადგენს, ხოლო მისი დანაკარგი წარმავალ აირებში გადასეოთ 10%-ია.

ელექტროლუმელში პროცესის ჩატარების შემთხვევაში აღდგენითი დნობის მარეენებლები უმეოებსება.

იელოუ პინის ქარხანაში (აშშ) კაზში, რომელიც შედგება გამოშვარი კონცენტრატის (60%), მტერის (15%), აღმდგენისა და ფლუსისაგან, დნება 2000 კვტ სიმძლავრის მქონე საელექტროლიან ელექტროლუმელში, რომლის აბაზანა 5,2x2,2x0,23 მ-ს ტოლია. დნობა ტარდება პერიოდულად (პორციებით – 36 ტ კაზმის ოდენობით). ფაზური ძაბვა 80-130 ვოლტს შეადგენს, ელექტროენერგიის ხარჯი ერთი ტონა ნედლეულზე 500 კვტ.სთ. ტოლია. ლუმელიდან გამომაული წილის ტემპერატურა 1200°C-ია. თუ ნედლეულში ანთიმონის საშუალო შემცველობა 30%-ია, მაშინ, როგორც წესი, გადამუშავების შედეგად მიღებულ წილებში ანთიმონის შემცველობა 2%-ს არ აღემატება.

აღდგენითი დნობის დროს მიღებული ლითონის ხარისხი განისაზღვრება მხოლოდ საწესი ნედლეულის შემადგენლობით (განსხვავებით დალექვითი დნობისგან, რომლის დროსაც რკინის, სპილენძის, ნიკელისა და სხვათა მინარეების ბუბუმელიდან გადადის მისაღებ ლითონში).

მინარეებისგან თავისუფალი ნედლეულის გადამუშავების დროს მისაღები ლითონის სისუფთავის მიხედვით აღდგენითი დნობა, დალექვითი დნობასთან შედარებით, მნიშვნელოვანი უპირატესობით გამოირჩევა, ხოლო წილის ხარისხის მარეენებლის მიხედვით უპირატესობა ვოვლთვის დალექვითი დნობის მხარეზე.

6.1.5. სხვა ხაზის დნობები

რაც ქვეყნებში (დიდი ბრიტანეთი, მექსიკა) ანთიმონის ნედლეულის დნობა მასტურ ლუმელებში ხდება. ოქსიდური მადნების გადამუშავების შემთხვევაში დნობის პროცესი პრინციში არ განსხვავდება აღდგენითი დნობისაგან, რომელიც ამრეკლ ან სხვა ლუმელებში ტარდება. სულფიდური მადნების დნობის დროს კი ლითონის გამოყოფა დაკავშირებულია ანთიმონის სულფიდისა და საყავის ურთიერთქმედებაზე თხევადსა და აირად ფაზებში (რეაქციული პროცესი).

ანთიმონის ნედლეულის გასადნობად გამოიყენება ლუმელი, რომლის მუშა კვითი ქმინების არეში 0,75-1 მ%-ია, ხოლო სიმძლავლე 4,5-6 მ. ანთიმონის მადნთან (საშუალოდ 35% Sn-ს შეიცავს) ერთად მასტურ ლუმელში გადნობას ექვემდებარება სხვადასხვა ნარჩენები და ანთიმონის წარმოების ნახევრად პროდუქტები: მტეინები, წილები და ა.შ. ფლუსის სახით გამოიყენება კირქვა (კირი) და რკინის მადანი (პირიტული ნამწევი, რკინაშემცველი წიდა, უართი და სხვა). ამ მასალების გაანგარიშება მისაღები წილის შემადგენლობიდან გამოდინარე ხდება. წიდა უნდა შეიცავდეს 40-45% კაუმიწას, 20-30% კალციუმის ოქსიდს, 15-25% რკინის ქვეანგს და 15%-მდე სხვა კომპონენტებს. ამ შემადგენლობის წილები 1250-1300°C-ზე დაბალი სიბლანტით გამოირჩევა. მასტური დნობის კაზში და წიდაში ანთიმონის შემცველობა შესაბამისად 20%-სა და 2,5%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. დლე-ღამეში შესაძლებელია დაახლოებით 30 ტ. კაზმის გადამუშავება. პროცესის ჩატარების პირობებთან გამომდინარე (ლუმელში ჩატეირთული მასლის სიმძლავლე, კოქსის ხარჯი, ანთიმონის შემცველობა კაზმში და სხვა) ანთიმონის ამოღების ხარისხი მნიშვნელოვნად იცვლება (10-დან 85%-მდე). ანთიმონის ნაწილი გადადის აირით წატაცებულ მტეერში, რომელიც ცალკეულად წარმავალი აირებისგან. მასტური დნობის სიმარტივე, უნივერსალობა და მაღალი შვარმოებლობა ანიჭებს მას დიდ უპირატესობას ანთიმონის წარმოებაში.

გერმანიის ერთ-ერთ ქარხანაში („პერკოვი ოულოსი“) ანთიმონის მადნის, კონცენტრატისა და მტერის გადამამუშავებლად გამოიყენება მოკლე დოლისებრი მარუნავი (1-4 ბრ/წთ სიჩქარით) ლუმელი, რომელიც აირით ხურდება. ერთეულად ჩასატეირთი მასალაში შდის 800-850 კგ მდიდარი მადანი ან კონცენტრატი (ანთიმონის შემცველობა საშუალოდ 40%-ს შეადგენს), 650-700 კგ კალციინირებული სოდა და 100-130 კგ ნახშირის წერიღმანი. ერთი ციკლის დნობის ხანგრძლივობა 4 საათია. დაუხალასებელ ლითონში ანთიმონის ამოღება 70%-მდეა, წარმავალ აირებში ანთიმონის დანაკარგები კი 15-20%. ანთიმონის დანარჩენი რაოდენობა გადადის წიდაში (წიდა შეიცავს 10-12% ანთიმონს), რომელიც მასტურ ლუმელში გადაადნობას ექვემდებარება.

ბუნჯერ-პილის ქარხანაში (აშშ) ანთიმონის ნედლეული, რომელიც კეთილშობილ ლითონებს შეიცავს, შტეინზე დნობას ექვემდებარება. მომზადებული კაზმი, რომელშიც შედის ანთიმონი (ტეტრაედრის სახით), ნატრიუმის სულფატი, სოდა და დიდი რაოდენობის ნახშირი, დნობას განიცდის სამულექტროლიან ელექტროლუმულში 1260°C-ზე. ამ პირობებში ნატრიუმის სულფატი ადვება სულფიდამდე, რომელშიც იხსნება ანთიმონის ნერთები (აგრეთვე სპილენძი და კეთილშობილი ლითონები); შედეგად შტეინის ფაზა წარმოიქმნება. გაცივების და დაქუცმაცების შემდეგ შტეინი გამოტუტვას ექვემდებარება გოგირდოვანი ნატრიუმის ხსნარში. ხსნარადან ანთიმონი ელექტროლიზით გამოილევა. ხოლო კვიდან (შესქვლებული ლამი) სპილენძისა და კეთილშობილი ლითონების ამოღება ხდება.

6.2. ანთიმონის ნედლეულის გადაამუშავება ჰადრომეტალურგაული ხერხით

ანთიმონის სულფიდური და ოქსიდური მადნების, კონცენტრატების, ანთიმონის შტეინის, მტერისა და ანთიმონმეტეკელი სხვა მასალების გადაამუშავება შესაძლებელია სულფიდურ-ტუტე გამოტუტვის მეთოდით, რომელიც ხსნარის შემდგომ ელექტროლიზს ითვალისწინებს. დაქუცმაცებული (0,1-1 მმ-მდე) საწყისი ნედლეული თავსდება 20 მ³ მოცულობის მქონე რეაქტორში, რომელიც აღჭურვილია შემრევი და ორთქლის სახურებელი მიწყობილობებით. გამოტუტვის დროს – თხევადი : მყარის ფარდობა (ერთჯერადი მასალებისთვის) შეადგენს (4:20):1, ხსნარის ტემპერატურა კი 95-100°C-ის ტოლია. გამოტუტვა, როგორც წესი, რიგში ჩაყენებულ კოდებში ტარდება. თითო რიგი წინაღობების პრინციპით მომუშავე 2-3 კოდისაგან შედგება. გამოტუტვის ყოველი სტადიის ხანგრძლივობა 1,5-2 საათს შეადგენს. გამოტუტვაზე მიწოდებული საბრუნო ელექტროლიტი შეიცავს 90-105 გ/ლ გოგირდოვან ნატრიუმს, 25-40 გ/ლ მწვანე ნატრიუმს და 40-60 გ/ლ ანთიმონს. გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი, რომელშიც შედის 40-70 გ/ლ გოგირდოვანი ნატრიუმი, 50-70 გ/ლ მწვანე ნატრიუმი და 20-25 გ/ლ ანთიმონი, ელექტროლიზზე მიემართება. გამოტუტვის დროს ანთიმონის ხსნარში ამოღება 94-98%-ის ტოლია. კვი, შესქვლებისა და ფილტრაციის შემდეგ ირეცხება და საყარში თავსდება. სულფიდურ-ტუტე ხსნარის ელექტროლიზი ტარდება ფურცლოვანი ფოლადისგან დამზადებულ აბაზანაში (სიგრძე – 2 მ, სიგანე – 1 მ და სიღრმე – 0,8 მ-ია). რომელიც შიგნიდან ფისით არის მოპირკეთებული. ელექტროდები მზადდება 3-5 მმ-იანი სისქის ფოლადისგან; კათოდის ზომებია 650x950 მმ, ხოლო ანოდი, რომელიც 5-6 ზოლისაგან შედგება, სიგანით 620 მმ-ია და სიგრძით 860 მმ. ყოველ აბაზანაში ჩამოვებულია 10-15 კათოდი, ანოდების რიცხვი კი ერთი ნაკლებია. ელექტროდების შორის მანძილი 5-6 სმ-ს შეადგენს. ელექტროლიზი ტარდება 2,5-3,5 ვოლტ ძაბვაზე, დენის სიმჭიდროვე კათოდზე 250-400 ამპ/მ² შეადგენს. ელექტროლიტი ტემპერატურა 50-65°C-ია, ხოლო მისი ცირკულაციის სიჩქარე 8-15 ლ/წთ. გამოსავალი, დენის მიხედვით 50-60%-ია, ელექტროენერგიის ხარჯი ერთ ტონა კათოდურ ანთიმონზე შეადგენს 2500-4000 კვტ/სთ.

ელექტროლიზის პროცესში ანოდზე გამოიყოფა გოგირდი, რომელიც ელექტროლიტში იხსნება და ნატრიუმის პოლისულფიდს წარმოქმნის. ნატრიუმის პოლისულფიდი და სულფიდი იფანება პერის ყანგბადითა და ანოდზე გამოყოფილი ყანგბადით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება სულფიტი, სულფატი, თიოსულფატი და სხვა ნერთები. ამასთან ერთად, პოლისულფიდი ნაწილობრივ ხსნის კათოდურ ანთიმონს, რაც ამცირებს გამოსავალს დენის მიხედვით.

პროცესიდან გოგირდის (რომელიც ბალასტური მარილების სახით გროვდება ელექტროლიტში) გამოყვანის მიზნით ნამუშევარი ელექტროლიტის ნაწილი, გადარბების საექვიალურ აბაზანაში მისი დამუშავების (დარჩენილი ანთიმონის ამოღების მიზნით) შემდეგ, საყარში თავსდება, ხოლო ელექტროლიტის დანარჩენი ნაწილი ახალი კაუსტიკით ივსება (აუცილებელია სულფიდური ხსნარების კლაროლიზის თავიდან აცილების მიზნით) და შემდეგ გამოტუტვაზე იგზავნება. კათოდზე გამოყოფილი მკვრივი და მყიფე ანთიმონის ნალექი 2-3 დღეში ერთხელ ჩამოყრას და გარეცხვას ექვემდებარება. გარეცხილი კათოდური ანთიმონი რაფინირებაზე იგზავნება გადასამუშავებლად.

სულფიდურ-ტუტე ხსნარების ელექტროლიზის დროს გამოსავალი, დენის მიხედვით, შეიძლება გაიზარდოს იმ პირობით, თუ კათოდური ლითონი არ შეეხება ნატრიუმის პოლისულფიდს. ამ პირობის უზრუნველყოფა ახდის და კათოდის სივრცეებს დაფარავებით გაყოფის გზით არის შესაძლებელი. ელექტროლიზის ასეთი პროცესი გამოიყენება „სანშაინი“ ქარხანაში (აშშ).

ანთიმონის ნედლეულის პიდრომეტალურგული გადამუშავების სხვა მეთოდებიდან ცნობილია განვითი - შეევა პროცესი, რომელშიც მარომეტავა ხსნარებიდან ანთიმონის გამოყოფა რკინაზე დაკუმენტებით ხდება.

მ.წ. ანთიმონის რაფინირება

მსოფლიო ბაზარზე გავრცელებულ ლითონური ანთიმონის მარკებში ძირითადი ლითონის (ანთიმონის) შემცველობა 99-99,95%-ია, ხოლო მინარევებისა არა უმეტეს 0,17% Pb, 0,02-0,3% As, 0,005-0,1% Fe და 0,005-0,15% S.

რკინის, დარიშხანისა და გოგირდის მინარევების მოცილების მიზნით ფართოდ გამოიყენება ანთიმონის ცეცხლოვანი რაფინირება. როგორც წესი, პროცესი ტარდება მცირე ზომის (3,5-5 მ²) ამრეკლ ლუმელში. რკინის მინარევის მოსაცილებლად გამოიყენება ანთიმონის ტექნიკური სულფიდი (კურდუმი) ან ანთიმონის სულფიდური კონცენტრატი. რაფინირების ამ პროცესში ვითარდება დალექითი დნობის მსგავსი რეაქცია. რკინისგან უფრო ღრმა გასუფთავების მიზნით, მისი გადაყვანა ხდება წიდაში ნატრიუმის სულფატის მეშვეობით:



რაც შეეხება დარიშხანსა და გოგირდს, ისინი, ჰერის ენაბლად დაენაგის შუღვად გარდაიქმნება ოქსიდებად, რომლებიც სოდასთან ურთიერთქმედებით წიდას წარმოქმნის და განდევნება ანთიმონიდან. პრაქტიკაში რაფინირება ეტაპობრივად ტარდება. დასაწყისში დაუხალასებელი ლითონი სულფიდურ კონცენტრატთან (კურდუმთან), ნატრიუმის სულფატთან და სოდასთან ერთად დნობას განიცდის 1100-1200°C-ზე. წარმოქმნილ წიდასთან ერთად რკინის ძირითადი ნაწილი და ნაწილობრივ ხალიჯში და ნიკელი განიდევნება. შემდეგ ეტაპზე ტემპერატურა 800-900°C-მდე მცირდება და ლუმელში ხოლისა და კაუსტიკის ნარევი იტვირთება. კათოდური ლითონის რაფინირების დროს ნარევი ნატრიუმის სულფატის შეტანით დარიშხანი და გოგირდიც განიდევნება. რაფინირების პროცესში რეაგენტების ხარჯი დაუხალასებელ ლითონში მინარევების შემცველობაზე დამოკიდებული. როგორც წესი, ერთ ტონა მზა ლითონზე ისარგებება 40-70 კგ კალციონირებული სოდა, 30-60 კგ ნატრიუმის სულფატი და 70-100 კგ კაუსტიკია. კათოდური ანთიმონის რაფინირების დროს შესაბამისად ისარგებება 40-60 კგ სოდა, 20-40 კგ ნატრიუმის სულფატი და 10-30 კგ კაუსტიკია. ლუმელის 1 მ²-დან დღეულაღმეშ გამოიღება 2,2 ტ ლითონი, ხოლო კათოდური ანთიმონის რაფინირების დროს 3,3 ტ ლითონი.

რაფინირებული ლითონი (800-850°C-მდე გახურებული) თუჯის ბოყვეშში ჩამობისხება. ზოდების საშუალო წონა 20 კგ-ს შეადგენს. წიდეები 20%-მდე ანთიმონს შეიცავს და ამიტომ იხინი ამა თუ იმ მეთოდით (დალექითი დნობა, აღდგენითი დნობა, პიდრომეტალურგია) საბოლოო გადამუშავებას ექვემდებარება.

ცნობილია ანთიმონის ელექტროლიტური რაფინირების მეთოდიც, რომელიც პროცესის ჩატარებას ფორწყაბად-გოგირადმეტავა ელექტროლიტში ითვალისწინებს. ამ მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია ანთიმონის გასუფთავება ისეთი მინარევებისგან, როგორცაა ტყვია, კეთილშობილი და სხვა ლითონები.

განსაკუთრებული სისუფთავების ანთიმონის მისაღებად გამოიყენება რიგი ქიმიური ოპერაციები და ზონური დნობის მეთოდი.

მ.4. ანთიმონის ნაერთების მიღება

ანთიმონის ქარხნების სასაქონლო პროდუქციას, ლითონურ ანთიმონთან ერთად, წარმოადგენს ანთიმონის ნაერთები: ტექნიკური ანთიმონის სულფიდი (კურდუმი, Sb_2S_3), მაღალი ხისუფთავების ანთიმონის სამეანგი (Sb_2O_3) და ხუთგოგირდოვანი ანთიმონი (Sb_2S_5).

კურდუმი უშუალოდ მდიდარი სულფიდური მადნიდან გამოდნობით (ზეიგერებით) მიიღება.

კურდუმის გამოდნობისთვის გამოიყენება ტიკელები ან მცირე ზომის ამრეკლი ლუმელები. დაქუცმაცებული (30-100 მმ-მდე; - 10 მმ ფრაქციიდან თავისუფლდება) საწეოში მადანი 1-1,5ტ ოდენობით (ერთჯერადი ჩატვირთვა) 3,5 მ²-ის მქონე ჭედან ლუმელში იტვირთება. გამოდნობის პროცესი 5-7 საათი გრძელდება. პროცესის ტემპერატურა 60%-ან (ანთიმონის შემცველობით) მადნისთვის 550-600°C-ს შეადგენს, ხოლო 30%-ან მადნისთვის 800-850°C; ანთიმონის ამოღება

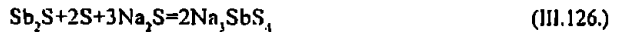
კურღუმში შესაძამისად 70-85% და 35-60%-ია. ლუმულიდან გამოსული კურღუმი ცივდება, სუფთაფლავა ჩანარებისგან და მომხმარებელს ნაჭრების, ზოლების ან ფხენილის სახით მიეწოდება. როგორც წესი, სასაქონლო პროდუქტი შეიცავს 69-74% Sb, 25-28% S, 0,5%-მდე As და 0,1-0,5% მუფის არაყმი უხსნად ნარჩენს. გამოღობის პროცესის ნარჩენები 10-30% Sb შეიცავს. მათი გადამუშავება შეიძლება მასტური დნობით, გამოტუტვით ან სხვა მეთოდებით.

მაღალი სისუფთავის ანთიმონის სამყანავის მიღება შესაძლებელია ორი ხერხით: დისტრლაციური გამოწვის აქროლებიდან მდიდარი ფრაქციის გამოყოფით ან ლითონური ანთიმონის დაჟანგვით. პირველი ხერხი არ საჭიროებს ახსნას. მეორე ხერხში მიზანშეწონილია ოქრო-ვერცხლმემსცველი ანთიმონის გამოყენება, რათა სამყანავის მიღებასთან ერთად კეთილშობილი ლითონებით გამდიდრდეს ლითონის (ანთიმონის) ნარჩენი.

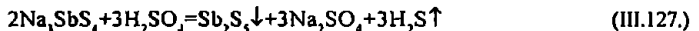
მეორე ხერხის ერთ-ერთ ვარიანტში 500-700 კგ ანთიმონი, რომელიც კეთილშობილ ლითონებს, 10% ტყვიას, 0,05% რკინას, 0,05% ღარიშხანსა და 0,1% გოგირდს შეიცავს, 1 მ³ ფართობის მქონე ამრკულ ლუმულში (ლუმული სილიტის ღერობით ხურდება) იტვირთება, სადაც 800-1000°C-ზე გადნობასა და ჰაერით ბერვას ექვემდებარება. ლუმელის სიერცეში ჰაერის სიჩქარე წაშში 0,4 მ შეადგენს, ხოლო ანთიმონის აორთქლების სიჩქარე 80 კგ/მ².სთ. ცივი ჰაერით ვაზაების შედეგად აირები 110-120°C-მდე ცივდება და მიემართება ფილტრისკენ, სადაც სასაქონლო სამყანავის დაჭერა ხდება. ერთ ტონა სამყანავის მისაღებად 2000 კვტ.სთ ელექტროენერგია იხარჯება.

სამყანავის მიღების უფრო ეკონომიური ხერხი, რომელიც „იელაუე პაინის“ ქარხანაში (აშშ) გამოიყენება, კონვერტერში ანთიმონის ბერვას ითვალისწინებს.

ხუთგოგირდოვანი ანთიმონის მიღება შემდეგნაირად ხდება. დაქუცმაცებული ანთიმონის სულფიდური კონცენტრატისა (-5 მმ) და გოგირდის (-15 მმ) ნარევი გოგირდოვანი ხსნარით (100-130 გ/ლ) მუშავდება (ან საბრუნე ელექტროლიტით). შედეგად ანთიმონი ხსნარში გადადის თიოანთიმონანტის სახით:



თუორიულთან შედარებით გოგირდი (0,4-0,45 კგ ერთ კილოგრამ ანთიმონზე კონცენტრატში) 25-30%-ის სიჭარბით შეაქვთ ნარევი. ჩასატვირთი კონცენტრატის გაანგარიშება უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას, რომლის მიხედვითაც გამოტუტვის შედეგად მიღებულ ხსნარებში ანთიმონის შემცველობა 90-120 გ/ლ იქნება. გამოტუტვის ტემპერატურა 100°C შეადგენს, ხოლო ხანგრძლივობა 2 საათს. ცხელი ხსნარი ჯერ ილექება და იფილტრება. შემდეგ კი 3 საათის განმავლობაში (არევით) 22-26°C-მდე ცივდება, რის შედეგადაც გამოიყოფა თიოანთიმონიტის კრისტალური ნალექი – შლიპეს მარილი, Na₃SbS₄·9H₂O. ცივი წყლით გარეცხვის შემდეგ, შლიპეს მარილი 24-26% Sb-ს შეიცავს. მარილის ცხელ წყალში გახსნის შედეგად მიიღება ხსნარი (1,18-1,2 კუთრი წონით), რომელიც გოგირდმყავათი განეიტრალებას განიცდის:



პრაქტიკულად განეიტრალება ხორციელდება გაზავებულ გოგირდმყავათში (1,15-1,17 კუთრი წონის მქონე) მარილის ხსნარის წერილი ნაკადით ჩასხმის გზით. ამასთან, ხსნარის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 30-40°C-ს, რათა არ მოხდეს ნალექების გაშუქება. ნორმალური ნალექი სხვადასხვა ელფერის მქონე ნარინჯისფერ-წითელი ფერით გამოირჩევა. მისი განცალკევება დუღახსნარისგან ცენტრფუგირებით ხდება. განცალკევებული ნალექი ჯერ გარეცხვას და შრობას (70-80°C-ზე), ხოლო შემდეგ წისქვილში დაქუცმაცებას ექვემდებარება. დაქუცმაცებული ნალექი აეროსუპარატორში კლასიფიცირებას განიცდის და წერილი ფრაქცია პირდაპირ მომხმარებელს მიეწოდება.

სხვადასხვა ხარისხის სასაქონლო ხუთგოგირდოვან ანთიმონში შედის 60-80% ძირითადი ნეთიურება (Sb₂S₃), არა უმეტეს 11-30% სამგოგირდოვანი ანთიმონი, 4,5-7,5% თავისუფალი გოგირდი, 2% ნაკარი და 1,6-2% ტენი.

თაზო 7. მერცხლისწყლის გეტალურება

ვერცხლისწყალი ერთ-ერთი ყველაზე გაბნეული ელემენტია. დედამიწის ქერქში მისი საშუალო შემცველობა $6 \cdot 10^{-6}$ % შეადგენს, საბადოებში კი თავმოყრილია ვერცხლისწყლის საერთო რაოდენობის მხოლოდ 0,02%. ვერცხლისწყლის ძირითადი სამრეწველო მინერალია კონოვარი (HgS). სხვა მინერალებიდან აღსანიშნავია ლივინგსტონიტი ($2Sb_2S_3 \cdot HgS$) და თეთნახაი ვერცხლისწყალი. ვერცხლისწყლის შემცველობა მადანში ფართო ზღვრებში მერყეობს, 0,05%-დან 5-10%-მდე.

საკაბითველოს მიწის წიაღში გავრცელებულია ვერცხლისწყლის მინერალი კონოვარი. ვერცხლისწყალი მრავალ დარგში გამოიყენება (ცხრილი III.33.)

ცხრილი III.33.

ვერცხლისწყლის მოხმარების სტრუქტურა აშშ

მოხმარების დარგები	კუთრი წილი მოხმარების საერთო მოცულობაში, %
ელექტრომწიფობილობა	17
საღებების და ანტისეპტიკური შემადგენლობების წარმოება	11
ქლორის და ტუტეს წარმოება	11
საკონტრალო – საზომი ხელსაწყოები	8
ქაღალდის წარმოება და პიდროლიზური მრეწველობა	4
ფარმაცეპტიკური მრეწველობა	4
სოლის მურნეობა (ინსექტიციდების, ფუნგეციდებისა და ბაქტერიციდების წარმოება)	4
მელიცინა (ქილის სამკურნალო ტენია)	3
ზოგადლაბორატორული გამოყენება	3
კაბალიზატორები	1
ამაღამაქია (ოქროს ამოღება)	1
რეისტილაქია	16
მოხმარების სხვა სფეროები (სამხედრო მრეწველობა, ატომური ტენია და სხვა)	17

ვერცხლისწყლის მადნების გადამუშავება, როგორც წესი, უშუალოდ მათი მოპოვების რაიონში ხორციელდება. მიუხედავად იმისა, რომ მადნების გამოღობება ვერცხლისწყლის ამოღებას 85-95%-ით უზრუნველყოფს, მისი გამოყენება პრაქტიკაში შეზღუდულია, ვინაიდან მადნების (რომლებიც 0,1%-ზე მეტ ვერცხლისწყალს შეიცავს) მეტალურგული გადამუშავება თანგვითი-დისტრილაციური გამოწვით უფრო ეკონომიურია. როგორც წესი, გამოწვას ექვემდებარება მადანი, რომელიც 0,1-0,2% ვერცხლისწყალს შეიცავს.

7.1 ვერცხლისწყლის ნედლეულის გადამუშავება პარიმეტალურგული ხერხით

7.1.1. ვერცხლისწყლის მადნების გამოწვა

გამოწვის პროცესის არსი კონოვარის (HgS) დაჟანგვის შედეგად გამოყოფილი ვერცხლისწყლის აქროლაში მდგომარეობს:



კონოვარის დაჟანგვა $200^\circ C$ -ზე იწყება და მადნის სისხოდან და გამოწვის პირობებიდან გამომდინარე ინტენსიურად მიმდინარეობს $300-400^\circ C$ -ზე. ვერცხლისწყლის მადნების გამოსაწვავად ყველაზე ფართოდ მრავალქვედიანი და მილისებრი მზრუნავი ლუმელები გამოიყენება.

მრავალქვედიანი ლუმელი წარმატებით გამოიყენება შედარებით მდიდარი (1-2%) მადნების გამოსაწვავად. გამოწვის წინ მადანი – $20+30$ მმ-მდე ქუცმაცდება. გამოწვის ტიპურ ლუმელს 6-8 ქველი გააჩნია (ქვედის დიამეტრი 3-6 მ შეადგენს). გამოწვის მაქსიმალური ტემპერატურა (შე-4-5 ქველებზე) $650-750^\circ C$ -ია. ლუმელიდან წარმატალი აირების ტემპერატურა $300^\circ C$ შეადგენს. ნაწვეში ვერცხლისწყლის შემცველობა 0,05-0,1%-მდეა. მტვერგატანა 2% შეადგენს. მადნის მიხედვით მწარ-

მოქვლობა დღე-ღამეში 40-120 ტონა, ხოლო მახუთის ხარეი ერთ ტონა მადანზე 25-30 კგ შეადგენს.

მთელ რიგ ქვეყნებში ვერცხლისწყლის მადნების გამოსაწვავად გამოიყენება მილისებრი მბრუნავი ლუმელი, რომელიც, როგორც წესი წინაღონების პრინციპით მუშაობს. ზომების მიხედვით ასეთი ლუმელი ორი ტიპისაა. პირველი ტიპის ლუმელის დიამეტრი 0,9-1,2 მ-ია, ხოლო სიგრძე 11-18 მ, მეორე ტიპის ლუმელის კი შესაბამისად 1,5-2,2 მ და 18-27 მ. ლუმელების ბრუნვის სიჩქარე 1-4 ბრ/წთ შეადგენს და მათი გადმოსატვირთი მხარეები დახრილია 2-5°-ით. მილისებრ ლუმელში, როგორც წესი, გამოწვას ექვემდებარება მადანი, რომელიც 0,1-1% ვერცხლისწყალს შეიცავს. გამოწვის ტემპერატურა (ლუმელის ყველაზე ცხელ ზონაში) 700-850°C-ია, პროცესის ხანგრძლივობა კი 25-45 წუთი. პირველი ტიპის ლუმელის მწარმოებლობა (მადნის მიხედვით) დღე-ღამეში 50-120 ტონა, ხოლო მეორე ტიპის 150-400 ტონა. მახუთის კუთრი ხარეი ერთ ტონა მადანზე 25-35 კგ შეადგენს. მილისებრი ლუმელებიდან მტვერგატანა გამოწვის დროს მადნის წონის 2-5%-ია. სამწეო, როგორც წესი 0,002-0,1% იღ შეიცავს და იგი საყარში თავსდება. წარმატებული აირების ტემპერატურა 300-350°C შეადგენს.

გამოწვის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება აგრეთვე მდუღარე ფენის ლუმელი, რომელიც მოცულობის ერთეულზე მაღალი კუთრი მწარმოებლობით გამოირჩევა (მილისებრ ლუმელთან შედარებით 5-ჯერ უფრო მაღალია, ხოლო მრავალქვედან ლუმელთან შედარებით 40-50-ჯერ მაღალი). ლუმელის ნალოვან მხარეებს განეკუთვნება მასალის დაქუცმაცების მაღალი ლირებულება და მაღალი მტვერგატანა, რაც აირის გასუფთავების პროცესებს ართულებს.

7.1.2. ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსაცია

გამოწვის აირი, რომელიც 40-100 გ/მ³ მტვერს შეიცავს (მდუღარე ფენის ლუმელიდან წარმატული აირი 700-750 გ/მ³) თანმიმდევრულად სუფთავდება მტვერდამჭერ სისტემაში (კამერებში, ციკლონებში, ზოგჯერ ვლექტროფილტრებში). მტვერდამჭერ სისტემაში ვერცხლისწყლის კონდენსაციის თავიდან აცილების მიზნით, მასში ტემპერატურა 250-220°C-ზე დაბალი არ უნდა იყოს. ასეთ პირობებში დაჭერილი მტვერი (როგორც წესი, 0,02-0,05%-ზე მეტ ვერცხლისწყალს არ შეიცავს) საყარში თავსდება. აღნიშნულ ზედააღებზე უფრო დაბალი ტემპერატურისა და აგრეთვე არასაკმარისი მენაგეი ატმოსფეროს პირობებში ვერცხლისწყლის შემცველობა მტვერში 0,1-0,2%-ზე უფრო მეტად იზრდება. ამ შემთხვევაში მტვერი გამოწვას ხელშეორედ განიცდის.

მტვერისგან გასუფთავებული (220-350°C-ზე) აირი, რომელიც 2-20 გ/მ³ ვერცხლისწყალს შეიცავს, კონდენსაციაზე მიემართება. პროცესის არსი ვერცხლისწყალის ორთქლის წნევის დაწევამ მდგომარეობს, რაც ტემპერატურის შემცირების დროს ხდება.

ვერცხლისწყლის ქარხნების პრაქტიკიდან გამოზინდარი, კონდენსატორებში ვერცხლისწყლის საკმაოდ სრული დაჭერისთვის საციების კუთრი ზედააირი დაახლოებით 0,1 მ³/მ³სთ აირებს უნდა შეადგენდეს, ხოლო საკონდენსაციო მილებში აირის მოძრაობის სიჩქარე 4-6 მ/წმ-ს. უფრო მაღალი სიჩქარის დროს კონდენსატორიდან გამოძაველი ცივი აირებიც კი 60-100 მგ/მ³ ვერცხლისწყალს შეიცავს, ანუ გაღის გადაეკრებული. პრაქტიკაში პაერთი საციებელი კონდენსატორების ნორმალური მუშაობის დროს მათგან გამოძაველი აირების ტემპერატურა 25-35°C შეადგენს, ხოლო აირებში ვერცხლისწყლის შემცველობა 30-50 მგ/მ³-ის ტოლია. პაერთი საციებელი კონდენსატორების ნაკლს განეკუთვნება მათი ვეებერთელა ზომები და აგრეთვე კონდენსატორების გასუფთავების გამო ლუმელების პერიოდული გაწერების (როგორც წესი, 10 დღეში ერთხელ) აუცილებლობა.

აღნიშნული ნაკლოვანებებიდან თავისუფალია კონდენსატორები წყლის შიგა საციებელით – ქაფიანი აპარატები და სკრუბერები. პორიზონტალური მექანიკური სკრუბერი, წყლის 1 ლ/მ³ ხარეის დროს, აპარატის 1მ³-ზე 250-270°C –დან 30°C-მდე 400-450 მ³/სთ აირებს აციებს. კონდენსაციის ხარისხი 92-99% შეადგენს.

კონდენსატორის მიმღებ ვარცლებში თავმოყრილი ვერცხლისწყლით მდიდარი ნახვეარპროდუქტი – პულა, ანუ „სტუპა“ (გერმანულ. – Stupp) შემდგომ ეტაპზე გადასუშავებას განიცდის ლითონური ვერცხლისწყლის მილების მიზნით.

7.1.3. ვერცხლისწყლის გამოყოფა სტუმბიდან

სტუმბში ვერცხლისწყლის შემცველობა (როგორც წესი 20-დან 80%-მდე შეადგენს) გამოწვევის ხერხსა და მტვერდამჭერ მოწყობილობაზე დამოკიდებული. სტუმბის მყარი ნაწილი წარმოადგენს ნარევეს, რომელშიც შედის ლითონური ვერცხლისწყალი, მისი ნაერთები (ხელფილი, ოქსიდი და სულფატი), ანთიმონისა და დარიშხანის ნაერთები, მადნის მტვერი, ნარჩენები და სათბობის წვის პროდუქტები. სტუმბში ვერცხლისწყალი წვრილი წვეთების სახითაა წარმოდგენილი. მათ შერწყმას ხელს უშლის ოქსიდურ-ორგანული აფსკი.

კონდენსატორის ვარცხლებიდან ამოღებული სტუმბა ეტაპობრივ გადამუშავებას ექვემდებარება. პირველადი გადამუშავების ეტაპი მადნის მტერის ჩამორეცხვასა და დაუშლელ კირთან სტუმბის შერევის ოპერაციებისგან შედგება. უკანასკნელი ოპერაცია ანუ ე.წ. სტუმბის „მომტვერევა“ (გაცლა) თავისუფალი ტენის შემცირებას (კალციუმის ოქსიდის პიდრატაციის შედეგად), სტუმბის რამდენადმე შეთბობასა და ოქსიდურ-ორგანული აფსკის ქიმიურ დაშლას ითვალსწინებს. ამ ოპერაციის შედეგად ვერცხლისწყლის წვრილი წვეთები მსხვილდება. სტუმბის მომტვერევა ბეტონშემრევი ტიპის მარტივ მანქანებში ხდება. მომტვერევის დროს კირის ხარჯი სტუმბის წონის 25-35% შეადგენს. აუცილებლობის შემთხვევაში ჩამორეცხვისა და გაცლის ოპერაციები ბეორდება, რის შემდეგაც კირის დამატებითი რაოდენობით შეზავებული სტუმბა გამოწვას ექვემდებარება. მომტვერევის პროცესით ვერცხლისწყლის ამოღება ლითონურ ფორმაში (პირდაპირი მომტვერევის კოფიცირენტი) სტუმბის ხარისხზეა დამოკიდებული და 20-90% შეადგენს.

სტუმბის გამოწვა მილისებრი, რეტორტული ან მუფელის ტიპის ლუმელში ტარდება. გამოწვის შედეგად წარმოიქმნება მასა, რომელსაც განმეორებით გამოწვა უტარდება. მასის გამოხავალი ერთ ტონა გამოწვეარ მადანზე 4-10 კგ-ია, ხოლო ვერცხლისწყლის შემცველობა მასში 10-30% შეადგენს, მისი ტენიანობა 10-25%-ს აღწევს.

სტუმბის გამოსაწვავად ხშირად გამოიყენება ფოლადის მილისგან დამზადებული სტაციონარული რეტორტები, რომელთა დიამეტრი 300-500 მმ, ხოლო სიგრძე 3-5 მ-ია. დაახლოებით 5-12 ასეთი რეტორტა თავსდება ლუმელში, რომელიც მაშუთის, ბუნებრივი აირის ან ელექტრული მახურებლით არის აღჭურვილი. სტუმბის ჩატვირთვა და გადმოტვირთვა ხელით ხდება. გამოწვის პროცესის ხანგრძლივობა 10-12 საათია. ბევრად უფრო დახვეწილია რეტორტული ტიპის მექანიკური (მარუნავი) გამოსაწვავი ლუმელი (დიამეტრი 1 მ-ია, სიგრძე 7 მ), რომლის მწარმოებლობა დღე-ღამეში 7 ტ შეადგენს.

რეტორტული ლუმელისგან განსხვავებით, მუფელის ლუმელი ცეცხლამბლე მასლითაა ამოვებული. მუფელის ლუმელის (დიამეტრი 2 მ-ია, სიგრძე 14 მ) მწარმოებლობა დღე-ღამეში 20 ტ უდრის. რეტორტულ და მუფელის ლუმელებში გამოწვის ტემპერატურა 350-550°C-ია. გამოწვის პროცესში ლითონური ვერცხლისწყლის აქროლასთან ერთად ვერცხლისწყლის სულფიდის დაშლაც ხდება:



ზემოთ აღწერილი მილისებრი ლუმელის კონდენსატორისგან (პერით საცივებელი) განსხვავებით, რეტორტული ლუმელის კონდენსატორი მცირე ზომისაა (მისი მილები პირიზონტალურიანადაა განლაგებული). ვინაიდან გამოსაწვავი მასალა არ ეხება საცეცხლე აირებს, ტექნოლოგიური აირების გამოსავალი დაბალია, ხოლო ვერცხლისწყლის შემცველობა მასში ძალზე მაღალი. ამის წყალობით სტუმბიდან 9.5-9.9% ვერცხლისწყალი ლითონური სახით გამოიყოფა. რეტორტული გამოწვის ნარჩენები ხელმოკრედ განიცდის გადამუშავებას (მილისებრი ლუმელში).

7.2. ანთიმონ-ვერცხლისწყლის ნედლეულის გადამუშავება

ანთიმონისა და ვერცხლისწყლის გეოქიმიური სიახლოვის გამო მათი მარაგის მნიშვნელოვანი ნაწილი ანთიმონ-ვერცხლისწყლის კომპლექსური მადნებითაა წარმოდგენილი. ასეთი მადნების რაციონალური გადამუშავება სულ უფრო და უფრო აქტუალური ხდება.

ანთიმონ-ვერცხლისწყლის ნედლეულის პირობეტალურგოული გადამუშავება (უბტეს შემთხვევაში) პირველ ეტაპზე ვერცხლისწყლის სელექტიურ ამოღებას ითვალსწინებს დაბალტემპერატურული

გამოწვის გზით, ხოლო ანთიმონის ამოღება გამოწვევარ მასალიდან ხდება მომდევნო ეტაპზე. ანთიმონ-ვერცხლისწყლის ფლოტაციური კონცენტრატებიდან ვერცხლისწყლის სელექტიური აქროლა შეიძლება განხორციელდეს რეტორტულ (450°C -ზე), ელექტროეკუპურ (425°C -ზე) და მდლარე ფენის ლუმელებში. მდლარე ფენის ლუმელში გამოწვის პირობები უმნიშვნელოდ განსხვავდება ანთიმონის ფლოტაციური კონცენტრატების გამოწვის პირობებისგან: გამოწვის ტემპერატურაა 500°C , პრარობებლობა დღეღამეში 1 მ^2 -ზე – 40 ტონა, ჰაერის ზარჯი ერთ ტონა კონცენტრატზე – 230 - 300 მ³. პროცესისთვის საჭირო ტემპერატურა სტიბიტის ფანგვის რეაქციის სითბოს ხარჯზე უთარადება. დესულფურიზაციის ხარისხი 75 - 85% შეადგენს. ვერცხლისწყლის ამოღება აირად ფაზაში 95% -ია; ანთიმონის დანაკარგები 4 - 5% -ს არ აღემატება. ანთიმონის ამოღების მიზნით გამოწვევარი კონცენტრატი, როგორც წესი, აღდგენით დნობას ექვემდებარება.

ნელეულიდან ვერცხლისწყლის ამოსაღებად ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებიც გამოიყენება. ტუტე-სულფიდური გამოტუტვის დროს ვერცხლისწყლის ამოღება ღარიბი მადნებიდან 60 - 90% შეადგენს, მდიდარი მადნიდან და ფლოტაციური კონცენტრატებიდან კი 95 - 99% -ს. ალუმინით დაცემენტების დროს ვერცხლისწყლის ამოღება ხსნარიდან 98% უტოვდება. ტუტე-სულფიდური ხსნარების ელექტროლიზის დროს გამოსავალი, ღენის მიხედვით, ვერცხლისწყლისთვის 90% -ს აღემატება. ვერცხლისწყლისა და ანთიმონის შემცველი ხსნარის ელექტროლიზის შედეგად მიღებული კათოდური ნალექის გაწურვით ვერცხლისწყლის 80% გამოიყოფა. ვერცხლისწყლის დანარჩენი რაოდენობა კი დაბალტემპერატურული აქროლით ცალკეედება ანთიმონისგან. შესაძლებელია ვერცხლისწყლის დაცემენტება ანთიმონიანი კოლექტიური ხსნარიდან ანთიმონის შემდგომი ელექტროლიტური დალექვით.

7.3. ვერცხლისწყლას რაფინირება

ყოფილ საბჭოთა კავშირში ვერცხლისწყლის სამი მარკა იწარმოებოდა (ცხრილი III.34.)
ცხრილი III.34.

რაფინირებული ვერცხლისწყლას მარკები

მარკა	საეარაუდო დანიშნულება	ვერცხლისწყლის შემცველობა, %
P1	გაერაური ელექტროტიქიკა	99,999
P2	საკონტროლო-ზაზომი ზღლსაწყობი	99,99
P3	ოქროს ამაღამაცია, მაროლებსა და ფარმაკეტიკური პრეპარატების წარმოება	99,9

ზღდარებით დაბალი სისუფთავის, ანუ P3 მარკის ვერცხლისწყლის მისაღებად საკმარისია დაუხალასებელი ვერცხლისწყლიდან მექანიკური მინარეების განდევნა ფილტრაციით (გამოიყენება ნატი ან საფილტრე ქსოვილის ორმაგი ფენა).

საშუალო სისუფთავის P2 მარკის მისაღებად P3 მარკის ვერცხლისწყალი წვეთების სახით თანმიმდევრულად უნდა გატარდეს შემდეგი სითხეების მალად ფენაში ($0,4$ - 2 მ): 10 - 25% -ან მწკავე ნატროუმის ან მწკავე კალიუმის ხსნარში – ორგანული ნაერთების განდევნის მიზნით; დისტილირებულ წყალში – ტუტე ნარჩენების მოცილების მიზნით; 10 - 25% -ან აზოტმკაეას ხსნარში – ანთიმონის, დარიშხანის, ტყვიის, თუილის, სპილენძისა და სხვა ლითონური მინარეების განდევნის მიზნით; დისტილირებულ წყალში – აზოტმკაეას ნარჩენების მოცილების მიზნით; ეთილის ეთერში – წყლის ნარჩენების მოცილების მიზნით.

მაღალი სისუფთავის P1 მარკის მისაღებად გამოიყენება ოზონირება, დისტილაცია ვაკუუმსა და ინერტული აირის ნაკადში, მინარეების ელექტროლიტური განდევნა და ა.შ.

სუფთა ვერცხლისწყალი გამოირჩევა ვერცხლისფერი-თეთრი ფერითა და სარკისებრი ზღდაპირით, ნარჩენების გარეშე იხსნება აზოტმკაეაში, სუფთა შუშის ტურჭლის კედლებს არ ეწებება და არ ტოვებს კვალს გლუვ თეთრ ქაღალდსა და ფაიფურის ფირფიტაზე (P1 და P2 მარკები). მაღალი სისუფთავის ვერცხლისწყალი დისტილირებულ წყალთან ერთად სინჯარაში შენჯღრევის დროს იძლევა ქაფს, რომელიც არ ქრება 5 - 15 წმ-ის განმავლობაში.

თახი II. ოქროსა და მისი მხარის მატარებელი

ოქრო, ვერცხლი, პლატინა და მისი ბუნებრივი თანამზავებელი — ოსმიუმი, ირიდიუმი, რუთენიუმი, როდიუმი, პალადიუმი კეთილშობილი ლითონების ჯგუფს განეკუთვნება.

სახელწოდება — „კეთილშობილი ლითონები“ ოქროს, ვერცხლისა და პლატინის ჰაერზე დატანვის წინააღმდეგ მდგრადობასთან და აგრეთვე ოქროსა და პლატინის კონცენტრირებულ მინერალურ მკაეებში გამძლეობასთან დაკავშირებით წარმოიშვა. როგორც ცნობილია, ოქრო და პლატინა მარილმჟავასა და აზოტმჟავას ნარევი (მეფის არაყი) იხსნება. ოქროს საუკეთესო გამხსნელებს განეკუთვნება ნარევი, რომელიც ქლორს გამოყოფენ და ციანური მარილების ხსნარები. მკაეებიდან სელენის მკაეა (H_2SeO_4) ერთადერთია, რომელშიც ოქრო იხსნება. ოქრო იხსნება აგრეთვე თიოშარდოვანას ხსნარში.

ყველა კეთილშობილი ლითონი ძალიან ძვირია, რაც მიწის წიაღში მათი მცირე შემცველობით, გაბნეულობითა და მოპოვების სიძნელეებითაა განპირობებული.

ოქრო და ვერცხლი უძველესი დროიდანაა ცნობილი, ხოლო ყველა დანარჩენი კეთილშობილი ლითონი აღმოჩენილ იქნა მხოლოდ XVIII-XIX საუკუნეებში.

ექნულ გამოირჩევა ფიზიკური და ქიმიური თვისებების ისეთი უნიკალური კომპლექსით, რომელიც არ გააჩნია არც ერთ სხვა ლითონს. იგი აგრეთვე გააუმჯობესებს ზემოქმედებისაღმდეგ მდგრადობით გამოირჩევა, ელექტრო და თბოგამტარობით მხოლოდ ვერცხლსა და სპილენძს ჩამოუვარდება. ოქრო ძალზე ტექნოლოგიურია, მისგან ადვილად მზადდება ზნაზი კილიტა და მიკრონული მკაეული, იგი ადვილად ირჩილება და ადვილად განიცდის წნევით შედუღებას. ოქროს დანაფარების მოლექვა ლითონებზე და კერამიკაზე გაადვილებულია. ოქრო თითქმის მთლიანად აირაკლავს ინფრარწითელ სხივებს, შენადნობებში კატალიზური აქტიურობით გამოირჩევა. ოქროს სასარგებლო თვისებების ასეთი ერთობლიობა განაპირობებს მის ფართო გამოყენებას თანამედროვე ტექნიკის უმნიშვნელოვანეს დარგებში: ელექტრონიკაში, კოსმოსურ და საავიაციო ტექნიკაში, ბირთვულ ენერგეტიკაში და ა.შ.

ოქრო და მისი შენადნობები ფართოდ გამოიყენება სუსტდენიან ტექნიკაში კონტაქტების დასამზადებლად. ოქროს კარგი ელგამტარობა და უენგაობა ასეთი კონტაქტების საიმედოობას უზრუნველყოფს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ოქრო, თხელი დანაფარების სახით შუშაზე, კერამიკაზე და კვარცხზე ფართოდ გამოიყენება ელექტრონულ მოწყობილობებში, ნახევრად გამტარ ელემენტებში, მიკროსკოპებში ულტრის გადასაცემად. ასეთი ფირები ძალიან ელგამტარობათა და კოროზიული მდგრადობით გამოირჩევა. მნიშვნელოვანი თვისებებით გამოირჩევა სარჩილები ოქროს ფუძეზე. დასველების მაღალი ხარისხის გამო, სარჩილები სხვადასხვა მასალის დარჩილებაში გამოიყენება. ნარჩილის ნაერთებს გააჩნიათ მაღალი კოროზიული მდგრადობა, ტექნოლოგიურობა, დიდი სიმტკიცე და მსურველმტკიცობა. ნარჩილების დაბალი ორთქლის დრეკადობის გამო, შესაძლებელია მათი გამოყენება ვაკუუმში დრო ნაკლები დარჩილებაშიც. ოქროს ნარჩილის ძირითად მომხმარებელი ელექტრონული მრეწველობა წარმოადგენს. ამ დარგში ოქროს ნარჩილები გამოიყენება ისეთი დეტალების, ხელსაწყოებისა და მოწყობილობების დარჩილებაში, როგორცაა ტელელასტარების კვანძები, ელექტრონული მოლაკები, რადარული დანადგარები, ვაკუუმური ხელსაწყოები და ნახევრად გამტარი ინტეგრალური სკემები.

ნარჩილები ოქროს ფუძეზე გამოიყენება აგრეთვე ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარების კვანძების, თვითმზერინაგების, რაკეტული ძრავებისა და კოსმოსური აპარატურის დეტალების დარჩილებაში.

ოქრო და მისი შენადნობები, პრეტენზიული პოტენციომეტრების, თერმოწყვილებისა და წინაღობის თერმოპეტრების დასამზადებლად იხმარება.

ინფრარწითელი სხივების მიმართ მაღალი არეკლის თვისებების გამო, ოქროს დანაფარები კოსმოსური აპარატების მზის რადიაციისგან დასაცავად გამოიყენება. კოსმოსური ხომალდის, „აპოლონის“ ზოგიერთი დეტალი და კოსმონავტების აღჭურვილობა დაფარული იყო ოქროს თხელი ფენით.

ოქროს მნიშვნელოვანი რაოდენობა სტომატოლოგიას ხმარდება: ვიკრივები და კბილის პროტეზები ოქროს, ვერცხლის, ნიკელის, პლატინისა და თუთიის შენადნობებისგან მზადდება. ამ შენადნობებში შეთავსებულია კოროზიული მდგრადობა და მაღალი მექანიკური თვისებები. ოქროს

ნაერთები შედის ზოგიერთ სამედიცინო პრეპარატში, რომელიც რიგი დაავადებების სამკურნალოდ გამოიყენება (ტუბერკულოზი, რემატული ართრიტები და ა.შ.). რადიოაქტიური ოქრო გამოიყენება ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ.

ოქროს ტრადიციული და ყველაზე მსხვილი მომხმარებელია საიუველირო მრეწველობა. საიუველირო ნაკეთობანი მზადდება არა სუფთა ოქროსგან, არამედ მისი სხვა ლითონებთან შენადნობებისგან, რომელთა მექანიკური სიმტკიცე და სიმაგრე გაცილებით მეტია ოქროზე. ამისთვის, ძირითადად, გამოიყენება Au-Ag-Cu შენადნობები, რომლებიც შეიძლება შეიცავდეს თუთიის, ნიკელის,კობალტისა და პალადიუმის დანამატებს. ასეთი შენადნობების კოროზიული მდგეობა, ძირითადად, ოქროთი განისაზღვრება, ხოლო შეფერილობა და მექანიკური თვისებები ვერცხლისა და სპილენძის ფარდობაზე დამოკიდებული.

საიუველირო ნაკეთობების მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს მათი სინჯი, რომელშიც ნაჩვენებია ოქროს შემცველობა (ვერცხლისა და პლატინის ნაკეთობებში – შესაბამისად ვერცხლისა და პლატინის). ჩვენს ქვეყანაში (აგრეთვე ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვა რესპუბლიკებში) მიღებულია სინჯების მეტრული სისტემა, რომელშიც ოქროს შემცველობა აღინიშნება ნაწილების რიცხვით (მასის მიხედვით) შენადნობის ათას ნაწილში. მეტრული სისტემის მიხედვით, სუფთა ოქროს სინჯი 1000-ის ტოლია. რუსეთში 1927 წლამდე სინჯის აღსანიშნავად მისხალი (ЗОЛОТНИК) გამოიყენებოდა, რომლის მიხედვითაც, ოქრო გამოისახებოდა მისხალების რიცხვით ერთ გირვანჯე შენადნობებში. ამ სისტემის მიხედვით, სუფთა ოქროს სინჯი 96 შეადგენდა. რიგ ქვეყნებში (აშშ, დიდი ბრიტანეთი, შვეიცარია) შემოღებულია კარატული სისტემა, რომელშიც სუფთა ოქრო (სინჯი 1000) შეესაბამება 24 პირობით ერთეულის – კარატებს. სხვადასხვა სინჯების მნიშვნელობები მოყვანილია დაბლა:

მეტრული	1000	958	750	583	375
მისხლის	96	92	72	56	36
კარატული	24	23	18	14	9

ყოფილ საბჭოთა კავშირში საიუველირო ნაკეთობების ძირითადი ნაწილი მზადდებოდა შენადნობებისგან, რომელთა სინჯებია 750, 583, 375. დასავლეთის ქვეყნებში ფართოდ გამოიყენება 18, 14 და 10-კარატის შენადნობები.

ოქროს მნიშვნელოვანი რაოდენობა მონეტებისა და მუდლების მოჭრასა (თევზაზე) და დეკორატიულ დანაფარებზე იხარჯება.

წონისა და გარეგნული მახასიათებლების სანგრძლივი უცვლელობის გამო, ოქრო და ვერცხლი სასაქონლო მუდრეობის განვითარებისთანავე გადაიქცა გაცვლით ექვივალენტად და ღირებულების საზომად და ასრულებდა ფულის ფუნქციას. საქონლებზრუნვის გართულებისა და გაყარათიების გამო გაცვლითი დამოკიდებულებების სფეროდან ვერცხლი გამოიძევებული იქნა უფრო ძვირფასი და მოზერხებული ოქროთი.

ოქრომ განსაკუთრებული როლი შეასრულა კაპიტალიზმის განვითარებასა და მისი სამეურნეო მექანიზმის ფორმირებაში. კაპიტალიზმის განვითარებასთან ერთად ოქროს მდგომარეობაც იცვლებოდა. კაპიტალისტური წარმოების ყოველ სტადიას მეტნაკლებად სრულად შეესაბამებოდა განსაზღვრული ფულადი სისტემა, რომელშიც ოქროს ფულადი ფუნქციის მოცულობის შექცირების საერთო ტენდენცია შეინიშნებოდა. ამჟამად ოქრო იურიდიულად ჩამოშორებულია ფულად მიმოცვლას და ფორმალურად აღარ არის დაკავშირებული ფულად სისტემასთან. მიუხედავად ამისა, როგორც ყოფილი ფულადი ლითონი, ოქრო ვერ კიდევ ინარჩუნებს რიგ მნიშვნელოვან თვისებებს, რომლებიც გამოყოფს მას დანარჩენი სასაქონლო მასიდან.

უპირველესად, ოქრო მასალაა, რომელიც სახელმწიფო რეზერვებში და კერძო მარაგებში ინახება (ტენზერაცია), რაც განპირობებულია ოქროს უნარით, რომელიც მას სამყიდველო და გადახდის აბსოლუტურ საშუალებად წარმოადგენს. ისეთ საეკონომიკო საქონლეთთან შედარებით, როგორცაა, მაგალითად ნავთობი, ზეთი, მარცვლეული და ა.შ., ოქრო გამოირჩევა რიგი უპირატესობებით: მაღალი კუთრი ღირებულებით, კომპაქტურობითა და ტრანსპორტაბელურობით.

ყველაზე ოქროს მუგავდა, შესანიშნავი ტექნიკური თვისებებით ხასიათდება, რის გამოც იგი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში. ლითონებს შორის ვერცხლი ყველაზე მაღალი ელექტრო და

თბოგამტარობით ხასიათდება და ამასთან იგი დაბალი ქიმიური აქტიურობით, პლასტიკურობითა და მაღალი არეკვლითი უნარით გამოირჩევა.

განსხვავებით ოქროსგან, რომლის ძირითადი მასა საიუველირო და მასთან დაკავშირებული მრეწველობის დარგებში გამოიყენება, ვერცხლი ძირითადად სუფთა ტექნიკური მიზნებისათვის იხმარება. ვერცხლის მოხმარების მნიშვნელოვანი სფეროა კინო და ფოტომრეწველობა, სადაც იგი შექმერბობიარე მასალების წარმოებაში გამოიყენება. ვერცხლის ხარჯი ამ დარგში განუზრვლად იზრდება, თუმცა, მიუხედავად მეცნიერების ყოველი ღონისა, მისი სრულფასოვანი შემცველი ამ მიზნებისთვის ვერაუერობით არ გამოიწანა.

ვერცხლის მსხვილ მოხმარებელს ელექტროტექნიკა და ელექტრონიკა წარმოადგენს. ვერცხლის მაღალმა ელექტროგამტარობამ და მასთან შეხამებულმა ქიმიურმა მდევობამ განაპირობა მისი ფართო გამოყენება კონტაქტებისა და გამტარების დამზადების საქმეში.

ვერცხლის მნიშვნელოვანი ნაწილისგან მზადდება სარჩილები, რომლებიც სხვადასხვა ლათონებისა და შენადნობების დარჩილებაში იხმარება. ვერცხლის სარჩილები მტკიცე და პლასტიკურ ნარჩილებს იძლევა. ნარჩილები დარტყმებისა და ეიბრაციისადმი დიდი გამძლეობით გამოირჩევა. დაფანგვისადმი მდევობის გამო ვერცხლის სარჩილები ფართოდ გამოიყენება საავიაციო და კოსმოსურ ტექნიკაში, ხოლო ვერცხლის მაღალი ელექტროგამტარობა განპირობებს მის გამოყენებას ელექტროტექნიკაში. მაღალი განმუხტვის მახასიათებლებით გამოირჩევა ვერცხლ-თუთის და ვერცხლ-კადმიუმის აკუმულატორები, რომლებიც რაკეტულ ტექნიკაში, წყალქვეშა ფლოტში და სხვა დარგებში გამოიყენება. ვერცხლის ქლორბის შემცველი მინიატურული ბატარეები ხელის ელექტრონულ საათებში, კინოკამერებსა და კალკულატორებში ფართოდ გვხვდება.

ვერცხლის, კადმიუმისა და ირიდიუმის შენადნობებისაგან დამზადებული მარეკულირებელი ღეროები ბირთვულ ტექნიკაში იხმარება.

ვერცხლი გამოიყენება აგრეთვე ანტიფორიკოული შენადნობებისა და დანაფარების დამზადებაში, მდელინაში და ა.შ. დიდი ხანია ცნობილი ვერცხლის ბაქტერიციდული თვისებები. ამ თვისებების გამო ვერცხლს სასნილი წყლის გასასუფთავებლად იყენებენ. ვერცხლისა და მისი ნაერთების კატალიზური თვისებები თანამედროვე ქიმაში რიგი ნივთიერების მისაღებად იხმარება.

ვერცხლის გამოყენების ტრადიციულ სფეროს წარმოადგენს სამკაულების, სუფრის ჭურჭლის, სამხსოვრო მდლებისა და საკოლექციო ნივთების წარმოება. ყოველ სამჭოთა კავშირში დამზადებული ვერცხლის ნაკეთობების სინჯებია: 925, 900, 875 და 628, ხოლო პლატინის სინჯი - 950.

ოქრო - იშვიათი ელემენტია, მისი საშუალო შემცველობა დედამიწის ქერქში (კლარკი) შეადგენს 5·10⁻⁷%-ს, ანუ 5 მგ/ტ, რაც 20-ჯერ ნაკლებია ვერცხლის კლარკზე და 200-ჯერ ნაკლები - ვერცხლისწყლის კლარკზე. არაპირდაპირი მონაცემების საფუძველზე მიჩნეულია, რომ ოქროს შემცველობა დედამიწის გულში გაცილებით მეტია. ზღვის წყალში ოქროს აბსოლიტური რაოდენობა დღია, თუმცა, დაბალი კონცენტრაციის (10⁻³-10⁻¹ მგ/მ³) გამო ოქროს ამოღება ზღვის წყლიდან ვერაუერობით არარენტაბელურია.

ოქროს საბადოები იყოფა ძირეულ (სამადნო) და ქვიშრობულ საბადოებად.

მრეწველობისთვის მნიშვნელოვანი ოქროს სამადნო საბადოების უმეტესი ნაწილი ჰიდროთერმულ ტიპს განეკუთვნება. სქემატურად ამ საბადოების წარმოქმნის პროცესის წარმოდგენა შემდგენიარად შეიძლება. დედამიწის ქერქის სიღრმეში ან დედამიწის მანტიის ზედა ფენებში წარმოქმნილი მაგმის ზეითიკენ მოძრაობისას იგი ქერქში იჭრება და დედამიწის ზედაპირამდე არ მისული ნელა ციფლება და კრისტალიზაციას განიცდის. მაგმა უპირატესად რთული სილიკატური ნადნობია, რომლის შემადგენლობაში შედის მანტიისა და ქერქის ნივთიერებები; იგი გაუქრებულია მასში ვახსნილი აქროლადი კომპონენტებით - წყლით, ნახშირყანდით, გოგირდწყალბადით და ა.შ. მაგმის გაციფების დროს ვახსნილურული თანმიმდევრობით კრისტალიზაციას განიცდის ქანთწარმოქმნილი სილიკატები (ოლივინი, მინდერის შპატი, კვარცი და სხვა), რომელთა შემადგენლობაში პრაქტიკულად არ შედის აქროლადი კომპონენტები.

მეგაე მაგმის კრისტალიზაციის ბოლო სტადიების ტემპერატურა რამდენიმე კილომეტრის სიღრმეზე, როგორც სჩანს, 800°C-ის ფარგლებშია. მაგმის კრისტალიზაციის პროცესის სელასთან ერთად ნარჩენ ნადნობში აქროლადი კომპონენტების შემცველობა იზრდება. განსაზღვრულ მომენტში კომპონენტების შემცველობა ხსნადობის ზღვარს აღწევს და იწყება აირების გამოყოფა. აირებს თან

გამოატეს არა მარტო აქროლადი, არამედ სხვა ლითონური და არალითონური კომპონენტები და მათ შორის – ოქროც. ბზარებისა და ფორების გველით აირები მიემართებიან გარშემო მყოფ მთის ქანებისაკენ და ჰიდროთერმულ ხსნარებს წარმოქმნიან. სიღრმისეული ჰიდროთერმული ხსნარების წყალი შესქელებული ორთქლის ფორმაში იმყოფება. წნევის ქვეშ, 327°C-ზე (წყლის კრიტიკული წერტილი) დაბლა წყლის ორთქლი თხევად წყალში გადადის. მაღალი ტემპერატურებისა და წნეების პირობებში წყალს გაანინა უნარი, გახსნას და გადაიტანოს ჩვეულებრივ პირობებში უხსნადი ნაერთები, მათ შორის ოქრო, კაჟმიწა და სხვა (საკითხი ოქროს ფორმის შესახებ ჰიდროთერმულ ხსნარებში ვერ კიდევ სადავოა).

ბზარებში მოძრაობით ჰიდროთერმული ხსნარები დაბალი წნევის არეში შედის და თანდათან ციფდება. წნევისა და ტემპერატურის ვარდნის პირობებში და, რაც მთავარია, ქანებთან რთული ურთიერთქმედების შედეგად ჰიდროთერმული ხსნარებიდან ოქრო და სხვა მინერალები (კვარცი, პირიტი, არსენოპირიტის და ა.შ.) ილექება. მინერალები თანდათან აესებენ ბზარებს და ძარღვებს წარმოქმნიან. ამ პროცესის რამდენიმეჯერ წარმართვისას ოქრო ადრე ფორმირებულ მინერალებზე – კვარცზე და სხვადასხვა სულფიდებზე (უფრო ხშირად – პირიტზე და არსენოპირიტზე) ილექება. გამოლექვის პროცესში ოქრო როგორც მინერალების ზედაპირზე, ასევე მათ შიგნითაც შეიძლება გამოიყოს.

პირობების შესაბამისად, ზოგჯერ ოქრო წერილი კრისტალების და დისპერსიული ჩანართების სახითაც გამოიყოფა. ხელსაყრელ პირობებში – ოქროთი მდიდარი ხსნარების კრისტალიზაციის გახანგრძლივებული პროცესის დროს – ხსნარებიდან შეიძლება წარმოიქმნას მსხვილი კრისტალები ან აგრეგატები – თეთინაბალები.

ჰიდროთერმული ხსნარების შემადგენლობიდან და მათი ფორმირების პირობებიდან გამომდინარე, წარმოიქმნება ოქრო-კვარცის მადნების საბადო, სადაც ოქრო კვარცთან არის ასოცირებული, ან ოქრო-კვარც-სულფიდური მადანი, რომელშიც ოქრო ასოცირებულია როგორც კვარცთან, ასევე სულფიდებთან. შესაძლებელია აგრეთვე ოქროს შეზრდა მხოლოდ სულფიდებთან. და ბოლოს, წარმოიქმნება ოქროს მასიური სულფიდური მადნები, რომლებიც სპირად ერთდროულად სხვა ფერადი ლითონების მადნებსაც წარმოადგენს.

ძირული საბადოების ფორმირების შემდეგ, მათი ცალკეული უბნები, რომლებიც დედამიწის ქერქის ზედაპირულ ზონაშია განლაგებული ან დღიურ ზედაპირზეა გასული, გამოფიტვას ანუ რღვევას განიცდის ისეთი ფაქტორების ზეგავლენით, როგორიცაა სადღეღამისო და წლიური ტემპერატურების ცვალებადობა, ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები, რომლებიც შეიცავს ჟანგბადსა და სხვა ნივთიერებებს. დამშლულ ზეგავლენას ახდენს ქარი და აგრეთვე პროცესები, რომლებიც მიკროორგანიზმებთან და ნიადაგწარმოქმნასთანაა დაკავშირებული.

გამოფიტვის პროცესში არა მარტო მადნის სხეულისა და მასში შემავალი ქანების მექანიკური რღვევა ხდება, არამედ გამოფიტვას თან ახლავს ქანებში შემავალი მრავალი მინერალის (ქარსი, მინდვრის შპატი, ოლივინი და სხვა) ქიმიური გარდაქმნაც. ქანების მონატეხვები, კვარცის მარცვლები, ბოწები და სხვა მდგრადი მინერალები – მათ შორის ოქროც – ატმოსფერული წყლითა და წყლის ნაკადებით რელიეფის ქვედა უბნებში ჩაატანება. მასალის ჩატანის პროცესში მისი დახარისხება ხდება მარცვლების სიმკვრივის, ფორმისა და სმტკიცის მიხედვით (უმათავრესად, სიმკვრივის მიხედვით). უფრო მძიმე მინერალები – მათ შორის ოქროც – ნელა გადაადგილდება და ამიტომ მათი თავმოყრა, ძირიად, დღისიწული, ძირიწული საბადოს მახლობლად ხდება. თავმოყრილი მასის მთის კალთებზე ან მდინარის სუბბის ძირზე თანდათანობითი გადაადგილებით იგი ქვეითიკენ ეშვება. ასე წარმოიქმნება ქვიშრობული ტიპის საბადოები (ქვიშრობები).

ოქროს საბადოების განსაკუთრებულ ტიპს წარმოადგენს ე.წ. ოქროშემცველი კონგლომერატები. ამ ტიპს განეკუთვნება მსოფლიოში ყველაზე მსხვილი ოქროს (და ურანის) საბადო ეტივატერსრანდი (საშარო აფრიკა). კონგლომერატი ერთმანეთთან დაკემენტებული წვრილმარცვლოვანი კვარცისგან (სხვა მინერალების მინარეგებით) შედგება. ოქრო ცემენტშია ჩაწინწკლული. ამ საბადოს წარმოშობის შესახებ სპეციალისტებს შორის ერთიანი აზრი არ არსებობს. გეოლოგების ნაწილი თვლის, რომ ოქრო ურანთან ერთად ჰიდროთერმული ხსნარებითაა შეტანილი კონგლომერატში, რომელიც უფრო ადრინდელ გეოლოგიურ სტადიაზე წარმოიქმნა. გეოლოგების მეორე ნაწილი კი ეარაუდობს, რომ

ოქროშემცველი კონგლომერატი წარმოადგენს ადრინდელ ქვიშრობს, რომელმაც მეტამორფიზმი (გარდაქმნა) განიცადა. კონგლომერატები ტექნოლოგიურობის მიხედვით ძირეული (სამადნო) ტიპის მადნებს განეკუთვნება.

ქვიშრობის მადნებიდან ოქროს ამოღება გაცილებით ადვილი და იაფია, ვიდრე ოქროს ამოღება ძირეული მადნებიდან.

ქვიშრობები, როგორც წესი, მცირე სიღრმეზეა განლაგებული, რაც მათი ღია წესით დამუშავების საშუალებას იძლევა. ქვიშრობების მადანში თვითნაბადი ოქრო თავისუფალ მდგომარეობაში იმყოფება, რაც გამოირჩევა მადნის დამუშავების დროს ისეთი რთული ოპერაციების ჩატარებას, როგორცაა მსხვრევა და დაქუცმაცება. მადნიდან ოქრო ამოღება მარტივი და მაღალწარმოებულური გრაფიტაციული ხერხით – ქვიშის წყალში გარეცხვით. ქვიშრობის საბადოებიდან მადნის მოპოვება და დამუშავება ათჯერ უფრო იაფი ჯდება ვიდრე ძირეული მადნების გადამუშავება. ამიტომ ქვიშრობის საბადოების დამუშავება იმ შემთხვევაშიც გამართლებულია, როცა მადანში ოქროს რაოდენობა ძალზე მცირეა (0,1 გ/ტ).

არსებულ ტექნოლოგიურ დონეზე ძირეულ მადნებში ოქროს მინიმალური შემცველობა, რომელიც საბადოს რენტაბელურ დამუშავებას უზრუნველყოფს მადნის მარაგიდან და ტიპიდან გამომდინარე და აგრეთვე გეოგრაფიული მდებარეობისა და სამთო-ტექნიკური პირობების (სხვა ფაქტორების) გათვალისწინებით, ჩვეულებრივ 1-4 გ/ტ ფარგლებშია.

ის, რომ მრავალი საუკუნის მანძილზე (ათასი წლის განმავლობაში) ქვიშრობების საბადოები ოქროს ძირითად სანედლეულო წყაროს წარმოადგენდა, ქვიშრობებიდან ოქროს ამოღების სიმარტივეთ აისხნება. უძველეს დროში ქვიშრობების ოქრო საკმაოდ დიდ მასშტაბებში მოიპოვებოდა აფრიკაში, სამხრეთ ამერიკაში, ჩინეთში, ევროპაში (ესპანეთის ახლანდელ ტერიტორიაზე) და დედამიწის სხვა ნაწილებში. ჯერ კიდევ XIX საუკუნეში ფართოდ იყო ცნობილი კალიფორნიის, აესტრალიის, კანადისა და ალიასკის ქვიშრობები. დაახლოებით XIX ბოლოს ოქროს ქვიშრობები ძირითადად დამუშავებულ იქნა და ოქროს ამომღებ მრეწველობაში უმთავრეს ნედლეულად ძირეული (სამადნო) მადნები გადაიქცა. ამჟამად ქვიშრობის წილზე ოქროს საერთო მოპოვების არა უმეტეს 2-3% მოდის.

როგორც უკვე აღნიშნა, ოქროს უდიდესი საბადო მსოფლიოში – ვიტკატერსრანდის კონგლომერატები სამხრეთ აფრიკაშია განლაგებული. ეს უნიკალური საბადო უკვე 100 წელია მსოფლიოში მოპოვებული ოქროს დიდ ნაწილს იძლევა. საბადოს უდიდესი მარაგი გააჩნია, თუმცა, ოქროს შემცველობა მადნებში არცთუ ისე მაღალია (13 გ/ტ). სამხრეთ აფრიკის ოქროს მადნები ყველაზე ღრმა მსოფლიოში (4300 მ). ოქროს გარდა კონგლომერატი შეიცავს ურანს, რომლის თანაური ამოღება მადნის გადამუშავების დროს ტექნოლოგიური პროცესის რენტაბელობას ზრდის.

ქვიშური ინერტულობის გამო, ოქრო თითქმის ყოველთვის თვითნაბადი ლითონის ანუ ოქროვანას (ქართული ტერმინი ოქროვანა წიგნის ავტორებმა შემოიღეს; რუსულად – золотная) სახით იმყოფება მადანში. ოქროვანა სუფთა ოქროს არ წარმოადგენს. მას მინარევების სახით თან ახლავს ვერცხლი, სპილენძი, რკინა; მცირე რაოდენობით მასში შუდის დარიშხანი, ბისმუტი, ტელური, სელენი და სხვა ელემენტები. ზოგიერთ შემთხვევაში ოქროვანა 50%-მდე ვერცხლს, 20%-მდე სპილენძს და 30%-მდე პლატინოიდებს შეიცავს. უმეტეს შემთხვევაში კი ოქროვანაში ოქროს შემცველობა სჭარბობს. სპილენძის მადნებს ზოგჯერ თან ახლავს სპილენძოვანი ოქრო (74,3-80% Au, 9-20,4% Cu, 2,3-20% Ag), ხოლო სპილენძ-ნიკელის მადნებს პალადიუმოვანი ოქრო – პორპეციტი (86,0% Au, 4,2% Ag, 8,2-11,6% Pd), პლატინოვანი ოქრო (86,0% Au, 3% Ag, 10,6% Pt), როდიუმოვანი ოქრო – როდიტი (88,4% Au, 11,6% Rh), და ირიდიუმოვანი ოქრო – ირსურიტი (62,1% Au, 2,1% Ag, 0,6% Fe, 0,6% Cu).

ცნობილია ოქროს მხოლოდ ორი მინერალი – ტელურიდები და სელენიდები. მადნები ჩვეულებრივ, მხოლოდ ოქროს ტელურიდებს შეიცავს. მადნებში ტელურიდები წარმოდგენილია, როგორც თავისთავადი ოქროს მინერალი – კლავერიტი AuTe, ასევე ვერცხლის ტელურიდებთან იზომორფული ნარევის სახით (სილვანიტი AuAgTe₂, კრენერიტი AuAgTe₂, პეტციტი Ag₂AuTe₂ და სხვა).

ოქროს ცნობილი მინერალებიდან მრეწველობისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანია თვითნაბადი ოქრო. ოქროს მადნები დანარჩენ მინერალებს იშვიათად შეიცავს.

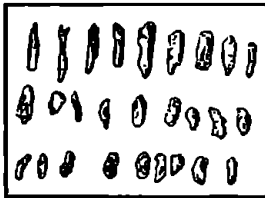
ოქროვანებს (თეთნაბად ოქროს) სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმა გააჩნიათ. ამ ნიშან-თვისებების მიხედვით ოქროვანა ორ ჯგუფად იყოფა: პირველი – არადეფორმირებული – დამახასიათებელია მაღანში შუშავალი ოქროვანას ნაწილაკებისთვის (ოქროვანების პირველადი ფორმა; სურ. III.83.) და მეორე – დეფორმირებული – დაქუცმაცების პროცესში დეფორმირებული და მაღნის გადამუშავების პროდუქტებიდან გამოყოფილი. თეთნაბადი ოქროს ნაწილაკების სისხო ფართო დიაპაზონში იცვლება – უწერილესი ნაწილაკებიდან (უხილავია მიკროსკოპის ქვეშაც კი) ვივანტურ მასამდე (10-100 კმ). თუმცა, დიდი მასის ოქროვანა იშვიათად მოიპოვება ბუნებაში.

მაღნებში ოქროს ძირითადი მასა წარმოდგენილია, ჩვეულებრივ, 0,5-1 მმ-ზე უფრო მცირე ზომის ნაწილაკების სახით.

თეთნაბადი ოქროს სისხო – ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური თვისებაა. ტექნოლოგიურ პროცესებში, ოქროს „კვევიდან“ გამომდინარე, განირჩევა მსხვილი (+70 მკ), წერილი (-70+1 მკ) და წმინდადისპერსიული (-1 მკ) ოქრო, რომელიც დამახასიათებელია სულფიდური მაღნებისთვის. მსგევე როგორც ოქრო, ვერცხლიც თეთნაბადი ლითონის სახით მოიპოვება ბუნებაში. თუმცა, უფრო ხშირად იგი მაღანში მინერალის სახითაა წარმოდგენილი, რაც ოქროსგან განსხვავებით, ვერცხლის დიდი ქიმიური აქტიურობითაა განპირობებული.



კონკრეტული



ჩხრისებრი



სფეროვანი



ფორფიტისებრი

სურ. III.83. არადეფორმირებული ოქროს ნაწილაკების ძირითადი გეომეტრიული ფორმები.

ცნობილია 60-ზე მეტი ვერცხლის მინერალი.

– თვითნაბადი ვერცხლი და ვერცხლის ბუნებრივი შენადნობები ოქროსთან (კაუსტელიტი, ვლექტრუმი);

– სულფიდები, მაგალითად, არგენტიტი Ag_2S , შროპერიტი $AgCuS$;

– თიომარჩილები, მაგალითად, პირაგირიტი Ag_3Sb_3 , პრუსიტი Ag_3AsS_3 , სტუფანიტი Ag_3AuTe_2

და სხვა;

– ანთიმონიდები და არსენიდები, მაგალითად, დისკრაზიტი, Ag_3Sb ;

– ტელურიდები და სელენიდები: გესიტი Ag_2Te , ნაუმანიტი Ag_2Se , პეტციტი Ag_3AuTe_2 და სხვა;

– ჰალოგენები და სულფატები: კლარკიტი $AgCl$, არგენტოარსოზიტი $AgFe_3(OH)6(SO_4)_2$ და სხვა.

ვერცხლის სამრეწველო მინერალებიდან გამოირჩევა თვითნაბადი ვერცხლი და მისი ბუნებრივი შენადნობები ოქროსთან – არგენტიტი, პრუსიტი, კრაგირიტი. გარდა ამისა, ვერცხლი ხშირად თან ახლავს ფერადი ლითონების სულფიდურ მადნებს (განსაკუთრებით ტყვია – თუთიის მადნებს).

კეთილშობილი ლითონებს ამა თუ იმ რაოდენობით შეიცავს სპილენძის, ტყვიის, თუთიის და სპილენძ-ნიკელის მადნები. მადნიდან ძირითადი ლითონების მიღების დროს კეთილშობილი ლითონების თანაური ამოღებაც ხდება. ამიტომ ამ მადნების მეტალურგიული გადამამუშავების ნახევრად პროდუქტები და ზოგიერთი ნარჩენები, რომლებშიც კონცენტრირდება ოქრო, ვერცხლი და პლატინოიდები, კეთილშობილი ლითონების მიღების კიდევ ერთ მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. თუ ოქროს მიღების ძირითად ნედლეულს თვით ოქროს მადნები წარმოადგენს, ვერცხლის, პლატინისა და პლატინოიდების უმეტესი ნაწილი სხვა ფერადი ლითონების მადნიდან თანაურად ამოიღება – ვერცხლი – ტყვია-თუთიის მადნიდან, ხოლო პლატინა და პლატინოიდები – სპილენძ-ნიკელის მადნიდან.

კეთილშობილი ლითონების ნაწილი სამრეწველო ნარჩენებიდან და საყოფაცხოვრებო ჯარითიდანაც მიიღება.

ოქროს მადნეხას გადამამუშავების ტექნოლოგიური სქემები დიდი სხვადასხვაგვარობით გამოირჩევა. ამა თუ იმ სქემის შერჩევა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთაგან მთავარია: მადნის ოქროს ბუნება, უპირველესად – მისი სისხი; მადნის ნივთიერი შემადგენლობა, ოქროსთან ასოცირებული მინერალების ხასიათი (ჩვეულებრივ, კვარცი და სულფიდები); სხვა სასარგებლო კომპონენტების შემცველობა მადნში. ტექნოლოგიის გამართლებელი კომპონენტების შემცველობა.

მადნის ნედლეულიდან ოქროს ამოღების ტექნოლოგიურ პროცესში შედის მოშადების (მსხვრევა, დაქუცმაცება), მამიღირებელი (გრაუტიაციული გამიღირება, ფლოტაცია და ა.შ.) და მეტალურგიული (ამლგამაცია, დაციანება, ღნობა, გამოწვა და ა.შ.) ოპერაციები. შერჩეული ტექნოლოგიური სქემა უნდა უზრუნველყოფდეს ოქროს მაქსიმალურ ამოღებას, ნედლეულის კომპლექსურ გამოყენებას (ანუ მადნიდან სხვა სასარგებლო კომპონენტების თანაურ ამოღებას), მატერიალური, ენერგეტიკული და შრომითი რესურსების მინიმალურ კუთრ დანახარჯებს, წარმოების ნარჩენებით გარემოს მინიმალურ გაჭუჭყიანებას.

ოქროს ამოღები საწარმოს საბოლოო პროდუქტს დაუხალასებელი ოქრო ან ოქროთი მდიდარი ნალექები წარმოადგენს. ამ პროდუქტების შემდგომი გადამამუშავება სპეციალიზებულ აფინაჟის ქარხნებში ხორციელდება. ამ ქარხნებში კეთილშობილი ლითონები სუფთავდება და დაუხალასებელი შენადნობებიდან მათი გამოყოფა ხდება. კეთილშობილი ლითონების გასუფთავებისა და განცალკევების პროცესები აფინაჟის სახელწოდებით აის ცნობილი.

ოქროს მადნების სპეციფიკურ თავისებურებას წარმოადგენს მათში ძირითადი კომპონენტის მეტისმეტად დაბალი შემცველობა. ოქროს კონცენტრირების ხარისხის სიდიდე მადნების გადამამუშავებისა და ლითონის მიღების პროცესში 10^3 - 10^6 -ია რიგისა. ამიტომ თუ ტექნოლოგიური პროცესის საწყისი სტადიები უზარმაზარია და დიდი მოცულობის მადნის ნედლეულის გადამამუშავებასთანა დაკავშირებული, ბოლო ოპერაციები განუზომლად მცირე რაოდენობის მასალების გადამამუშავებას ითვალისწინებს.

მადნის ქანებიდან მსხვილი ოქროვანების განცალკევების ყველაზე ეფექტური ზერხა უძველესი დროიდან ცნობილი გარვითაციული პროცესი, რომელიც ოქროვანებისა და მადნის ქანის მინერალების

სიმკვრივეების მნიშვნელოვან სხვაობას უყარება (ოქროვანებისა და ქანის მინერალების სიმკვრივეები შესაბამისად, დაახლოებით 17-18-სა და 2,6-5 შეადგენს). მდნის დაქუცმაცების (დაქუცმაცება უნდა უზრუნველყოფდეს ოქროვანებისა და ქანის მინერალების შენაზარდების სრულ დაშლას) შემდეგ ქანის მინერალები წყლის პულპიდან დალექვის განსხვავებული სიჩქარეების საფუძველზე ცალკეედება. უბეტეს ოქროშემცველ მადანში განსაზღვრული რაოდენობით შედის მსხვილი (+0,1 მმ) ოქრო (ოქროვანა), რომელიც ცუდად ამოიღება არა მარტო ფლოტაციური გამდიდრებით, არამედ პირობითულად რეალური გადაშუშებითაც. ამიტომ ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის დასაწყისში მისი წინასწარი გამოყოფა გრაეიტაციული გამდიდრების ხერხით გამოირიცხავს ოქროს კარგვას ნაყარ კულებთან ერთად. ხშირად გრაეიტაციით ცალკეედება მხოლოდ ფუჭი ქანის ძირითადი ნაწილი (მასა), ხოლო გამოყოფილ ოქროს კონცენტრატთან ოქროს ამოღება უფრო სრულყოფილი მეთოდებით ხდება.

გრაეიტაციული გამდიდრების თანამედროვე პრაქტიკაში გამოიყენება რთული აპარატურა: სალექი მანქანები (იხ. სურ. 1.6. და 1.7.), რაბები რბილი დანაფარით, საკონცენტრაციო მაგილები, დოლური კონცენტრატორები, მოკლევანუსური პიროციკლონები.

ოქროს მდნების გადაშუშავების თანამედროვე პრაქტიკაში გრაეიტაცია გამოიყენება მხოლოდ როგორც გამდიდრების ხერხი.

ოქროს ამოღების მეორე ძველი ხერხი ამაღვამაციის სახელწოდებითაა ცნობილი. ამაღვამაციის პროცესი შერჩევით მიკრას (მიწებებს) ფუჭუნება და მდნის პულპიდან ლითონის ნაწილაკების ვერცხლისწყლით ამოღებას ითვალისწინებს. ლითონის ნაწილაკებთან შეხებისას ვერცხლისწყალი შერჩევით ასეულებს (იკრავს, იწებებს) მათ წყლის ფაზის საზღვარზე. ლითონის ვერცხლისწყლით დასეულებას თან მიჰყვება ვერცხლისწყლის დიფუზია ლითონის ნაწილაკებში, რომლის შედეგადაც წარმოიქმნება ოქროს შენადნობი ვერცხლისწყალთან – ამაღვამა. გარედან ამაღვამა ჩვეულებრივ ვერცხლისწყალს წააგავს. მისი მაღალი სიმკვრივის გამო, იგი ადვილად შეიძლება განცალკევდეს ფუჭი ქანისგან. ამაღვამიდან ჭარბი ვერცხლისწყალი წნევის ქვეშ ფილტრაციით განიღვებება (ფილტრის სახით ზაში ან მკერივი ტილი გამოიყენება). ფილტრზე დარჩენილი პასტიკები მყარი ამაღვამა 20-50% ოქროს შეიცავს. მყარი ამაღვამა განიცდის დისტილაციას, რომლის დროსაც ამაღვამიდან ორთქლდება ვერცხლისწყალი (დღლიის ტემპერატურა 357°C-ს შეადგენს). ვერცხლისწყლის ორთქლი კონდენსირდება მაცივარში. ოქრო, რომელიც 2976°C-ზე დღუს, მთლიანად გროვდება დისტილაციის ნარჩენში. ნარჩენი იგ ზენება აფინაფის ქარხანაში, სადაც ოქროსა და ვერცხლის განცალკევება ხდება ამაღვამაციის პროცესში თვითნაბადი ვერცხლი ოქროს მსგავსად „იქცევა“.

ამაღვამაციის პროცესი ორი გზით შეიძლება ჩატარდეს:

– პირველი შიდა ამაღვამაციის სახელწოდებითაა ცნობილი და იგი მდნის ან, უფრო ხშირად, კონცენტრატის დაქუცმაცებასთან ერთდროულად ტარდება დასაქუცმაცებელი აპარატის მეშვეობით.

– მეორე გარე ამაღვამაცია, დასაქუცმაცებელი აპარატის გარეშე ტარდება (რაბებზე, სპეციალურ აპარატებში – ამაღვამატორებში).

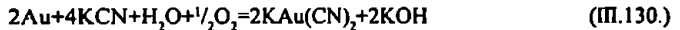
ამაღვამაციის პროცესი ფართოდ იყო გავრცელებული მსოფლიო პრაქტიკაში. ამჟამად კი იგი იშვიათად გამოიყენება, რაც დაკავშირებულია ოქროშემცველი მდნების ხარისხის მუდმივ ცვლილებასთან; გადაშუშავებაში დაიწვეს იმ მდნების გამოყენება, რომლებშიც სულფიდებთან დაკავშირებული ოქროს რაოდენობა იზრდება. სულფიდებს კი თან ახლავს მფარავი წარმონაქმნები, რომლებიც ხელს უშლის ოქროს ამოღებას ამაღვამაციით. გარდა ამისა, ამაღვამაცია შრომატევარი პროცესია და მას ვოლფრუმის თან ახლავს ამაღვამის სახით ოქროს დანაკარგები, საიდანაც ოქროს ამოღება ტექნოლოგიური ციკლის მომდევნო ეტაპებზე არ ხდება. ვერცხლისწყლის ორთქლის მაღალი ტოქსიკურობის გამო, ამაღვამის დღი მოკულობით გამოიყენება ვერცხლისწყლით მოწამვლის საფრთხეს უქმნის მოშასურე პერსონალსა და გარემოს.

მუხუნავად ამისა, ამაღვამაცია დღესაც წარმატებით გამოიყენება თავისუფალი ოქროს ამოღებად გრაეიტაციული კონცენტრატებიდან, რომლებიც ძირეული და ქვიშრობული მდნებიდან მიიღება. ამ შემთხვევაში ამაღვამაცია მეორე რაოდენობის მდიდარი მასალის გადაშუშავებასთანა დაკავშირებული და იგი ინარჩუნებს თავის ძირითად უპირატესობას – ოქროს იაფ ამოღებას და მის სწრაფ რეალიზაციას.

ამალგამაციის მეთოდის შეზღუდული გამოყენების გამო წიგნში არ განიხილება მისი ტექნოლოგიური პროცესები.

ოქროს მეტალურგიაში ძირეული გადატრიალება მოხდა XIX საუკუნეში, როცა ქართველი მეცნიერის, პ. ბაგრატიონის მიერ „ექტრებურის შეცნობრებათა აკადემიის ბიულეტენში“ გამოქვეყნდა აღმოჩენა, რომელშიც ნაჩვენებია ციანოვან ხსნარში ოქროსა და ვერცხლის გახსნის პირობები. მან პირველმა დააღვინა, რომ ლითონური ოქრო და ვერცხლი კარგად იხსნება ტუტე ციანიდების წყალხსნარებში, განსაკუთრებით კი – პართან შემზები ხსნარის ფენაში. ბაგრატიონმა დააღვინა აგრეთვე ხსნარის ტემპერატურის აწვეის დამატარებელი ქვებზეა ხსნადობის პროცესზე და აჩვენა ციანოვანი ხსნარებიდან ოქროსა და ვერცხლის სხვა, ნაკლებად კეთილშობილი ლითონებით გამოლექვის შესაძლებლობა. ბაგრატიონის აღმოჩენის საფუძველზე XIX საუკუნის მთლიან ნახევარში დაიწყო ოქროს ამოღების ახალი ხერხის – დაციანების პროცესის სამრეწველო გამოყენება. ეს პროცესი დღესაც გამოიყენება ოქროს ამოღებ მრეწველობაში.

ოქრო იხსნება ტუტე და ტუტემწიფა ლითონების ციანიდების ხსნარებში და წყალში ხსნად კომპლექსურ ციანიდებს წარმოქმნის, მაგალითად:



საჭირო ჟანგბადი რეაქციას მიეწოდება ატმოსფეროდან. ფუჭი ქანის ძირითადი მასა ციანიდთან არ ურთიერობოქმედებს და იგი გაფილტვრით შეიძლება განცალკევდეს ოქროშემცველი ხსნარისგან. ხსნარიდან ოქრო თუთიით გამოილექება:



მდნის საკმაოდ წმინდად დაქუცმაცების შემთხვევაში დაციანების პროცესით წერილი ოქროს ამოღებაც შეიძლება. დაციანება უზრუნველყოფს ოქროს 95-97%-იან ამოღებას უმეტესი მდნებიდან. დაციანება ტიპური ჰიდრომეტალურგიული პროცესია. ცნობილია ოქროს ამოღების სხვა ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებიც, მაგალითად, გამოტუტვა ქლორან წყალში ან მეფის არაყში და აგრეთვე, შედარებით ახალ გამხსნელში – თიოშარადანანში. თუმცა, ეს გამხსნელები ფართოდ არ გამოიყენება ოქროს მრეწველობაში.

ბოლო სამი ათწლეულის განმავლობაში განუხრდად მცირდებოდა ოქროს წილი, რომელიც ტექნოლოგიური თვალსაზრისით მარტივი მდნებიდან წარმატებით ამოიღება ზემოთ აღნიშნული მეთოდებით. ერთდროულად იზრდებოდა იმ მდნებიდან ამოღებული ოქროს წილიც, რომელთა ეფექტური გადაამუშავებაც საჭიროებს გაცილებით რთულ და დახვეწილ ტექნოლოგიურ სქემებს. ამ სქემებში ჩართულია გრავიტაციული და ფლოტაციური გამდიდრება, გამოწევა, დნობა, გამოტუტვა ან ა.შ. ოქროშემცველი მდნები და კონცენტრატები, რომელთა გადაამუშავება დაციანების პროცესით (მსხვილი ოქროს გრავიტაციითა და ამალგამაციით წინასწარი ამოღების გათვალისწინებით) ვერ უზრუნველყოფს ოქროს საკმაო რაოდენობით ამოღებას (ან კიდევ გადაამუშავებას თან ახლავს ცალკეული ოპერაციის გადიდებული ხარჯები), „შუპოვარი“ ნელეულის სახელწოდებით არის ცნობილი ოქროს წარმოებაში. მიღებულია, რომ დაციანების პროცესით მდნების გადაამუშავება დამაკაოფილებლად შეიძლება ჩაითვალოს იმ შემთხვევაში თუ:

- ოქროს ამოღება ხსნარში 90%-ზე ნაკლები არ არის და ოქროს შემცველობა დაციანების მყარ კულებში 0,5-1,0 გ/ტ არ აღემატება;
 - დაციანების წინ საკმარისია მდნის დაქუცმაცება 0,074 მმ სისხომდე (80-90%);
 - ოქროს ამოღების მაღალი ხარისხის მიღწევა ციანოვანი ჰალების არევით შესაძლებელია არა უმეტეს 24 საათის განმავლობაში;
 - ოქროს დალექვა ხსნარებიდან შესაძლებელია სტანდარტული მეთოდით – ფხენილისებრ თუთიაზე დაცემენტებით (დალექვის ხარისხი 95-97%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს);
 - ციანიანი ჰალები შედარებით ადვილად სქელდება და იოლტრება;
 - ციანიდის ხარჯი არ აღემატება 0,5-1,0 გ-ს ერთ ტონა მალანზე;
- ამ მოთხოვნებს, რაგორც წესი, აკმაყოფილებს კვარცის მდნები, რომლებიც მცირე რაოდენობით შეიცავს რკინის სულფიდურ და ოქსიდურ ნაერთებს და რომლებშიც ოქრო თავისუფალ (ლითონურ)

მფორმარობაში წარმოდგენილი. ყველა დანარჩენი მადანი, რამდენადაც, შეუპოვარ მადნებს განეკუთვნება და მათი ვადამუშავება საციალური მეთოდების გამოყენებას საჭიროებს.

მაგალითის სახით III.35. ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ოქროშემცველი მადნის დაცინების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები.

ცხრილი III.35.

ზოგიერთი ოქროშემცველი მადნის დაცინების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები

მაჩვენებლები	მადნის სახეობა				
	კვარცის	თიხოვანი	სულფიდური	ნახშიროვანი	ანთიმონიანი
ოქროს შემცველობა მადანში, გ/ტ	6,8	5,2	7,0	10,4	33,0
დაქუცმაცების ხარისხი, მმ	-0,15	-0,3	-0,15	-0,15	-0,10
დაცინების ხანგრძლივობა, სთ	8	8	24	8	24
ოქროს შემცველობა დაცინების კულებში, გ/ტ	0,3	0,4	5,4	5,8	8,2
მათ შორის, წმინდად ჩაწინკულის სულფიდებში, გ/ტ	-	-	5,1	1,0	0,4
ფილტრაციის კუთრი ფართობი, მ ² (ტ. დღე-ღამეში)	0,21	6,25	-	-	-

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, დაცინების ყველაზე ხელსაყრელ მადანს კვარცის ოქროშემცველი მადანი წარმოადგენს. მისი დაცინება შედარებით სწრაფად მიმდინარეობს და ამასთან ნაყარ კულებში ოქროს შემცველობა არ არის მაღალი. გარდა ამისა, ციანიანი პულაჲ კარგი გაფილტვრით გამოირჩევა.

თიხოვანი მადნის დაცინების დროსაც ოქრო მადნიდან ამოღების მაღალი ხარისხით გროვდება ხსნარში. თუმცა, მადანში შემავალი თიხოვანი მინერალებისა და რკინის ჰიდროქსიდების გამო, ციანიანი პულაჲ ძალზე ცუდად იფილტრება. ამიტომ ასეთი მადნებიც შეუპოვარი მადნების კატეგორიას განეკუთვნება.

სულფიდური მადანი მაღალშეუპოვარი მადნების კატეგორიას განეკუთვნება, ვინაიდან სულფიდებში ოქრო წმინდად ჩაწინკული ნაწილაკების სახით არის წარმოდგენილი. მადნების დაქუცმაცების დროს ოქროს გადახსნა არასაკმარისია და ამიტომ დაცინების დროს ოქროს ამოღების ხარისხი დაბალია.

ნახშიროვანი მადნის დაცინების პროცესში ოქრო იხსნება და ერთდროულად სორბციას განიცდის ნახშიროვანი ნივთიერებებით, რის შედეგადაც მისი ღიდი ნაწილი დაცინების კულებში რჩება.

და ბოლოს, ოქროს დაბალი ამოღება ანთიმონიანი მადნის დაცინების დროს მასში ანთიმონის მინერალების შემცველობით აიხსნება. მინერალების ტუტე ციანოვანი ხსნარებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება სხვადასხვა ხსნადი ნაერთები, რომლებიც ოქროვანებზე მკეროვ აფსკის (ფირს) იკეთებს, რითაც გახსნის პროცესი მუხრუჭდება.

მრავალრიცხოვანი კვლევითი სამუშაოებისა და საწარმოო გამოცდილების საფუძველზე შეიძლება გამოყოფის ოქროშემცველი შეუპოვარი მადნების შემდეგი ძირითადი სახეობები: წმინდად ჩაწინკული ოქროთი – კვარცში ან სულფიდებში (პირიტი, არსენობირიტი და სხვა) – ოქროს წმინდად დისპერგაცია ართულებს მის გადახსნას დაქუცმაცებით; სპილენძოვანი – ციანიდის ღიდი ხარჯი და მეორადი აფსკების წარმოქმნა ოქროზე, რაც ამუხრუჭებს გახსნის პროცესს; ანთიმონოვანი (სტიბიუმოვანი) – მკეროვი აფსკების წარმოქმნა ოქროზე მკვეთრად ანელებს გახსნის პროცესს; ნახშიროვანი – გახსნილი ოქროს სორბცია ნახშიროვანი ნივთიერებებით; თიხოვანი – ციანოვანი პულაჲს ცუდი ფილტრაცია, გახსნილი ოქროსი და ციანიდის შესამჩნევი სორბცია თიხოვანი მინერალებით; ფეროოქროსი – ოქროვანებზე რკინის ოქსიდების ჰიდრატირებული აფსკების წარმოქმნა ართულებს ოქროს გახსნას.

როგორც ზემოთ აღწერილიდან ჩანს, ოქროშემცველი მადნების შეუპოვრობა შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მიზეზებით, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელ სახეობას

განეუთვნება მოცემული მადანი. ამის შესაბამისად შეუპოვარი მადნების გადაშუშვების სქემები დიდი სხვადასხვაგვარობით გამოირჩევა. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ხშირად მადნის შეუპოვრობა არა მარტო ერთი, არამედ მეტი მიზეზიდან გამომდინარეობს. ამ შემთხვევაში ტექნოლოგიური სქემები კომბინირებულ ხასიათს ატარებს. ასეთი სქემები შემუშავებისას, ოქროს არასრული ამოღების ყველა მიზეზის აღმოფხვრის საშუალებას იძლევა.

წმინდადისპერსიული ოქროშემცველი კონცენტრატების გადაშუშვების ერთ-ერთ ფართოდ გავრცელებულ ხერხს წარმოადგენს მათი დნობა სპილენძის კონცენტრატებთან ერთად სპილენძადნობ ქარხნებში. დნობის პროცესში ოქრო გროვდება შტივში (ან დაუნალასებელ სპილენძში, თუ დნობა შუალედური პროდუქტის სახით შტივინის მიღებას არ ითვალისწინებს). შემდგომი პირობებში აღნიშნული პროცესებისა (კონვერტირება, ტექსლოვანი რაფინირება) და ანოდური სპილენძის ელექტროლიზის შედეგად ოქრო ხვდება ანოდურ შლამში, საიდანაც იგი საეცთალოური მეთოდებით ამოიღება (იხ. მ. 2.).

ოქროშემცველი კონცენტრატების გადაშუშვება შეიძლება აგრეთვე ტყვიის პირობებში აღნიშნულ ქარხნებში ტყვიის კონცენტრატებთან ერთად. ამ შემთხვევაში ოქროს კონცენტრატი შერევის განიცდის ტყვიის კონცენტრატისა და აღმდგენისგან შემდგარ კაშთან, რომელიც ავლომერაციულ გამოწვას ექვემდებარება. ავლომერატის მასტურ ლუმელში შემდგომი დნობით კეთილშობილი ლითონები დაუნალასებელ ტყვიის კონცენტრატებთან ერთად. ტყვიის რაფინირების პროცესში ოქრო და ვერცხლი გადადის ვერცხლოვან ქაყში, რომლის გადაშუშვებით ვერცხლისა და ოქროს შენადნობი (დორე-ლითონი) მიიღება (შენადნობი აფინაჟის ქარხანაში იგზავნება).

სპილენძისა და ტყვიის ქარხნებში ოქროშემცველი კონცენტრატების გადაშუშვებით ოქრო წარმატებით ამოიღება ისეთი შეუპოვარი კონცენტრატებიდანაც კი, რომელთა მიმართ უანგვეთი გამოწვა და ნაშევის შემდგომი დაციანება არადასაყურადღებელ შედეგს იძლევა.

ამ ხერხის ერთადერთ ნაკლს წარმოადგენს კონცენტრატების ტრანსპორტირებასთან დაკავშირებული გადაიდებული ხარჯები და ამასთან ოქროს დანაკარგები.

განსხვავებით ოქროსგან, რომლის უმეტესი ნაწილი საკუთრივ ოქროს მადნებიდან ამოიღება, ვერცხლი ძირითადად თანაური გზით მიიღება სხვა ფერადი ლითონების კომპლექსური მადნების გადაშუშვების დროს. ვერცხლის მთავარ სახვლელელო წყაროს წარმოადგენს ტყვია-თუთის მადნები, ნაკლებად სპილენძისა, სპილენძ-ნიკელისა და სხვა მადნები. საკუთრივ ვერცხლის მადნებს დაქვემდებარებული მნიშვნელობა აქვთ. ვერცხლის მცირე რაოდენობა ოქროს მადნების გადაშუშვების დროს ამოიღება. ამიტომ, ამ წიგნში ვერცხლის ამოღება საკუთრივ ვერცხლის მადნებიდან არ განიხილება.

საგულისხმოა, რომ ოქროზე ფართომასშტაბური გეოლოგიური საშუალების ჩატარება გასული საუკუნის 80-იან წლებს უკავშირდება. ყველაზე აქტიურად საშუალებები წარმართებოდა ჩრდილოეთ ამერიკაში, კერძოდ კანადასა (დორიტიული სარტყელი) და აშშ-ში (ნევადა). კანადაში 1980 წელს 280 ოქროს საბადო იყო აღმოჩენილი. გეოლოგიური საშუალებისადმი გაზრდილი ინტერესი შეიმჩნეოდა სამხრეთ ამერიკის რესპუბლიკაში (სარ), ავსტრალიაში, ლათინურ ამერიკასა და ევროპის ქვეყნებში. თუმცა, 1990-იანი წლების დასაწყისში გეოლოგიური საშუალებები ოქროზე შესამჩნევად შემცირდა. დასავლეთის ქვეყნებში ამ მიზნებისთვის დანახარჯებმა 1991 წელს, რეკორდულ 1988 წელთან შედარებით, დაახლოებით 30%-ით დაიწია. აღნიშნული მარცხის ყველაზე მნიშვნელოვანი შემცირება (50%) კანადაში მოხდა.

ოქროს მოპოვებით 1991 წელს ყოფილი საბჭოთა კავშირი მესამე ადგილზე იმყოფებოდა მსოფლიოში მას შემდეგ, როცა მან ერთი წლით ადრე მეორე ადგილი აშშ-ს დაუთმო (ყოფილ საბჭოთა კავშირში ოქროს ჯამური წარმოების $\frac{2}{3}$ რუსეთზე მოდიოდა).

აშშ-ის ოქროს ინსტიტუტის მასალების მიხედვით, 1990-იან წლების დასაწყისში მსოფლიო ოქროს მარაგი 43 ათას ტონას შეადგენდა. პირველადი ოქროს (წიაღისეული ნედლეულიდან წარმოებული ოქრო) მსოფლიო წარმოების 28% 1991 წ. სამხრეთ ამერიკის რესპუბლიკაზე მოდიოდა.

მსოფლიო ბაზარზე ოქროს ღირებულება ძირითადად საიუველირო მრეწველობისა და ტუზავრაციული მოხმარებებიდან გამომდინარე განისაზღვრება.

ოქროსთან შედარებით ვერცხლის ბაზარი უფრო მდგრადია და ექსპერტების აზრით, ეს ტენდენცია შემდგომშიც არ შეიცვლება. ვერცხლის მსოფლიო გეოლოგიური მარაგი 1991 წ. დასაწყისში

280 ათას ტონას შეადგენდა. მსოფლიოში ვერცხლის ყველაზე მსხვილი მწარმოებლებია მექსიკა და აშშ. აშშ-ში ექსპლუატაციაშია ვერცხლის 20-ზე მეტი ქარხანა, სადაც დაახლოებით 1600-1700 ტ პირველადი და 1700 ტ მეორადი ვერცხლი იწარმოება წელიწადში. მოპოვებული ვერცხლის 71% ოთხ შტატზე მოდის, ესენია: ნევადა (32%), აიდაჰო (21%), მონტანა (11%) და არიზონა (7%).

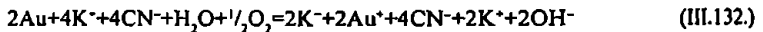
ექსპერტების ვარაუდით, უახლოეს წლებში ვერცხლის მოპოვებით აშშ გაუსწრებს მექსიკას და პირველ ადგილზე გავა მსოფლიოში.

8.1. ოქროს ამოღება ოქროს მადნების დაციანებით

8.1.1 დაციანების პროცესი

ციანოან მარილებში ოქროს გასახსნელად, გარდა ციანიდისა, საჭიროა ჟანგბადი.

დაციანების პროცესში ჟანგბადის როლი ნათლად გამოიხატება, თუ რეაქცია (III.130.) იონურ ფორმაში გამოისახება და განტოლების მარჯვენა და მარცხენა მხარეების ერთსახელიანი იონები შეიკვეთება:



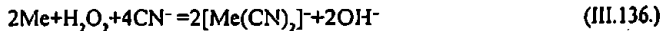
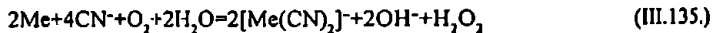
შეკვეთის შემდეგ მიიღება:



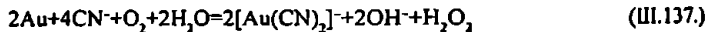
ამნაირადვე (რეაქციაში მონაწილე წყალი, პირობით, მთლიანად დისოცირებულ მდგომარეობაში წარმოდგენილი) შეიძლება მოინახოს:



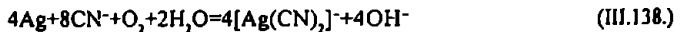
ამრიგად, ოქროს დაიონებისას სველენტო ელექტრონი ჟანგბადის ატომს გადაეცემა და ჟანგბადის იონი წარმოიქმნება. ციანიდის როლი მხოლოდ ისაა, რომ მის მიერ მიწოდებულმა ციანიონებმა დაიონებული ოქრო ხსნარში შეაყავოს. ოქროს კომპლექსური ციანიდები კარგი ხსნადობით გამოირჩევა წყალში. ზოგადად, პროცესის დროს ქიმიური გარდაქმნები თანმიმდევრობით მიმდინარეობს ორი რეაქციით გამოისახება.



რეაქციის (III.136.) განვითარების ხარისხი ოქროსთვის დაბალია და პროცესის ქიმიზმი საკმაოდ ზუსტად შეესაბამება რეაქციას (III.135.), ანუ:



ვერცხლისათვის კი – პირიქით, რეაქციით (III.135.) წარმოქმნილი წყალბადის ზუფანგი პრაქტიკულად მთლიანად შედის ურთიერთქმედებაში (რეაქცია III.136.), ამიტომ ვერცხლის გახსნა ზუსტად გამოისახება რეაქციით:



რომელიც (III.135.) და (III.136.) რეაქციების ჯამს წარმოადგენს.

ციანოან ხსნარებში კეთილშობილი ლითონების გახსნის პროცესი აქამდე განიხილებოდა როგორც სუფთა ქიმიური, ერთიანი პროცესი – გახსნილი ჟანგბადის მოლეკულებთან და ციანიდის იონებთან ლითონის ურთიერთქმედება. თუმცა, თანამედროვე წარმოდგენების შესაბამისად ეს პროცესი ელექტროქიმიურია და ლითონების ელექტროქიმიური კოროზიის კანონზომიერებებს ექვემდებარება. შესაბამისად ამისა, ციანოან ხსნარებში ოქროსა და ვერცხლის გახსნა შეიძლება განიხილოს როგორც მოკლედ შერთული გალვანური ელემენტის მოქმედება, რომლის ერთ-ერთი ელექტროდი

ოქროს ნაწილაკთა, ხოლო მეორე – რომელიმე ელექტრო-გამტარი მინერალი, რომელშიც ეს ნაწილაკთა ჩაწინწკ-ლული.

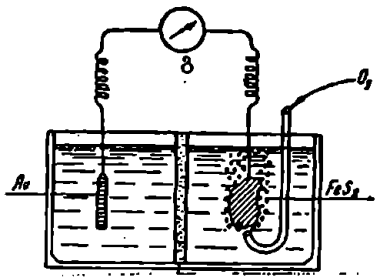
გახსნის ასეთი მექანიზმის შესაძლებლობა მარტივად და ნათლად ჩანს III.84. სურათზე წარმოდგენილ დანადგარის სქემიდან. ფორიანი ტინით ორად გაყოფილ ჭურჭელში ჩასხმულია ხსნარი, რომელიც CN^- იონებს შეიცავს. ჭურჭლის ერთ განყოფილებაში ჩაძირულია ოქროს ფირფიტა, ხოლო მეორეში – პირიტის ნატეხი. ორივე მიერთებულია გალვანომეტრთან. წრედის შერთვის ბოძებში გალვანომეტრის ისარი ნულიდან გადაიხრება, რაც მიანიშნებს გარე წრედში ოქროდან პირიტისკენ დენის გადენაზე. თუცა, დროის უკვე მოკლე პერიოდში დენი მცირდება და შემდეგ წვრილად თითქმის ქრება. თუ ამ დროს ხსნარში, რომელშიც პირიტია ჩაძირული, პერის ან ჟანგბადის ბუშტები გატარდება, დენის გადენა გარე წრედში ისევ იწყება და არ წყდება იქამდე, სანამ ხსნარში პერის გატარება არ შეწყდება.

ამ ექსპერიმენტის შედეგები კარგად ხსნის ჟანგბადის როლს. ოქროს დაჟანგვისა და, ამასთან, $Au(CN)_2^-$ ანიონის წარმოქმნის შედეგად ოქროს ელექტროდის ზედაპირზე ელექტრონების განთავისუფლება ხდება. პროცესის მდგრადი დინებისთვის აუცილებელია ამ ელექტრონების შთანთქმელი დეჰოლარიზატორი. დეჰოლარიზატორის როლს ასრულებს ჟანგბადი, რომელიც პირიტის ზედაპირზე წყალბადის ზეჟანგამდე განიციდის ადენას. მოცემული ექსპერიმენტის პირობებში ოქროს გახსნის მექანიზმი აშკარად ელექტროქიმიურია, მაგრამ ეს ჯერ კიდევ არ ადასტურებს იმას, რომ დაცაინების რეალურ პირობებში გახსნის პროცესი ელექტროქიმიურია.

სუფთა ქიმიურისგან განსხვავებით, ელექტროქიმიურ მექანიზმში ლითონისა და რეაგენტების ურთიერთქმედების საერთო რეაქცია, მნიშვნელოვანწილად, ორ დამოუკიდებელ პროცესად იყოფა (სურ. III.85.): ანოდურ პროცესად – იონების სახით ლითონის გადასვლა ხსნარში გვერდულტური რაოდენობის ელექტრონების განთავისუფლებით, და კათოდურ პროცესად – ჭარბად წარმოქმნილი ელექტრონების ასიმილაცია რომელიმე დეჰოლარიზატორთან (ამ შემთხვევაში ჟანგბადთან).

კოროზიული საერთო რეაქციის ასეთი დაყოფის შესაძლებლობა ლითონის ელექტროლი გამტარობითა და ხსნარის იონური გამტარობით არის განპირობებული. ეს გარემოება ანოდისა და კათოდის პროცესების ტერიტორიულად განცალკევებულად – ხსნარის გაყოფის ზედაპირის სხვადასხვა უბნებზე წარმართვის საშუალებას იძლევა. ანოდური და კათოდური პროცესების სივრცობრივი დაყოფა არ არის აუცილებელი და, ზოგიერთ შემთხვევაში, ორივე პროცესი დროის მონაცვლეობით ერთ ზედაპირზე ხორციელდება. თუმცა, უმრავლეს შემთხვევაში, ანოდისა და კათოდის პროცესების ტერიტორიული დაყოფა ენერგეტიკული თვალსაზრისით უფრო სარგებლიანია, ეინაიდან ყოველი მათგანის ლოკალიზება შეიძლება მოხდეს იმ უბნებზე, სადაც მათი სულა, ამა თუ იმ მიზეზების გამო, გადავილებულია. ამიტომ ლითონის ზედაპირის დაყოფა ანოდურ და კათოდურ უბნებად – კოროზიის ელექტროქიმიური მექანიზმის მეორე მნიშვნელოვანი განსხვავებაა სუფთა ქიმიურისგან. ლითონის ზედაპირის ანოდურ და კათოდურ უბნებად დაყოფა ქიმიური თვალსაზრისით ამ ზედაპირის არაერთგვაროვნებიდან გამომდინარეობს. არაერთგვაროვნების მიზეზი შეიძლება სულ სხვადასხვანაირი იყოს (ელექტრო-გამტარი მარო და მიკრო ჩანართები, არაერთგვაროვანი დურორმაკია, შინაგანი დაბაბულობა ლითონში და ა.შ.). სუფთა ლითონის ზედაპირიც კი არაერთგვაროვნებით გამოირჩევა, რადგანაც მის კრისტალურ გისარში ყოველთვის არსებობს დეფექტები.

ცნობილია, რომ ელექტროქიმიური პროცესის სიჩქარე იმ ზედაპირის პოტენციალზე დამოკიდებული, რიმე

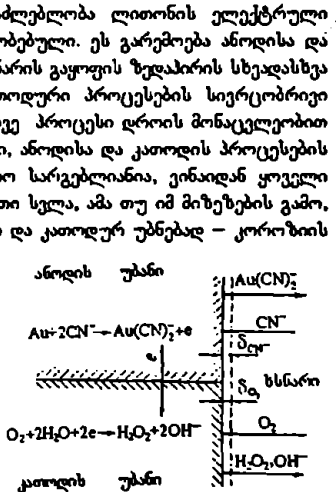


სურ. III.84. ციანიდის ხსნარში ოქროს ელექტროქიმიური გახსნის დანადგარის სქემა.

რომელიც ხსნარში, რომელშიც პირიტია ჩაძირული, პერის ან ჟანგბადის ბუშტები გატარდება, დენის გადენა გარე წრედში ისევ იწყება და არ წყდება იქამდე, სანამ ხსნარში პერის გატარება არ შეწყდება.

ამ ექსპერიმენტის შედეგები კარგად ხსნის ჟანგბადის როლს. ოქროს დაჟანგვისა და, ამასთან, $Au(CN)_2^-$ ანიონის წარმოქმნის შედეგად ოქროს ელექტროდის ზედაპირზე ელექტრონების განთავისუფლება ხდება. პროცესის მდგრადი დინებისთვის აუცილებელია ამ ელექტრონების შთანთქმელი დეჰოლარიზატორი. დეჰოლარიზატორის როლს ასრულებს ჟანგბადი, რომელიც პირიტის ზედაპირზე წყალბადის ზეჟანგამდე განიციდის ადენას. მოცემული ექსპერიმენტის პირობებში ოქროს გახსნის მექანიზმი აშკარად ელექტროქიმიურია, მაგრამ ეს ჯერ კიდევ არ ადასტურებს იმას, რომ დაცაინების რეალურ პირობებში გახსნის პროცესი ელექტროქიმიურია.

სუფთა ქიმიურისგან განსხვავებით, ელექტროქიმიურ მექანიზმში ლითონისა და რეაგენტების ურთიერთქმედების საერთო რეაქცია, მნიშვნელოვანწილად, ორ დამოუკიდებელ პროცესად იყოფა (სურ. III.85.): ანოდურ პროცესად – იონების სახით ლითონის გადასვლა ხსნარში გვერდულტური რაოდენობის ელექტრონების განთავისუფლებით, და კათოდურ პროცესად – ჭარბად წარმოქმნილი ელექტრონების ასიმილაცია რომელიმე დეჰოლარიზატორთან (ამ შემთხვევაში ჟანგბადთან).



სურ. III. 85. ციანიდის ხსნარში ოქროს გახსნის ელექტროქიმიური მექანიზმი.

ზედაპირზე ეს პროცესი მიმდინარეობს. პოტენციალის დადებითი მხარისაკენ გადასაცვლება ანოდურ პროცესს აჩქარებს და კათოდურ პროცესს აშუშრუჭებს, ხოლო უარყოფითი მხარისაკენ მისი გადასაცვლება. პირიქით, კათოდურ პროცესს აჩქარებს და ანოდურ პროცესს აშუშრუჭებს. ამიტომ, გახსნის პროცესის სიჩქარესა და ლითონის პოტენციალს შორის განსაზღვრული კავშირის არსებობა ელექტროქიმიური მექანიზმის დამატებით ნიშანთვისებას წარმოადგენს. უნდა აღინიშნოს, რომ პროცესის ელექტროქიმიური მექანიზმის შემთხვევაში კი, სულაც არ არის აუცილებელი ასეთი კავშირი. მთავარია ის, რომ საკუთრივ ელექტროქიმიური რეაქციის (ისევე, როგორც ქიმიური რეაქციისთვის) წარმართისთვის აუცილებელია რეაგენტის დიფუზია ლითონის ზედაპირისკენ და რეაქციის პროდუქტის დიფუზია ხსნარის მოცულობაში. თუ დიფუზიის სიჩქარე ბევრად ნაკლებია თვით ელექტროდული პროცესების სიჩქარეზე, მაშინ პროცესის საერთო სიჩქარე დიფუზიის კანონზომიერებებს ექვემდებარება. იმ შემთხვევაში კი, როცა დიფუზიის სიჩქარე ელექტროდული რეაქციის სიჩქარეზე მაღალია, მაშინ პროცესის საერთო სიჩქარე ელექტროქიმიური კინეტიკის კანონებს ექვემდებარება და, მაშასადამე, იგი ლითონის პოტენციალზე დამოკიდებულია.

მრავალრიცხოვანი კვლევებით დადგინდა, რომ დაციანების რეალურ პირობებში კეთილშობილი ლითონების გახსნის პროცესი ურავლეს შემთხვევაში დიფუზიურ ხასიათს ატარებს.

დადგინდა, რომ ოქროს გახსნის სიჩქარე ფანგბადის დიფუზიის სიჩქარით განისაზღვრება და არა ოქროს გახსნის რეაქციის სიჩქარით, ანუ ციანიან ხსნარებში ფანგბადის დიფუზია უფრო ნელი პროცესია, ვიდრე – ოქროს გახსნა. ამიტომ, დიფუზიის დამატარებელი ყველა ფაქტორი დაციანების პროცესის ინტენსივობის უწყობს ხელს. მაგალითად, დაციანება ჩქარდება, თუ ხსნარში გახსნილი ფანგბადის კონცენტრაცია ან მისი დიფუზიის სიჩქარე გაიზრდება.

ფანგბადის ხსნალობა გაზავებულ ციანიან ხსნარებში მის სუფთა წყალში ხსნალობას უახლოვდება. ქენრის კანონის მიხედვით, ფანგბადის ხსნალობა წყალში პროპორციულია აირად ფაზაში მისი მარცხენაღრი წნევისა და იგი ტემპერატურის გაზრდით მცირდება.

დაციანების დროს ხსნარების გახურება ხელს უწყობს ფანგბადის დიფუზიის სიჩქარის გაზრდას, თუმცა, ამცირებს ფანგბადის ხსნალობას. ტემპერატურის გაყვლის შესწავლით დადგინდა, რომ ხსნარის გახურება 80°C-ზე ზევით დაციანების სიჩქარეს ამცირებს. პრაქტიკაში ხსნარების გახურება იშვიათად ხდება (მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ხსნარის ტემპერატურა 15°C-ზე ნაკლებია). დიდი რაოდენობის ხსნარების გახურება დაკავშირებულია სათბობის ზარეკასთან, გარდა ამისა, დაციანების აჩქარებით შეინიშნება ციანილის გაზრდილი ზარეკი არამწარმოებლურ თანაურ რეაქციებზე.

ფანგბადის დიფუზიის სიჩქარის გაზრდის ყველაზე მარტივ ზურსს ხსნარის გაძლიერებული არევა წარმოადგენს. თუმცა, ამ დონისძიებასაც გააჩნია თავისი მიზანშეწონილობის ზღვრები. ხსნარის თხელ ზედაპირულ ფენებში ჰაერი – ხსნარისა და ოქროვანა – ხსნარის გაყოფის საზღვარზე არევა პრაქტიკულად არ მოქმედებს, ფაზების გაყოფის ამ საზღვარზე ფანგბადის გადატანა მხოლოდ თეთაღფუზიითაა შესაძლებელი. არევის სიჩქარის გაზრდას შიშვენობა ენიჭება მანამ, სანამ მოსაზღვრე ფენებში კონცენტრაციის გათანაბრების სიჩქარე ნაკლებია დიფუზიის სიჩქარეზე. არევის შემდგომ გაძლიერებით დაციანების სიჩქარე თითქმის არ იცვლება, იზრდება მხოლოდ ენერჯიის ზარეკები.

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ შენადნობიდან (ყრძოდ, ოქროსა და ვერცხლის შენადნობიდან) ოქროს გახსნის სიჩქარე სუფთა ოქროს გახსნის სიჩქარეზე მეტია; ეს იმით აიხსნება, რომ, სუფთა ოქროსთან შედარებით, შენადნობის ზედაპირი არაერთგვაროვნებითა და მასზე სხვაგვარი გადასაქმის მქონე უბნების არსებობით გამოირჩევა.

ციანიწყალბადოვანი მკვა ადვილად დისოცირებად მყაეებს განეკუთვნება; ციანის იონების აქტიურობა მის წყალხსნარებში დაბალია, ამიტომ დაციანებისთვის იგი გამოუსადეგარია. წყალხსნარებიდან წყალზე (განსაკუთრებით ხსნარის გახურების დროს) ერთ-ერთი ძლიერი საწამლაუთავანი, ციანოვანი წყალბადი, რომლის შესუნთქეაც ძალზე საშიშია.

ციანიწყალბადის მკვაის მრავალრიცხოვანი მარილებიდან ოქროს გასახსნელად ყველაზე ვარგისი ტუტე და ტუტეშიწა ლითონების მარილებია. მათ ხსნარებში ციან-იონების აქტიურობა საკმაოდ მაღალია, ხოლო თვით მარილები მდგრადი და შედარებით იაფია.

დაციანების მრეწველობის სათვისების დასაწყისში ციანოვანი კალიუმე გამოიყენებოდა; მოგვიანებით იგი უფრო იაფი ციანოვანი სიჩქარეებით შეცვალა. ამჟამად პრაქტიკაში ციანოვანი კალციუმე გამოიყენება.

დაციანების პროცესი ტუტე არეში უნდა მიმდინარეობდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, თავისუფალი მგავას თანაარსებობა ციან-იონების კონცენტრაციას შეამცირებს და შედეგად აირადი ციანწყალბადი გამოიყოფა:



ნეიტრალურ ხსნარებში დაციანების დროს მსგავსი რეაქცია შეიძლება წარიმართოს ჰაერიდან შთანთქმულ ნახშირჟანგთან:



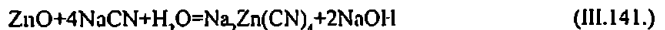
ვინაიდან ჰაერში ყოველთვისაა ნახშირორჟანგი, ხოლო სულფიდების (შედის მადნის შემადგენლობაში) დაჟანგვით თავისუფალი გოგირდმგავა შეიძლება წარმოიქმნას, დაციანება, როგორც წესი, „დამცველი“ ტუტის (ჩვეულებრივი კირი) დანამატთან ერთად ტარდება.

ციანიდი არა მარტო ოქროსთან, არამედ ვერცხლთან და სპილენძის ზოგიერთ მინერალებთანაც რეაგირებს. ამ მინერალებთან ციანიდის ურთიერთქმედების შედეგად კომპლექსური ხსნადი მარილები წარმოიქმნება.

ციანიან ხსნარში ადვილად იხსნება თავითაბადი სპილენძი, მალაქიტი ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$), აზურიტი ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) ქალკოზინი (Cu_2S) და ბორიტი (Cu_2FeS_4). ციანიდი ნაკლებად რეაგირებს ქალკობრიტთან (CuFeS_2) და ქრიზოკოლასთან ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). მადანში სპილენძის მინერალების შემცველობა იმდენად ზრდის ციანიდის ხარჯს, რომ ხშირად ოქროს ამოღება არასარგებლო ხდება. ამიტომ, სპილენძშემცველი ოქროს მადნების გადამუშავების დროს ციანიდის ძლიერად გაზავებული ხსნარები გამოიყენება. ხსნარების გაზავებით სპილენძის მინერალების გახსნის სიქარე, ოქროს გახსნის სიქარესთან შედარებით, მნიშვნელოვნად მცირდება. ხშირად ასეთი ხარისხის მადნები წინასწარ გამოწევის ექვემდებარება. გამოწევის დროს სპილენძი გადადის ფერიტებში, რომლებიც ნაკლებად რეაგირებენ ციანიდებთან.

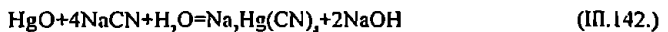
რკინის მინერალები უშუალოდ ციანიდებთან არ ურთიერთქმედებს, ხოლო მათი დაჟანგვის პროდუქტები კი – რკინის ქვეჟანგის ჰიდრატი და სულფატი ციან-იონებთან იკვრება და $\text{Na}_2\text{Fe(CN)}_6$, Fe(SN)_2 -ის ტიპის ნაერთებსა და სხვა სახის ნაერთებსაც წარმოქმნის. ამ შემთხვევაში დაციანების სიქარის ვარდნა, ძირითადად, განპირობებულია პულაში შემავალი რკინის სულფიდების დაჟანგვაზე ჟანგბადის ხარჯვით. პულას წინასწარი გამოწეით ან მასში ჰაერის შეხერხებით შესაძლებელი ხდება რკინის დაჟანგვა ოქსიდის ჰიდრატამდე, რაც ასუსტებს სულფიდური მინერალების არასასურველ ზემოქმედებას ოქროს დაციანებაზე.

თუთიის მინერალებს იშვიათად შეიცავს ოქროს მადნები. თუთიის სულფიდები პრაქტიკულად არ ურთიერთქმედებს ციანიდებთან, ხოლო თუთიის ოქსიდები და კარბონატები ადვილად და სწრაფად გადადის ხსნარში:



ამიტომ, თუთიის სულფიდების შემცველი მადნის წინასწარი გამოწევა ან პულაში ჰაერის შეხერხვა არ არის მიზანშეწონილი.

დაამალგამების შემდეგ მადანში დარჩენილი ვერცხლისწყალი (იმ შემთხვევაში, თუ დაციანების წინ მადნის დაამალგაჩება ხდება) ციანიდებთან არ ურთიერთქმედებს. მაგრამ, თუ მადანი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ჰაერზე იმყოფებოდა და ვერცხლისწყალი იჟანგებოდა, მაშინ ციანიდის ხარჯი საგრძნობლად გაიზრდება შემდეგი რეაქციის გამო:



დარიშხანისა და ანთიმონოს მინერალები არ ურთიერთქმედებს ციანიდებთან, მაგრამ ტუტეში იხსნება და წარმოიქმნის სულფო და ოქსი მარილებს, როლებიც სწრაფად იჟანგება პულაში გახსნილი ჟანგბადით, რაც ჟანგბადის არასასურველ ხარჯვას იწვევს. ამიტომ დაციანების წინ, დარიშხანის განდევნის მიზნით, მიზანშეწონილია მადნების ჟანგვით ან მადისოციირებული გამოწევა.

ტყვიის სულფიდი გაკლენას არ ახდენს ოქროს დაციანებაზე, ხოლო ტყვიის ოქსიდური ნაერთები (PbSO_4 , PbCO_3 და სხვა) მნიშვნელოვნად ანელებს ოქროს ხსნადობას.

პრაქტიკაში გამოყენებული ციანიანი ხსნარების კონცენტრაცია დაბალია და, როგორც წესი, 0,03-0,15%-ს არ აღემატება. კონცენტრაციის გაზრდა 0,15%-ზე ზევით არ აჩქარებს ოქროს გახსნას, ვინაიდან პროცესის სიჩქარე ფანგბადის დიფუზიით კონტროლირდება.

დაციანების ტექნოლოგიურ პროცესში ციანიანი ხსნარები მიმობრუნებას ექვემდებარება. ოქროს გამოლექვის (თუთით) შემდეგ ხსნარები ციანიდებით შემაგრებას განიცდის და ისევ ოქროს დაციანებაზე ბრუნდება. მიმობრუნებულ ხსნარში მინერალების თანდათანობითი დაგროვება ხსნარების აქტიურობას ამცირებს და მათ „გადალილობას“ იწვევს. ციანიანი ხსნარების გადალილობა, ძირითადად, მათში გახსნილი სპილენძისა და თუთიის კომპლექსური მარილების დაგროვებასთან არის დაკავშირებული; ასე მაგალითად, 0,03% Cu-სა და 0,05% Zn-ის დაგროვება, მიუხედავად ხსნარის კონცენტრაციის უცვლელიობისა, თითქმის, ორჯერ ამცირებს ოქროს ხსნადობას. ხსნარის გადალილობის ასნა შეიძლება შემდეგნაირად: იმის გამო, რომ ოქროვანების ზედაპირით მინარეების სორბცია ხდება, ხსნარებთან ოქროს ურთიერთქმედების ზედაპირები მცირდება.

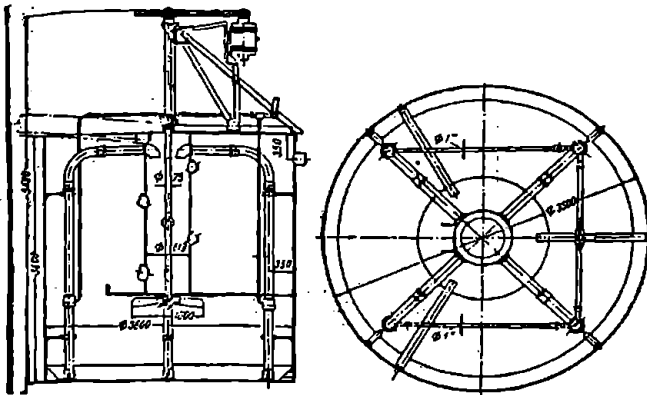
სტეკიომეტრიული ფარდობის მიხედვით, 1 გ ოქროზე 0,49 გ ციანოვანი ნატრიუმი საჭირო, პრაქტიკულად კი მისი ხარჯვა 20-200 ჯერ მეტია. ციანიდების მნიშვნელოვანი ნაწილის ხარჯვა დაკავშირებულია ჰაერის ნახშიბადით დაშლასთან, ამიაკურ და აზოტოვან ნაერთებად გარდაქმნასთან, თანმდე მინერალებთან ურთიერთქმედებასა და მექანიკურ მიზეზებთან.

დაციანების ხერხი ფხვიერი ფორიანი მასალის გადასამუშავებლად გამოიყენება, მადნის ფენაში ხსნარების გაჟონებას ეყარება (ხსნარი უძრავ ოქროვანებში ყონავს). ეს ხერხი არ გამოიყენება წმინდად დაქუცმაცებული მადნებისთვის (წმინდა დაქუცმაცება ოქროს გადახსნის მიზნით ხდება). წმინდად დაქუცმაცებული მადნის ფენაში ხსნარების გაჟონვა ძალზე ნელა მიმდინარეობს ან საერთოდ წყდება. ამიტომ წმინდად დაქუცმაცებული მადანი პულაში დამუშავებას (გამოტუტვას) ექვემდებარება. ვინაიდან მსხვილმარცვლოვანი ოქროშემცველი მადნების მარაგი სწრაფად მცირდება და ამასთან მსხვილი ოქრო წარმატებით ამოიღება გრავიტაციითა და დაამალგამებით, ამყამად, ძირითადად, პულაში გამოტუტვა გამოიყენება.

პულაში გამოტუტვა ხის ან ფურცლოვანი რკინისგან დამზადებულ კოლებში ტარდება. კოლების კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს მადნის მყარი ნაწილაკების მუდმივ შემღვრევას, მყარი ნაწილაკებისა და სითხეების მოძრაობის სიჩქარეების სხვაობას (შეტიტივებული მყარი ნაწილაკების სრიალს სითხეების მიმართ) და პულაში საკმაო რაოდენობის ფანგბადის მიწოდებას.

კოლები იყოფა მექანიკურ, პნევმატიკურ და კომბინირებულ შემრევ კოლებად. პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კომბინირებული (მექანიკური და პნევმატიკური) კოლები. ამ კოლებს გააჩნიათ როგორც ცენტრალური (სურ. III.23.), ასევე კიდური (სურ. III.86.) აეროლიფტები.

პულაში გამოტუტვა პერიოდულ და უწყვეტ რეჟიმში შეიძლება ჩატარდეს. მეორე შემთხვევაში პულა უწყვეტად მიეწოდება კოდს და კოდდან უწყვეტად გადმოედინება. მადნის შედარებით



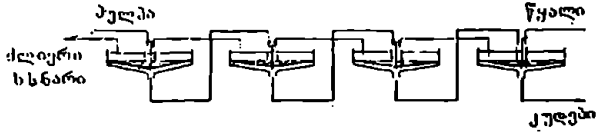
სურ. III.86. პულაში გამოტუტვის ჩასატარებელი კოდი კიდური აეროლიფტით.

მსხვილი ნაწილაკები უფრო ძნელად ადის აეროლიფტში. ვიდრე წერილი ნაწილაკები, რაც ხელს უწყობს ოქროს ამოღების სისრულეს, ვინაიდან მისი მსხვილი ნაწილაკები უფრო მეტი დროის განმავლობაშია შეკავებული კოდში, ვიდრე წერილი ნაწილაკები.

უწყვეტ რეჟიმში გამოტუტვა თანმიმდევრობით დაყენებულ რამდენიმე კოდში უფრო მწარმოებლურია ვიდრე პერიოდული გამოტუტვა. უწყვეტი გამოტუტვა შევსებასა და დატლავებ დროის ეკონომიის შესაძლებლობას იძლევა; გამოტუტვის დრო შეესაბამება თანმიმდევრულად განლაგებულ კოდებში პულპის გადენის ხანგრძლივობას. თანამედროვე ოქროს წარმოებაში, როგორც წესი, უწყვეტი გამოტუტვის პროცესი გამოიყენება.

პულპაში გამოტუტვის შემდეგ ხსნარის ძირითადი მასის განცალკევებისთვის, ჩვეულებრივ, მარტივი და იაფი შესქელების პროცესი გამოიყენება. შესქელებული პროდუქტი შემდეგ დოლურ, ლისკურ ან სხვა ფილტრებზე იფილტრება. ოქროშემცველი ხსნარის ამოღების მიზნით, მიღებული ლამა გულმოდგინედ ირეცხება წყლით, ნარეცხი წყალი გამოტუტვაზე ბრუნდება.

ზოგჯერ ციანიანი ხსნარების კუდებისგან განცალკევება უფრო ხელსაყრელია უწყვეტი წინაღ-დენიანი დეკანტაციით (სურ. III.87.). დეკანტაციის არსი შემდეგია: პულპა მშვიდ მდგომარეობაში



სურ. III 87. უწყვეტი წინაღდენიანი დეკანტაციის სქემა.

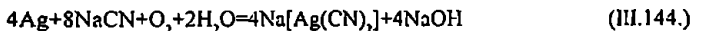
დაწვდომას განიცდის და დაშვდარი ხსნარი გადმოსხმას ექვემდებარება; შემდეგ საწდომი (სალექარი) იესება სუფთა წყლით უწინდელ დონემდე, წყლისა და ნარჩენი პულპის შერევის შემდეგ პულპა ისევ დაწვდომას განიცდის და დაშვდარი ხსნარი ისევ გადმოსხმება. ამდაგვარი ოპერაციებით, ანუ რამდენიმე თანმიმდევრული დეკანტაციის შედეგად პულპიდან ოქრო სასურველ დონემდე განიდევნება.

დეკანტაციის სელასთან ერთად ხსნარები უფრო და უფრო მეტად განიცდის გაზაებას და ამასთან მათი ჯამური მოცულობა სწრაფად იზრდება. ამის თვითადა აცილების მიზნით, დეკანტაციის პროცესში წყლის მაგივრად ადრე მიღებული გაზაებული ხსნარების გამოყენება შეიძლება; მაგალითად, მეზოტე გადმონახსანი – მეოთხე დეკანტაციისთვის, მეოთხე – მესამისთვის და ა.შ. ასეთი დეკანტაცია წინაღდენიან დეკანტაციის სახელწოდებით არის ცნობილი და იგი უწყვეტ რეჟიმში ხორციელდება თანმიმდევრობით განლაგებულ რამდენიმე სასქელებელის გამოყენებით (სურ. III.87.)

უწყვეტი წინაღდენიანი დეკანტაციის პროცესში შესქელებული პროდუქტი უწყვეტად გააღიტუმბება ტუმბოთი პირველი საწდომის ფსკერული ნაწილიდან მეორეში, მეორედან მესამეში და ა.შ. შესქელებული პროდუქტის შემხედარი მიმართულებით მოძრაობს სარეცხი ხსნარი. სარეცხი სუფთა წყალი კი მიეწვდება მხოლოდ ბოლო სასქელებელს, ხოლო სათაო სასქელებლიდან მდიდარი ოქროშემცველი ხსნარი გადმოსხმება.

უწყვეტი წინაღდენიანი დეკანტაცია-გარეცხვის მარტივი და იაფი ხერხია; თუმცა იგი ღირს ნაგებობებს საჭიროებს და შეიძლება მხოლოდ სწრაფდამლეკი პულპებისათვის იყოს გამოსადეგი, რადგანაც, ამ შემთხვევაში, შესაძლებელი ხდება მცირე ზომის შემაქელებლების გამოყენება.

ოქროს ერთ-ერთი საწარმოს დაციანების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.88. სურათზე. დაციანებისთვის ციანიანი ნატრიუმი გამოიყენება. ოქროსა და ვერცხლის გახსნა შემდეგი რეაქციებით ხდება:



გამოტუტვის წინ მადანი იმსხვრევა და ქუცმაცდება (მადნის მასის 60% 200 მეშამდე ქუცმაცდება). დაქუცმაცება, როგორც წესი, ციანიან ხსნარში ხდება, რითაც ოქროს (ვერცხლის) გახსნის პროცესი უკვე წიქვილმევე იწყება. დაქუცმაცების პროცესში მადანს, „დამტკეილი“ ტუტე რეაგენტის სახით, კირი ემატება (0,54-დან 0,908 კგ-დე ერთ ტონა მადანზე). წისქვილიდან (5) მადნის პულპა გადადის სასქელებელში (სალექარში). დაშვდარი (გაკამკამებული) ციანიანი ხსნარის გადმონახსნაში სალექარიდან ან დაქუცმაცების კონტურს (13) უბრუნდება, ანდა ოქროსა და ვერცხლის

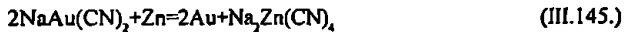
ანემატიკური შემრევი კოდების სიმაღლე 6-დან 18-მდე აღწევს, ხოლო დიამეტრი 2-დან 9 მდეა. პულპის კარგი აერაციის მიზნით, იგი ერთი კოდიდან მეორეში, მეორედან მესამეში გადაღის (ზოგჯერ თანმიმდევრულად 7 შემრევი კოდი ჩაყენებული).

ბოლო დროს დაბალი ხარისხის ოქროს მადნების გადასამუშავებლად ზოგიერთ ქვეყანაში ფართოდ გამოიყენება გროვის გამოტუტვის მეთოდი, რომელიც მინიმალურ კაპიტალურ დაზანდებას საჭიროებს.

8.1.2. ოქროს გამოლექვა ციანანი ხსნარებიდან

ციანანი ხსნარებიდან ოქროს დალექვა შესაძლებელია ელექტროლიზით ან დაკემენტებით, სხვა, უფრო ნაკლებად კეთილშობილი ლითონით, მაგალითად – თუთიით ან ალუმინით. ცნობილია აგრეთვე ოქროს გამოყოფა ხსნარებიდან სხვადასხვა მასალაზე (ნახშირზე, ონიტებზე) სორბციით (აღსორბციით) და ოქროს გამოყოფა ექსტრაქციით.

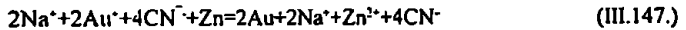
პრაქტიკაში ფართო გავრცელება ჰქონდა ოქროს გამოლექვამ თუთიით, რომელიც შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



ვერცხლის გამოლექვაც ოქროს მსგავსად ხდება:



თუ რეაქცია (III.145.) იონურ ფორმაში გამოისახება და განტოლების მარჯვენა და მარცხენა მხარეების ერთსახიანი იონები შეიკვეცება, მიიღება:



ან



თუთიის ვალენტური ელექტრონები ოქროს იონებს გადაეცემა და შედეგად ოქრო გამოილეკება. ეს კიდევ ერთი მაგალითია დაკემენტებისა, რომელიც ადრე იყო განხილული. ციანან ხსნარებში ლითონების ძაბვათა მწკრივში თუთიის პოტენციალი (-1,26 ვოლ.) ოქროსა (-0,54 ვოლ.) და ვერცხლის (-0,31 ვოლ.) პოტენციალებზე უფრო უარყოფითია და ამიტომ თუთია ადვილად აძევებს კეთილშობილ ლითონებს ციანანი ხსნარებიდან.

დაკემენტების პროცესში ძირითად რეაქციებთან (III. 145. და III. 146.) ერთად თანარეაქციებიც ვითარდება.

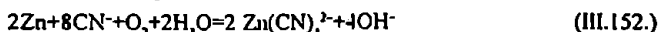
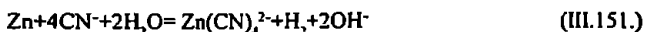
როგორც ძლიერ აღმდგენს, თუთიას წყლის მოლეკულის აღდგენაც შეუძლია აირადი წყალბადის გამოყოფით:



კეთილშობილი ლითონების შემცველ ციანან ხსნარებში, რაღაც რაოდენობით, ყოველთვის შედის გახსნილი ფანგბადი. ფანგბადი მაღალი ფანგის პოტენციალით გამოირჩევა და ამიტომ იგი თუთიით აღდგება. შედეგად ჰიდროქსიდის იონები წარმოიქმნება:



ამიტომ დაკემენტების დროს ლითონური თუთიის მნიშვნელოვანი ნაწილი უსარგებლოდ იხარჯება.

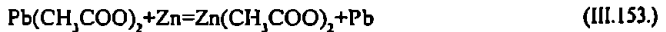


რეაქციის (III.145.) თანახმად 1 გ ოქროს გამოლექვაზე, თეორიულად 0,12 გ თუთია იხარჯება. პრაქტიკულად კი, რეაქციებით (III.151. და III.152.) თუთიის დაჟანგვის გამო მისი ხარჯი ათჯერ მეტია.

თანამედროვე წარმოდგენით, დაცემენტების პროცესი ელექტროლიზური და იგი შეიძლება გალუანური მიკროელემენტის მუშაობას მიეწვას. ოქროს კომპლექსური ციანოვანი მარილის ხსნარში თუთიის ჩამირვის დროს იონების მიმოცვლა იწყება, რის შედეგადაც, თუთიის ანოდურ უბნებზე მისი იონიზაცია მიმდინარეობს, ხოლო კათოდურ უბნებზე – ოქროს, ჟანგბადისა და წყლის აღდგენა. ამ დროს ელექტრონები ლითონით გადაედინება ანოდის უბნიდან კათოდის უბნებისკენ. ამიტომ ოქროს გამოლევა არა მარტო თუთიაზე, არამედ მასთან კონტაქტში მყოფ ნებისმიერ გამტარზე შესაძლებელია, კერძოდ, ადრე გამოლევილ ოქროს ნაწილაკებზე.

ვლევებით დადგინდა, რომ ოქროს გამოლევა დიფუზიური პროცესია, მისი სიჩქარე შეზღუდულია $Au(CN)_2^-$ ანიონების კათოდური უბნების ზედაპირისკენ დიფუზიის სიჩქარით. ამიტომ დაცემენტების დასაჩქარებლად გამოსადგვია ყველა მეთოდი, რომელიც ხელს შეუწყობს დიფუზიის სიჩქარის ზრდას – კათოდური ზედაპირის გადიდება, ინტენსიური არევა, ტემპერატურის აწვევა.

დალექვის სიჩქარის გაზრდის მიზნით, პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ზერზი, რომელიც კათოდის ზედაპირის გაზრდაში მდგომარეობს და იგი თუთიის წინასწარ მოტყვიავებს ითვალისწინებს ტყვიის რომელიმე ხსნადი მარილის ხსნარში (მმარმეავა, აზოტმეავა) თუთიის დამუშავებით. თუთიის ზედაპირზე წარმოიქმნება ლითონური ტყვიის ფხეიერი ღრუბლისებრი ნალექი, რომელსაც ძალზე დიდი კუთრი ზედაპირი გააჩნია,

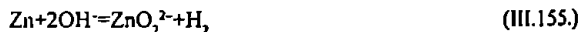


ასეთი ტყვიანი თუთიის გამოყენება მნიშვნელოვნად აჩქარებს გამოლევის პროცესს. უდავოა აგრეთვე, რომ კათოდის (თუთიის) ზედაპირის გაზრდას ხელს შეუწყობს წმინდადისპერსიული ფხეილის (მტკერი) ან წერილი ბურბუშულას სახით თუთიის გამოყენება.

ინტენსიური არევა დაცემენტების დროს ორმხრივ ეფექტს იძლევა. ერთი მხრივ, იგი ოქროს აღდგენის ზღვრული ღენის გადიდებას იწყებს, რის გამოც ოქროს გამოლევა ჩქარდება. მეორე მხრივ, ერთდროულად იზრდება ჟანგბადის აღდგენის ზღვრული ღენი, რითაც თუთიის უნაყოფო ხარჯი იღდება. გარდა ამისა, ინტენსიური არევის დროს თუთიის ნაწილაკებიდან ხსნარიდან გამოძევებული ოქროს აესკების მოწყვეტის საშიშროება არსებობს. ლითონური თუთიიდან მოწყვეტილი ოქროს ზედაპირის სტაციონარული პოტენციალი დადებით მხარისაკენ გადაიწევს (გახსნილი ჟანგბადის პოლარიზაციის შედეგად) და ხსნარიდან გამოძევებული ლითონის უკუგახსნა დაიწყება.

ამიტომ პრაქტიკაში კეთილშობილი ლითონების გამოლევაში ციანიანი ხსნარები დეაერაციას (განჟანგბადებას) ექვემდებარება, ხოლო თვით გამოლევის პროცესი დისპერსიული თუთიის ფენაში ხსნარის (განჟანგბადებული ხსნარის) გაფონვით ტარდება. ამით $Au(CN)_2^-$ ანიონების დიფუზია თუთიის ზედაპირისკენ საკმარისად ჩქარდება და, ამავე დროს, დაცემენტებული ნალექის სტრუქტურა არ ზიანდება. ხსნარის წინასწარი დეაერაციით კი ოქროს უკუგახსნა მინიმუმამდე დაიყვანება და თუთიის ხარევა მცირდება. გარდა ამისა, გაფონვის მეთოდში კეთილშობილი ლითონებით ყველაზე მდიდარი ხსნარი ყველაზე ნაკლებად აქტიურ (ნამუშევარ) თუთიას ეხება, ხოლო გაფონვის შედეგად სულ უფრო და უფრო მეტად გაღარიბებული ხსნარი სულ ახალ და ახალ გამომლექთან (თუთიასთან) ურთიერთქმედებს, ანუ წინაღობიანი პრინციპი ხორციელდება. შედეგად გამოლევის სიჩქარე და სისრულე დამატებით იზრდება.

ციანილის საკმარისი კონცენტრაციის უქონლობა თუთიის დაჟანგვასა და ცინკატორის (ZnO_2) წარმოქმნას იწყებს:



ტუტის დაბალი კონცენტრაციის გამო კი (ZnO_2^{2-}) იონი ჰიდროლიზს განიცდის და თუთიის ჰიდროოქსიდის წყალში უხსნადი თეთრი ნალექი წარმოიქმნება:

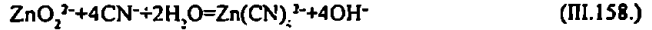


ციანილის კონცენტრაციის უკმარისობის გამო ჰიდროოქსიდით თუთიის კომპლექსურ ციანიანთან ურთიერთქმედებს და ციანიანი თუთიის თეთრი ნალექი წარმოიქმნება:



ჰიდროოქსიდი და თუთიის მარტივი ციანიდი მთავარი შემდგენელია ე.წ. თეთრი ნალექისა, რომელიც ტუტეთი და თავისუფალი ციანიდით არასაკმარისი კონცენტრაციის მქონე ციანიანი ხსნარებიდან ოქროსა და ვერცხლის გამოლექვის დროს წარმოიქმნება. თეთრი ნალექი ლითონური თუთიის ზედაპირზე ილექება და თუთიის კონტაქტს ხსნართან აბრკოლებს, ამით კი გამოლექვის პროცესი რთულდება. გარდა ამისა, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ -სა და $\text{Zn}(\text{CN})_2$ წარმოქმნა ოქროს ნალექის გადარიბებას იწვევს, რაც ართულებს მის შემდგომ გადამუშავებას.

თეთრი ნალექის წარმოქმნის აცილების მიზნით, კეთილშობილი ლითონების გამოლექვის პროცესში გამოიყენება ხსნარები, რომლებშიც ციანიდისა და ტუტეს კონცენტრაცია საკმაოდ მაღალია. ასეთ ხსნარებში რეაქტივის (III.155.) წონასწორობა მარცხნისაკენ გადაინაცვლებს და ZnO_2^{2-} იონი გარდაიქმნება კომპლექსურ ანიონად $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$:



ხოლო მარტივი ციანიდი იხსნება შემდეგი რეაქციით:



თუმცა, რეაგენტების კონცენტრაციის გადაჭარბებული გაზრდა არასასურველია, ვინაიდან რეაქტივების (III.150., III.151., III.152., III.153., III.154.) ინტენსივობის შედეგად მნიშვნელოვნად იზრდება თუთიის, ციანიდისა და ტუტეს ხარჯვა.

ციანიდისა და ტუტეს საჭირო კონცენტრაციის შენარჩუნების გარდა, თეთრი ნალექის წარმოქმნას საკმაოდ აბრკოლებს ხსნარის წინასწარი დეაერაცია (განაჟანგადება). დეაერაცია მნიშვნელოვნად ამცირებს თუთიის დაჟანგვას. განაჟანგადებულ ხსნარებში თეთრი ნალექი მის წარმოქმნის ზელსაყრელ პირობებშიც კი არ ჩნდება. ასე მაგალითად, არაგანაჟანგადებული ხსნარებიდან ოქროს გამოლექვის დროს თეთრი ნალექის წარმოქმნის თავიდან აცილების პირობა ციანიდისა და ტუტეს კონცენტრაციის უკაშვირდება. თითოეული მათგანის კონცენტრაცია 0,05-0,08%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, ხოლო წინასწარ განაჟანგადებულ ხსნარებში, თითოეული ამ რეაგენტის კონცენტრაცია 0,02-0,03%-მდე შეიძლება შემცირდეს.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, კეთილშობილი ლითონების გამოლექვის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად საჭიროა:

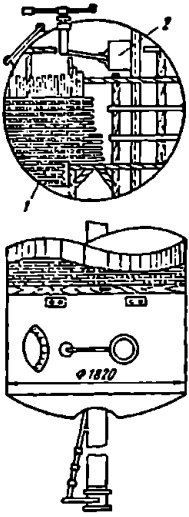
- ხსნარების წინასწარი დეაერაცია;
- მაქსიმალურად განვითარებული ზედაპირის მქონე ლითონური თუთიის გამოყენება;
- თუთიის მოტყევიანება;
- ციანიდის და ტუტეს საკმარისი, მაგრამ არა ზედმეტად მაღალი კონცენტრაცია;
- გაუონვის (პერკოლაციის) მეთოდით პროცესის ჩატარება.

ციანიანი ხსნარებში შემაჯავლი მინარევები (ტუტე სულფიდები, დარიშხანი, ზოგიერთი ტყვიისა და სპილენძის ნაერთები), უმეტეს შემთხვევაში, უარყოფითად მოქმედებს დაცემენტების პროცესზე. თუთიის ზედაპირზე მინარევები წარმოიქმნის მჭიდრო აფსკებს, რომლებიც ანელებს ან ზოგჯერ მთლიანად აჩერებს ოქროს გამოლექვის პროცესს.

გამოლექვის ხსნარები სრულად დამწვარი (გაკამბებული) უნდა იყოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში, შეტივტივებული ნაწილაკები თუთიის ზედაპირზე გამოლექვას დაიწყებს, რითაც თუთიისა და ხსნარის კონტაქტი გაუარესდება და ოქროს დალექვა დაბრკოლდება. გარდა ამისა, შეტივტივებული ნაწილაკები გააჭუჭყიანებს ოქროს ნალექს და ამით მის შეივდგომ გადამუშავებას გაართულებს.

ოქროს დასაღვებად, ძირითადად თუთიის მტვერი გამოიყენება. თუთიის მტვერი, ანუ ფხვნილისებრი ლითონური თუთია, რომლის მარცელების სისხო 0,01 მმ-ზე ნაკლებია, წონის ერთულზე უფრო დიდი ზედაპირით გამოირჩევა, ვიდრე თუთიის ბურბუშულა. თუთიის მტვერი აქროლთ მზადდება (თუთიის ორთქლის სწრაფი გაცივებით დიდი მოცულობის კონდენსატორში).

თანამედროვე პრაქტიკაში თუთიის მტვერით ოქროს დალექვას, როგორც წესი, წინ უსწრებს ციანიანი ხსნარის დეაერაცია (განაჟანგადება), რომელიც ვაკუუმ-რესივერში (სურ. III.89.) ტარდება. ვაკუუმ-რესივერი რკინისგან დამზადებულ ავზს წარმოადგენს (მოცულობით 0,5-0,9მ³-ია). ავზის



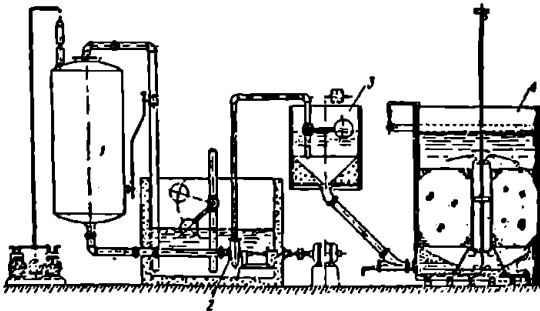
სურ. III.89. ციანანი ხსნარების დეაერაციის ვაკუუმ-რესივერი.
 1 ხის ძელაკების ცხარა; 2 ტოვტივა; 3 ხსნარის დონის მაჩვენებელი; 4. ვაკუუმობის მაჩვენებელი; 5. ძალი ვაკუუმ-ტუმბოსკენ; 6. სარქველა.

ჩასხმულ ციანან ხსნარში. განაწინებულ ხსნარს ტუმბოს მეშვეობით გადაიტუმბება შემდეგ კოდში (3). შემდეგ კოდში უწყვეტად ჩაიტვირთება (ლენტური ან სხვა სახის მკვებავით) თუთიის მტერი. კოდის კონსუერი ძრო მილსადენით უერთდება ფილტრს.

კვლევა და სამრეწველო პოლიტიკამ აჩვენა, რომ ოქროს ყველაზე უფრო ჩქარი დაღეჭვა ხდება არა თუთიის ხსნართან შერევისას, არამედ ფილტრაციის დროს, ამიტომ ფილტრის კონსტრუქციას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

თუთიის მტერით ოქროს გამოსალექ დაზარებულში გამოიყენება ფილტრ-პრესი, ჩარჩოსებრი ვაკუუმ-ფილტრი, სატომრე ფილტრი და სხვა.

გასაფლტრი კოდი ღიაა და პულპის ზედაპირი ატმოსფეროსთან შეხებაშია; თუმცა, ფილტრაციის



სურ. III.90 თუთიის მტერით ოქროს უწყვეტი დაღეჭვის დანადგარის სქემა.

1 ვაკუუმ-რესივერი; 2. ტუმბო; 3. შექრევა; 4. ჩარჩოსებრი ვაკუუმ-ფილტრი.

თავსახურზე განლაგებული მილიდან ხსნარი ხის ლარტებისგან დამზადებულ წყობურზე ხვდება. წყობურის დიდ ზედაპირზე განლაგებული ხსნარი სწრაფად გასცემს მასში გახსნილი აირებს. დეაერირებული ხსნარი რესივერის ქვედა კონსუერ ნაწილში გროვდება, საიდანაც გამოდის სარქველის საშუალებით, რომელიც ავტომატურადაა დაკავშირებული მიმწოდ სარქველთან. ამრიგად განაწინებულ ხსნარის დონე რესივერის ქვედა ნაწილში ყოველთვის მუდმივია (პერის ნარჩენი წვევა ვაკუუმ-რესივერში 3-6,5კპას ტოლია).

თუთიის მტერით ოქროს გამოლექვის უწყვეტ რეჟიმში მომუშავე დანადგარის სქემა წარმოდგენილია III.90. სურათზე.

დამწდარი ხსნარი მიეწოდება ვაკუუმ-რესივერს (1). ვაკუუმ-რესივერის გამოშვებანი მილყელი მიერთებულია ცენტრალური ტუმბოსთან (2); პერის შეწოვის თავიდან აცილების მიზნით, ტუმბო ჩაბირულია რეზერვუარში

მნიშვნელოვანი სიჩქარისა და პულპის სუსტი არევის გამო (არევა პულპის სარქეს არ ამახინჯებს) შესაძინევი დაწინებდება არ მიმდინარეობს.

ნებისმიერი კონსტრუქციის ფილტრის გამოყენების დროს ოქრო-შემცველი ნალექის გადმოტვირთვა პერიოდულია. ამიტომ უწყვეტ რეჟიმში საბუშაოდ 2-3 შემცველი ფილტრია საჭირო.

თუთიის მტერით დაღეჭილი ნალექები უფრო მდიდარია ოქროთი ვიდრე — ბურბუშელით დაღეჭილი.

ნალექებში ოქროსა და ვერცხლის საერთო შემცველობა 30-50%-ს შეადგენს. კეთილშობილი ლითონების

მისაღებად ნალექები რთულ გადამუშავებას განიცდის. თუთიის განდევნის მიზნით, მათი დამუშავება 10-15%-ან H_2SO_4 -ით ხის კოდებში (სიმაღლით 1,5-1,8, ხოლო დიამეტრით 2-3-მ-ია) ხორციელდება. კოდი შიგნიდან ტყეითაა ამოგებული. თავსახური მჭიდროდ არის მირთული კოდის ბორცვთან, ხოლო თავსახურზე განლაგებული ჩასატვირთი ხვრელები საკენტილაციო გაწვივის მოწყობილობითაა აღჭურვილი.

ასეთი სიფრთხილის ღონისძიების გატარება აუცილებელია, ვინაიდან დამუშავების პროცესში შესაძლებელია ძლიერმომწამლავი აირების - დარიშხანოვანი წყალბადისა და ციანოვანი წყალბადის გამოყოფა. იმავე მოსაზრებებით ნალექების დასამუშავებელი კოდები კარგად განიავებულ, განცალკევებულ შენობებშია განლაგებული.

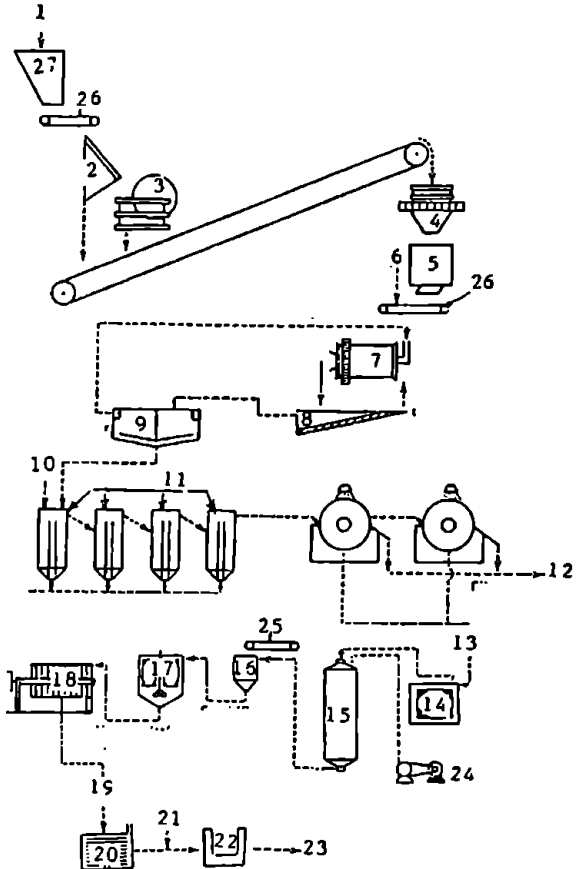
მყავთი დამუშავება დაახლოებით სამი საათი გრძელდება, რის შემდეგაც ხსნარი გადმოისხმება კოდიდან, ხოლო ნალექი მრავალჯერ ირეცხება დეკანტაციით. ყოველი გადმონახსნის ფილტრ-პრესში გაელით მექანიკურად წატაცებული ოქროს დაჭერა ხდება.

ზოგჯერ თუთიის დალევივის დროს ჭარბი თუთიის რაოდენობა იმდენად ცოტაა, რომ მისი გამოტუტვა მყავთი აუცილებელი არ არის.

ოქროშემცველი ნალექები (მყავთი დამუშავების შემდეგ) ტიგებში ან მცირე ზომის ამრეკლ ღუმელებში ღნობას განიცდის. მინარეების დაყენებისა და შეწიღვის მიზნით კაშმს ემატება სოდა, ბორაკი, ქვიშა და ზოგჯერ მლზობი შპატი. გამწარი მასა კონუსურ ბოყვებში ჩამოსხმება და გამყარების შემდეგ მას წიღის ნაწილი სცილდება. წილა, როგორც წესი, მდიდარია კეთილშობილი ლითონებით და ამიტომ იგი გადამუშავებას ექვემდებარება; განცალკევებული ლითონი გადნობას განიცდის და 6-8 კგ-ანი ზოდების სახით ჩამოისხმება.

ოქროშემცველი მადნების დაციანებით გადამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური საერთო სქემა III.91. სურათზეა წარმოდგენილი.

უშუალოდ პულპიდან კეთილშობილი ლითონების სირბცია (აღ-



სურ. III.91. ოქროშემცველი მადნის დაციანებით გადამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1. ოქროშემცველი მადანი; 2. ცხაკა; 3. სამსხვრევკლა; 4. კონუსური სამსხვრევკლა; 5. წერღმარცვლოვანი მადნის ბუნკერი; 6. ციანოდი და კორა; 7. ბურიულეზიანი წისქვილი; 8. კლასიფიკატორი; 9. სასქელეებელი; 10. ციანოდი; 11. პაიუკა ტიპის შეპრევი კოდი; 12. ვაფილტრის შედეგად მიღებული საყარი კეკი; 13. დედახსნარი; 14. ხსნარის ვასაკაშპებელი კოდა დევერაციის ვაეუშ-რესივიერი; 15. შეპრევი ბუნკერი; 17. ამაღვაშატორი; 18. ფილტრ-პრესა; 19. ოქრო-თუთიის ნალექი; 20. კალცინირების ღუმელი; 21. ფილუსა; 22. ტოელის ტიპის სადნობი ღუმელი; 23. ლითონი; 24. ვაეუშური ტუშბი; 25. თუთიის მკეებავი; 26. მადნის მკეებავი; 27. მადნის ბუნკერი.

სორბცია) იონმიმოცვლითი ფისის ან აქტიური ნახშირის გამოყენებით ზორციელდება. ბოლო წლებში იონიტებით სორბციის პროცესი რუსეთსა და ყოფილ საბჭოთა რესპუბლიკებში გავრცელდა. ბოლო ნახშირით სორბცია უპირატესად აშშ-ში, ავსტრალიაში და სამხრეთ აფრიკაში გამოიყენება.

ნახშირით ოქროს სორბციის პროცესი აშშ-ის ერთ-ერთ მსხვილ ოქროს საწარმოში (სამხრეთ დაკოტა) გამოიყენება. აქტიური ნახშირი ანუ ნახშირბადიანი ფორიანი ადსორბენტი, რომელიც საუკეთესო ხარისხისა და მაღალი სიმტკიცით გამოირჩევა, ქოქოსის ნაჭუჭისგან მზადდება.

აღსორბენტის (სორბენტის) ტევადობის გაზრდის მიზნით, სორბციაზე შესული ოქროშემცველი პულა წინასწარ განიციდის დაციანებას. სორბციული გამოტუტვის (გამოტუტვისა და სორბციის ოპერაციების შეთანხმების გამო ეს პროცესი სორბციული გამოტუტვის სახელწოდებით არის ცნობილი) შემდგომი ეტაპი 4 პნემატიკური ან მექანიკური შემრევი კოდის ჯაჭვში ტარდება, ნახშირისა (მარცელის სისხოს 1,5-3,5 მმ) და პულპის წინაღენიანი მოძრაობით. პულა პირველი კოდიდან მე-4 კოდისკენ მიედინება, ხოლო ნახშირი პულპის დინების საწინააღმდეგოდ მოძრაობს. კოდიდან კოდში გადაადგილებით პულა მასში გახსნილი ლითონებით ღარიბდება (ოქროსა და ვერცხლის ციანიდების კომპლექსური იონების აქტივირებულ ნახშირზე სორბციის გამო) და მე-4 კოდიდან იგი საყარი კულების სახით გადაიარება. საწინააღმდეგოდ მიმართულებით მოძრაეი ნახშირი კი კოდიდან კოდში გადაადგილებით ოქროთი მდიდრდება (ცხრილი III.36.). ნახშირი პირველ კოდში ყოვნდება იკამდე, სანამ ერთ ტონა ნახშირში ოქროს რაოდენობა 8-11კგ-ს არ გაუტოლდება, ხოლო შემდეგ ნახშირი ირეცხება და უხსნადი წერილი ნაწილაკებისგან ცალკეელება კლასიფიკაციით. გასუფთავებული ნახშირიდან ოქრო დესორბციით ცალკეედება.

ცხრილი III.36.

ოქროს ნახშირით სორბციის პროცესის ტიპური მაჩვენებლები (სამხრეთ დაკოტის ქარხნის მონაცემებით)

ნახშირბადის ადგილმდებარეობა	აღსორბირებული ოქრო, გ/ტ ნახშირზე	ნამუშევარ ხსნარში ჩარჩენილი ოქრო გ/ტ ხსნარზე
კოდი №1	10600	1,80
კოდი №2	4200	0,70
კოდი №3	2400	0,25
კოდი №4	560	0,014

ოქროს დესორბცია, ანუ ნახშირიდან ოქროს ელუირება (აღსორბენტიდან ოქროს დესორბციის პროცესი ელუირების სახელწოდებით არის ცნობილი) პროცესია, რომელშიც სორბციისა და დესორბციის შორის წონასწორობა იცვლება და ოქრო ხსნარში გადადის. ოქროიანი ხსნარიდან, ანუ ელუატიდან ოქროს დალეევა უხსნადი ანოდებიანი ელექტროლიზის პროცესში ზორციელდება.

ეთოდობილი ლითონების ელუირება, ჩვეულებრივ, 88°C-მდე გახურებული კალსტიკური ციანიდი ხსნარით (ნატრიუმის ჰიდროქსიდი, NaOH-1% და ნატრიუმის ციანიდი, NaCN-0,2%) ზორციელდება. პროცესი ტარდება კონუსური ძირის მქონე უეანგავი ფოლადის კოდში, რომელიც 1 ტ-მდე ოქროშემცველ ნახშირს იტევს.

როცა ნახშირი საკმარისად გაღარიბდება ოქროთი (140გ/ტ-ზე ნაკლები), დედახსნარი (ელუატი) გადასამუშავებლად გადაიტუმბება ელექტროლიზის საამქროში, სადაც მწერიკიში მდგარი სამი ელექტროლიზირის გავლით ელექტროლიზს ექვემდებარება. ელექტროლიზირით (აბაზანა) დამზადებულია კერამიკისგან. ანოდის (ანოდი უხსნადია) სახით უეანგავი ფოლადის ფურცლები გამოიყენება, ხოლო კათოდი, რომელიც ფოლადისგან მზადდება, დიდი ზედაპირული ფართობით გამოირჩევა. აბაზანები თანმიმდევრულადაა მიერთებული ერთმანეთთან. დედახსნარი (ელუატი) ჯერ პირველ აბაზანაში შედის, შემდეგ მეორეში გადადის და ბოლოს მეორიდან მესამეში შედის. მესამე აბაზანიდან გამოსული ნამუშევარი ხსნარი რეგენერაციას განიცდის და ისევ დესორბციის კოდში ბრუნდება. პირველ აბაზანაში კათოდი მანამ ყოვნდება, სანამ მასზე 25-28კგ ოქრო და 5-5,5კგ ვერცხლი არ დაგროვდება; შემდეგ კი იგი აფინაჟის ქარხანაში იგზავნება, ხოლო მის ადგილს მეორე აბაზანიდან გადმოტანილი კათოდი იკავებს, მეორე აბაზანაში განთავისუფლებულ ადგილზე კი მესამე აბაზანიდან გადმოტანილი კათოდი თავსდება. მესამე აბაზანაში განთავისუფლებულ ადგილს ახალი

(სუფთა) კათოლი იკავებს. კათოდების ამაღლები გადადგილების შედეგად, პირველ პოზიციაში მყოფ კათოდზე (რომელიც აფინაციის ქარხანაში იგზავნება გადასამუშავებლად) ყოველთვის უფრო მეტი რაოდენობის ოქრო გროვდება, ვიდრე მეორე და მესამე პოზიციებში მდგარ კათოდებზე.

დესორბციის შედეგად ოქროთი გაღარიბებული ნახშირი აქტივისაციას განიცდის, რის შემდეგაც ისევ სორბციის პროცესს უბრუნდება.

აქტივიზაციის პროცესი ნახშირის გახურებით (593°C) ტარდება. ნახშირის გასახურებლად მცირე ზომის ფოლადის მპრუნავი ღუმელი (ღუმელი არით ხურდება) გამოიყენება. ღუმელში ჩატვირთამდე ნახშირიდან ტენი განიდევნება (40%-მდე). აქტივაციის პროცესში ნახშირი, ძირითადად, იმ კომპონენტებისგან სუფთავდება, რომლებიც ნახშირში მინარეების სახით გადავიდა სორბცია-დესორბციის პროცესების შედეგად. გააქტიურებული ნახშირი ხელმეორედ გამოიყენება.

8.2. ოქროს, ვერცხლის, ხელენისა და ტელურის ამოღება სპილენძის ელექტროლიტური რაფინირების ანოდური შლამებიდან

სპილენძის სულფიდური მადნები თანამდევ ელემენტების სახით ხშირად ოქროსა და ვერცხლს შეიცავს. ამ ტიპის მადნების პირობეტალურგოული გადამამუშავების დროს ოქრო და ვერცხლი პრაქტიკულად მთლიანად გადადის დაუხალასებელ სპილენძში, ხოლო სპილენძის რაფინირების პროცესში ისინი ანოდურ შლამში გროვდება.

ოქროსა და ვერცხლის გარდა შლამების შემადგენლობაში მნიშვნელოვანი რაოდენობით შედის აგრეთვე სელენი და ტელური. ამიტომ ანოდური შლამების გადამამუშავების დროს კეთილშობილ ლითონებთან ერთად სელენი და ტელურიც ამოიღება. სპილენძის ელექტროლიზის ანოდური შლამი სელენისა და ტელურის მიღების ძირითად წყაროს წარმოადგენს.

ანოდური შლამების გამოსავლიანობა დამოკიდებულია ანოდური სპილენძის სისუფთავეზე და, საშუალოდ, ანოდების მასის 0,4-1% შეადგენს. შლამების ქიმიური შემადგენლობა (ფართო ზღვრებში იცლება) პროცენტებში სავარაუდოდ ასეთია: 10-80Cu, 1-45Ag, 0,2-1,5Au, 2-15Se, 0,1-8Te, 0,5-10As, 0,2-15Sb, 1-25Bi, 1-25Pb, 0,2-10Ni, 0,2-2Fe, 2-10S, 0,5-15SiO₂, 0,5-1,5Al₂O₃.

შლამის ძირითადი კომპონენტი – სპილენძი, ფხვნილის სახითაა შლამში. ამ სახით სპილენძი ელექტროლიზის პროცესში ერთვალენტური სპილენძის იონების ორვალენტთან ონებლად გარდაქმნის დროს წარმოიქმნება: $2\text{Cu}^{+} = \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}$. გარდა ამისა, სპილენძი შეიძლება შედიოდეს შლამში ჯართის თხელი ნაწილაკების, სულფიდის (Cu₂S) და სელენიდის (Cu₂Se) სახითაც.

შლამი კეთილშობილ ლითონებს სელენიდებისა და ტელურიდების [Ag₂, CuAgSe, Ag₂Te, (Au,Ag)Te₂] სახით შეიცავს. გარდა ამისა, კეთილშობილი ლითონები ლითონური ფორმითაცაა წარმოდგენილი შლამში. ვერცხლის ნაწილი AgCl-ის სახითაც შედის შლამში.

ტყვია, ძირითადად, წარმოდგენილია სულფატების, არსენატებისა და ანთიმონატების სახით; ტყვიის სულფატი ელექტროლიზის პროცესში წარმოიქმნება; არსენატები და ანთიმონატები, როგორც ჩანს, ანოდურ ლითონში შემაკვალ წოდურ ჩანართებს წარმოადგენს.

შლამში ნიკელი შედის ქვეყანგის, სულფატის და, აგრეთვე, მისი სპილენძთან და ანთიმონთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი რთული ნაერთის (3Cu₂O·4NiO·Sb₂O₃) სახით.

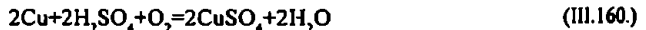
ღარიშხანი და ანთიმონი – As₂O₃·Sb₂O₃-ის და As₂O₃·Sb₂O₃-ის ნაერთებითაა წარმოდგენილი შლამში. ეს ნაერთები წარმოიქმნის ე.წ. „მრტივტივე შლამს“, რომელიც ძალზე ართულებს სპილენძის ელექტროლიზის პროცესს.

შლამი ძირითადად ორი სახის კომპონენტებისგან შედგება. პირველადი კომპონენტები ანოდური შემადგენლობით განიჩქევა, ხოლო მეორადი კომპონენტები ელექტროლიტური პროცესის ჩატარების შედეგად გამოიყოფა. პირველად კომპონენტებს განეკუთვნება ანოდის ჯართის ნაწილაკები, სპილენძის სულფიდი (Cu₂S), წოდური ჩანართები და ა.შ. მეორადი კომპონენტებია: ფხვნილისებრი სპილენძი, კეთილშობილი ლითონები (ოქრო, ვერცხლი), სპილენძის, ვერცხლის და ოქროს სელენიდები და ტელურიდები, ღარიშხან-ანთიმონიანი ნაერთები, ტყვიის სულფატი და ა.შ. ასეთი დაყოფა პირობითია, რადგან შლამების წარმოქმნის მექანიზმი ბოლომდე არ არის დადგენილი.

8.2.1 შლამიდან სელენისა და ტელურის ამოღება.

საილენძის ელექტროლიტური შლამების გადამუშავების თანამედროვე ტექნოლოგიური სქემები დიდი მრავალფეროვნებით განსხვავდება. მაგრამ, ყველა მათგანი გადამუშავების საერთო ეტაპებს შეიცავს – შლამიდან საილენძის მოცილება, ქალკოგენიდებს დათანგვა თერმული დამუშავების გზით, სასაქონლო სელენისა (სელენი – ბერმანულად – Selen – მთერე) და ტელურის (ლათინურიდან – tellus – aris – მიწა, ურანისაგან განსასხვავებლად) მიღება და გამოშვარი შლამის დნობა ერცხლისა და ოქროს შენადნობის მიღების მიზნით.

პირველ რიგში, აუცილებელია საილენძის მაქსიმალური განდევნა შლამიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში, შლამის შემდგომი დნობის პროცესში, ერცხლისა და ოქროს შენადნობის მიღების დროს სერიოზული გართულებები წარმოიქმნება. შლამის მსხვილი ფრაქცია, რომელიც თავისი შემადგენლობით ანოდურ საილენძს უახლოვდება, კლასიფიკაციის მეშვეობით ცალკეედება და ანოდურ დნობაზე ბრუნდება. საილენძის შემდგომი განდევნის პროცესი 10-15%-იან H_2SO_4 გაზავებულ ხსნარში მისი გამოტუტით ტარდება (80-90°C-ზე) პულპის ინტენსიური აერაციით:



ჩარატებული ოპერაციების შედეგად საილენძის შემცველობა შლამში 1-3%-მდე მცირდება.

შლამის გადამუშავების ნებისმიერ ტექნოლოგიურ სქემაში ძირითად ეტაპად ითვლება ქალკოგენიდების დათანგვის ოპერაცია. მისი განხორციელება შესაძლებელია ფანგვითი გამოწეით, მასულფატიზირებული გამოწეით ან სოდასთან შეცხობით.

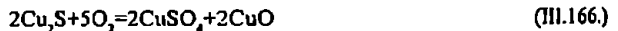
პირველი ხერხის მიხედვით საილენძისგან გასუფთავებული შლამი 700-780°C-ზე ფანგვით გამოწეის პროცესით გადამუშავდება. გამოწეის პროცესში სელენიდები ჰაერის ფანგვადით იფანგება:



მიღებული სელენის დიოქსიდი ორთქლის მაღალი წნევით (100კპას 315°C-ზე) გამოირჩევა და ამიტომ იგი აირად ფაზაში გადადის. სელენის აქროლის ხარისხი 95-97% შეადგენს. განსხვავებით სელენიდებისგან, ტელურიდების დათანგვის შედეგად მდგრადი, არააქროლადი ტელურიტები წარმოიქმნება:



ამიტომ ტელურის ძირითადი მასა ნაწვეში რჩება. ერთდროულად იფანგება აგრეთვე სულფიდები:



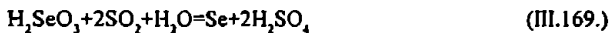
ფანგვითი გამოწეის პროცესი ხშირად მსხტური ტიპის ლუმელებში ტარდება. გამოწეის პროცესი ეზოთერმულია, ამიტომ მასალის გადახურების შემთხვევაში შესაძლებელია მისი ნაწილობრივი გადნობა და, შესაბამისად, სელენის აქროლის ხარისხის შემცირება. ამის თავიდან აცილების მიზნით, დასავუნდავებელ კაზში ინერტული კომპონენტები შეაქვთ (დაქუცმაცებული კაემიწა, საბრუნო ალუმინის პიდროქსიდი). კაზში ლუმელში მცირე პორციებით იტვირთება. ყოველი მოზღვენი კაზმის პორცია ლუმელში მაშინ ჩაიტვირთება, როცა წინა ჩატვირთულ პორციაში სელენიდებისა და ტელურიდების ძირითადი მასის დათანგვა დათავრებულია.

გამოწეის აირები, რომლებიც SeO_2 შეიცავს, შედის სველ აირსაწმენდ კოლექტორში, სადაც სელენის დაჭერა წყლით ან ტუტე ხსნარით ხდება:



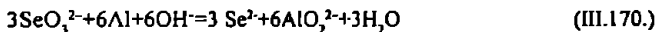
აირში ჩაჩენილი SeO_2 -ის წერილი ნაწილაკები სველ ელექტროსტატიკურ სალექარში დალექება ექვემდებარება.

სელენის წყლით დაჭრის შემთხვევაში მიღებული ხსნარი მარილმჟავათი შემაჯავებს განიცილის და შემდეგ SO_2 -ის ხსნარში შეტანით ხსნარიდან ელემენტური ამორფული სელენი წითელი ფერის ფხენილის სახით გამოილეკება:

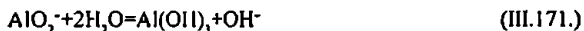


სელენის რუხი ფერის კრისტალურ მოდიფიკაციაში გადაყვანის მიზნით, პულა გახურებას ექვემდებარება $70-75^\circ\text{C}$ -ზე. მიღებული ტექნიკური სელენი 1-1,5% მინარევებს შეიცავს.

ოთხვალენტიანი სელენის აღდგენა SO_2 -ის საშუალებით აქტიურად მიმდინარეობს მხოლოდ მჟავა გარემოში. ამიტომ სელენის ტუტე ხსნარებით დაჭრის შემთხვევაში, სელენის გამოლეკვის სხვა, ე.წ. სელენიდური მეთოდი გამოიყენება. ამ მეთოდში სელენითიონი ჯერ სელენიდად განიცილს აღდგენას ალუმინის ფხენილთან ურთიერთქმედებით:



ხსნარის ტუტეობის შემცირების შედეგად ალუმინატი-იონების ნაწილობრივი ჰიდროლიზი ხდება:



ალუმინის ჰიდროქსიდის ნაღვეი იფილტრება და გამოწევის პროცესს უბრუნდება, ხოლო სელენიდური ხსნარის აერაციით Se^{2-} -ის იონები ელემენტურ სელენაშდე იჟანგება:



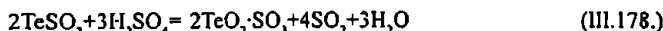
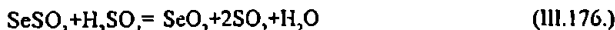
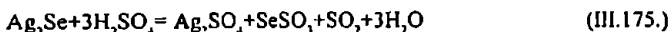
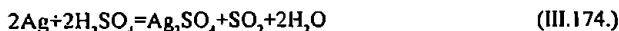
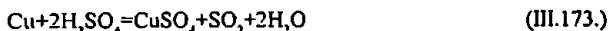
ამ შემთხვევაში სელენის რუხი მოდიფიკაციის კრისტალები ილეკება.

გამოლეკვის პროცესში ტუტე რეგენერირდება, ამიტომ ხსნარი მიემართება ისევ სველი კოლექტორების სისტემაში. ხსნარის ხანგრძლივი ცირკულაციის დროს მასში ბალასტური მინარევები გროვდება (ძირითადად – სულფატები და არსენატები).

ამ მინარევების გამოყვანის მიზნით, ხსნარის ნაწილი მასში დაგროვილი მარილების აორთქლებისა და კრისტალიზაციის პროცესზე მიემართება. მინარევების დაგროვების შესამცირებლად კაშშს ზოგჯერ ემატება კირი, რომელსაც გოგირდი და დარიშხანი თერმულად მდგრად სულფატსა და არსენატში გადაჰყავს და ამით ზღუდავს მათ გადასვლას აირად ფაზაში. კირი ამავე დროს, ხელს უწყობს ვერცხლის ლითონიზაციას, რაც ამ ლითონის კარგვას ამცირებს შემდგომი დნობის დროს.

სელენიდური მეთოდის უპირატესობა ისაა, რომ შესაძლებელი ხდება პირდაპირ რუხი მოდიფიკაციის სელენის მიღება (მინარევების შეშველობა 0,5-1%-მდე).

მასულფატიზირებულა გამოწევა ორ საფეხურზე ტარდება. დასაწყისში სპილენძშემცველი შლაში გოგირდმჟავასთან შერევას ექვემდებარება, შემდეგ, ხურდება $150-300^\circ\text{C}$ -ზე ცილინდრულ მბრუნავ ლუმელში ან მჟავა მდგრად ცეცხლგამძლე მასალით ამოვსებულ ქებაში, რომელიც შემრევით არის დაჭურვილი და წეის აირებით ხურდება. კონცენტრირებულ გოგირდმჟავა ჟანგავს სპილენძს, ვერცხლს, სელენიდებს და ტელურიდებს შემდეგი რეაქციებით:



სულფატიზაცია სელენის დიოქსიდის სუბლიმაციის ტემპერატურაზე (315°C) უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ტარდება და ამიტომ დიოქსიდი სულფატიზირებულ პროდუქტში რჩება.

სელენის დიოქსიდის აქროლის მიზნით მიღებული სულფატური პროდუქტი $500-600^\circ\text{C}$ -ზე იჟანგება. გამოწევა ტარდება კონვეიერულ გამოწევის ლუმელში (მობრავ თუჯის ტაფებში) ან

ცილინდრული ფორმის ღუმელებში. გამოწვის შედეგად სელენის დიოქსიდი ქროლდება, ტელური კი პრაქტიკულად მოლიანად შლამში რჩება.

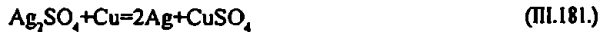
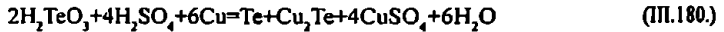
გამოწვის წარმავალი აირები მტვერსაწმენდ სისტემაში შედის, სადაც SeO_2 ერთდროულად ცირკულარული წყლის ხსნარით დიფორება და გამოწვის აირებში შემავალ SO_2 -თან ურთიერთქმედებით ელემენტურ სელენამდე აღდგება:



მტვერდამჭერ სისტემაში მოძრავი ხსნარი საკმაოდ მაღალ ტემპერატურამდე გახურებული, რათა დასაწყისში გამოყოფილი წითელი ამორფული სელენი სწრაფად გადავიდეს რუხ კრისტალურ ფორმაში.

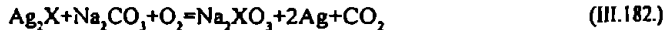
ნარჩენი ნაშენი 10-15%-იან გოგირდმკვანას ხსნარში გამოტუტვას ექვემდებარება. გამოტუტვის პროცესში ხსნარში ვადადის სპილენძი, 70%-მდე ტელური და ვერცხლის მნიშვნელოვანი ნაწილი.

ტელური და ვერცხლი ლითონური სპილენძით დაცემენტებას ექვემდებარება, რის შედეგადაც ტელურ-ვერცხლოვანი კონცენტრატი მიიღება:

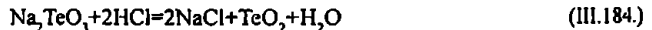


გამოტუტვის შედეგად დარჩენილი ნაშენის გამოდნობით ვერცხლისა და ოქროს შენადნობი მიიღება.

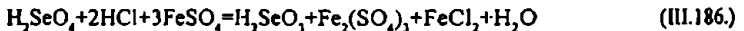
შლამის შეცხოების მეთოდით გადამუშავების დროს სპილენძამოცილილი შლამისა და კალციინებული სოდის ნარევი 500-700°C-ზე ქვედებიან ან შახტურ ღუმელებში გამოწვას ექვემდებარება. შახტურ ღუმელებში გამოწვის წინ კახში წინასწარ გრანულირდება. სელენიდებისა და ტელურიდების დაჟანგვა მიმდინარეობს ოთხ და ექვსვალენტიანი სელენისა და ტელურის წარმოებულთა წარმოქმნით:



შემცხვარი მასის წყალში გამოტუტვის დროს ხსნარში ვადადის წყალში ხსნადი ნატრიუმის სელენიტი და სელენატი. ტელური მხოლოდ ნაწილობრივ ვადადის ხსნარში, რადგან შემცხვარ მასაში შემავალი მისი ორი ფორმიდან მხოლოდ ნატრიუმის ტელურიტია წყალში ხსნადი. ტელურის TeO_2 -ის სახით დალეკის მიზნით მიღებული ტუტე ხსნარი მარილმკვანათი განეიტრალებას განიცდის:



სელენი SO_2 -ის დახმარებით გამოილეკება. გოგირდის დიოქსიდი აღადგენს მხოლოდ ოთხვალენტთან სელენს. ამიტომ ექვსვალენტიანი სელენის დასალექად, იგი ჯერ აღდგენას ექვემდებარება ოთხვალენტთან სელენამდე. აღდგენა HCl -თან ან $FeSO_4$ -სა და HCl -ის ნარეულთან ერთად ტარდება დუდილის პირობებში:



მიღებული ხსნარიდან სელენი SO_2 -ით აღადგენს განიცდის.

ქალკოვანიდების თერმული დაჟანგვის მეთოდთან შეცხოების მეთოდი შედარებით მარტივია. იგი არ საჭიროებს სელენის აირად ფაზაში გადაყვანას და შემდეგ მის დაჭერას. მეთოდის ძირითადი ნაკლოვანებებია: ხსნარების გადამუშავების სირთულე, რაც გამოწვეულია იმით, რომ სელენი ხსნარში ორი ფორმით (IV და VI ვალენტიანი) არის წარმოდგენილი; სხვა მეთოდებთან შედარებით, შეცხოების მეთოდი უფრო ხანგრძლივია. ამ ნაკლოვანების გამო შეცხოების მეთოდის გამოყენება შეზღუდულია.

შლამების გადამუშავების განხილულ სტეპებში ტელურის ძირითადი მასა კონცენტრირდება სოლიან წიდაში, რომელიც თერმულად დამუშავებული შლამების ვერცხლისა და ოქროს შენადნობზე

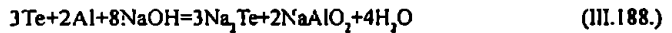
დნობის დროს წარმოიქმნება. წიდა, ტელურის გარდა, მცირე რაოდენობით სელენსაც შეიცავს. წიდაში სელენი და ტელური წყალში ხსნადი ნატრიუმის ტელურიტისა და სელენიტის სახით შედის.

დაქუცმაცებული წილის წყლით გამოტუტვის დროს ტელური და სელენი ხსნარში გადადის, ხოლო მძიმე ლითონების (ტყვია, სპილენძი, ვერცხლი და სხვა) მინარეგები, პულაზე მცირე რაოდენობის Na_2S -ის დამატების შედეგად, სულფიდობის სახით გამოილეკება ხსნარიდან. უხსნადი ნარჩენები ვერცხლისა და ოქროს შენადნობის დნობაზე ბრუნდება, ხოლო Na_2TeO_3 და Na_2SeO_3 -ის ტუტე ხსნარი უხსნადი ანოდების ელექტროლიტურ გადაამუშავებაზე მიემართება. ელექტროლიზი ვინი-ქლასტისგან დამზადებულ მცირე ზომის აბაზანებში ტარდება. ელექტროდებად გამოიყენება კოროზიულად მდებევი ფოლადის ფირფიტები. კათოდზე ძირითადი პროცესი ტელურის აღდგენით მიმდინარეობს:

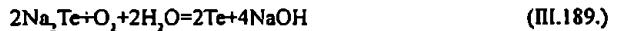


ანოდზე OH^- იონების განმუხტვით აირადი ენაბელი გამოიყოფა. სელენი რჩება ხსნარში, რომელიც სელენის წარმოებაში იგზავნება.

მაღალი სიმჭირდოვის დენის (500 ამპ/მ²) გამოყენების შედეგად კათოდზე ილეკება ფხენილისებრი ტელური, რომელიც აბაზანის ფსკერზე იყრება. მიღებული დაუსხლასებელი ტელური 2-7% მინარეგებს შეიცავს, ამიტომ იგი დამატებით სუფთავდება ე.წ. ტელურიდის მეთოდით, რომელიც ზემოთ აღწერილი სელენიური მეთოდის ანალოგიურია. დაუსხლასებელი ტელური იხსნება ტუტეში, რომელიც აღმდგენის სახით ფხენილისებრ ალუმინს შეიცავს:



მიღებული ტელურის ხსნარის აერაციით ხსნარიდან კომერციული ტელური გამოილეკება:



ამ მეთოდს ფართოდ იყენებენ რუსეთში. დასაყლეითს ქვეყნებში გავრცელებულია ტექნოლოგია, რომლის მიხედვითაც გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარი ვოიერმფაეთი ნეიტრალდება. შედეგად გამოილეკება ტელურის დიოქსიდი. დიოქსიდის ხელმეორედ გახსნისა და გამოლეკვის შედეგად იგი მინარეგებისგან სუფთავდება და ბოლოს, გასუფთავებული ტელურის დიოქსიდი ისევ ტუტე ხსნარში იხსნება. ტელურიანი ხსნარის უხსნადი ანოდების ელექტროლიზით მიიღება კომერციული ლითონური ტელური.

8.2.2. დნობა ოქროსა და ვერცხლის შენადნობზე

მოუხედავად იმისა, თუ რა მეთოდით ამოიღება სელენი და ტელური, შლამების გადამამუშავების ბოლო ეტაპს ოქროსა და ვერცხლის შენადნობზე დნობა წარმოადგენს. ოქროსა და ვერცხლის შენადნობი აფინაციის მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს. დნობის დროს შლამში ჩარჩენილი ტელური სოლიან წიდაში გადადის. ტელურის ამოღების მიზნით წიდა გადაამუშავებას ექვემდებარება.

წინა ეტაპებზე თერმულად დამუშავებული შლამი რთული, მრავალკომპონენტანი შემადგენლობით განირჩევა. ოქროსა და ვერცხლის გარდა, იგი შეიცავს, %: 1-4 – Te, 6-მდე – Se, 5-30 Pb, 2-6 Cu, 13-მდე – Sb, 5-მდე – As, 2-მდე – Bi, 7-მდე – S და 17-მდე სლიციუმის ოქსიდს. ოქრო და ვერცხლის დიდი ნაწილი შლამში ლითონურ მდგომარეობაშია წარმოდგენილი, ხოლო დანარჩენი კომპონენტები დაყბავული ფორმით (ოქსიდები, სულფატები, ტელურიტები, სელენიტები, ანთიმონიტები, არსენიტები, ანთიმონატები, არსენატები და სხვა) შედის შლამში.

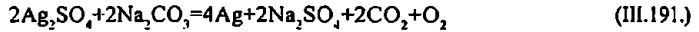
დამუშავებულ შლამს ემატება ფლუსი (სოდა, კვარცი) და მცირე რაოდენობის (შლამის მასის 0,5-1%) აღმდგენი, კოქსის, ზის ნახშირის ან ქვანახშირის სახით. დნობა მცირე ზომის ამრეკლ ლუმელებში ტარდება. ლუმელი მაზუთით ან ბუნებრივი აირით ზურდება. წარმოების მასშტაბებიდან გამომდინარე, გამოიყენება 3-დან – 25 ტ-მდე ტევალიობის ლუმელები (გასაღნობი შლამის მასის მიხედვით). კაზმის ჩატვირთვა ლუმელებში ცალკეულ პირციებად ხდება (კაზმის ჩატვირთვა ბოლომდე გამდნარ ნაღნობში ხდება).

დნობის დაჩქარების მიზნით, ღუმელში ნაღობი შეკუმშული ჰაერის მეშვეობით ირევა. ჰაერის შეშება ნაღობში ფოლადის ბილების საშუალებით ზორციელდება. ღუმელში ტემპერატურა 1300-1400°C აღწევს.

ლითონური ვერცხლი და ოქრო წარმოქმნის შენადნობს, რომელიც ნაღობის სახით ღუმელის ქველზე გროვდება. ვერცხლის ნაერთის ოქსიდური ფორმა იშლება ტემპერატურის ზეგავლენით:



თერმულად მდებარე ვერცხლის სულფატის დაშლას ხელს უწყობს კახში შემავალი სოდა და აღმდგენი:



რეაქციის შედეგად მიღებული ვერცხლი შენადნობში გადადის.

აღმდგენის მეშვეობით ტელურის ძირითადი ნაწილიც აღდგება:



რომელიც აგრეთვე შენადნობში გადადის. შენადნობში მცირე რაოდენობებით გადადის აღმდგენილი სპილენძი, ტყვია და სელენი.

შლამის დაქანებული ნაერთების ძირითადი მასა სოდასთან და კაემიწასთან შედნობით წარმოქმნის ადვილდენად წიდას, რომელიც სილიკატური წილის სახელწოდებით არის ცნობილი. თუმცა სილიციუმის ოქსიდის გარდა, მასში მნიშვნელოვანი რაოდენობით (ხშირად უფრო მეტი რაოდენობით, ვიდრე – სილიციუმის ოქსიდი) შედის ტყვიის, ანთიმონის, დარიშხანის, სპილენძისა და სხვა ლითონების ოქსიდები. ოქსიდური ნაერთების მნიშვნელოვანი ნაწილი, აქროლის მაღალი ხარისხის გამო, არად უახშირად გადადის (ორთქლდება, სუბლიმირდება).

სილიკატური წილის გამოშვების შემდეგ ღუმელში სოდა იტვირთება და ლითონურ ნაღობში ჰაერი შეიბერება. ნაღობში შემავალი ტელური იყანგება და სოდის წილაში გადადის ნატრიუმის ტელურიტის სახით:



ერთდროულად წილაში გადადის სელენი და აგრეთვე მცირე რაოდენობის ტყვია, დარიშხანი და ანთიმონი. ტელურის აქროლის შემცირების მიზნით, ნაღობის გაქრევა შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე (900-1000°C) მიმდინარეობს. ტელურით მდიდარი (20-35% Te) წილის გამოშვების შემდეგ ღუმელში სოდის ახალი პორცია იტვირთება და ტელურის მაქსიმალური რაოდენობით წილაში გადაყვანის მიზნით, ნაღობის ჰაერი გაქრევა ხელმეორედ ხდება. მეორე სოლიანი წილა 10-15% Te-ს შეიცავს. პირველი და მეორე სოლიანი წილები ტელურის ამოღების მიზნით გადაშუშავდება.

დნობის საბოლოო ეტაპზე ნაღობში შეიბერება ჰაერი, რომელიც ჩარჩენილ მინარევებს აწვავს. პროცესი შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე (1200-1250°C) ტარდება, რაც აადვილებს სპილენძის დაქანვას (იგი ძირითადი მინარევეა შენადნობში). წარმოქმნილი წილა (დაქუცმაცებული კაემიწის მცირე დანაბრით) ბლანტი მასის სახით გადმოიღება ნაღობის ზედაპირიდან. მიღებული ვერცხლისა და ოქროს შენადნობი, ე.წ. ღორე-ლითონის შენადნობი, ხის ნახშირის ფენის ქვეშ ყოფნდება (შენადნობში გახსნილი ფანგბადის განდევნის მიზნით) და შემდეგ ზოდებად ჩამოისხმება. მასში ვერცხლისა და ოქროს ჯამური შემცველობა 980-995 სიწვს შეადგენს. ღორე ლითონი ოქროს აფინაჟის ქარხნებში იგზავნება გაქანამუშავებლად.

გარდა ოქროსა და ვერცხლის შენადნობისა, დნობის პროდუქტებს წარმოადგენს სილიკატური და სოლიანი წილა და მტვერი, რომელსაც მტკერდამჭერი კოლექტორებით იჭკერენ. შლამის ძირითადი კომპონენტების განაწილება დნობის პროდუქტებში ნაჩვენებია III.37. ცხრილში.

მონაცემებიდან ჩანს, რომ ვერცხლის ამოღება შლამიდან შესაძლებელია ნაკლებია, ვიდრე – ოქროსი. ეს იმით აიხსნება, რომ განსხვავებით ოქროსგან, რომელიც მხოლოდ ლითონური სახითაა შლამში, ვერცხლის მნიშვნელოვანი ნაწილი (30-50%) დაქანებული ნაერთების (სულფატები, სელენიდები და სხვა) სახით შედის შლამში. მათ შორის თერმულად ყველზე მდგრადი Ag_2SO_4 ვერ ასწრებს

შლამის კომპონენტების განაწილება დნობის პროდუქტებში, %

დნობის პროდუქტები	Au	Ag	Te	Se	Cu	Pb	As	Sb
შენადნობი	99,1-99,5	96,5-98,5	1-2	0,5-0,7	10-20	-	-	-
სილიკატური წილა	0,15-0,25	1-2	10-20	1-3	70-90	60-70	50-70	65-80
სოლიანი წილა	-	-	50-70	20-40	0,5-0,7	0,5-1	5-7	5-7
მტვერი	0,2-0,3	1-3	30-45	50-75	3-5	30-40	25-45	15-30

ბოლომდე დაშლას დნობის პროცესში და როგორც ვერცხლზე უფრო ადვილად აქროლადი და წილაში ხსნადი, იგი საკმაო რაოდენობით გადადის აირად ფაზაში და სილიკატურ წილაში.

ვერცხლის აირსა და წილაში გადასვლის შესამცირებლად უნდა გამოირიცხოს ნადნობის გადახურება და შეიქმნას ვერცხლის ლითონიზაციის პირობები (სადნობ კაზში სიღისა და აღმდგენის შეტანით და კალციუმის ოქსიდის შეტანით ჟანგვითი გამოწვის შლამის კაზში).

ქარხნულ პრაქტიკაში მიღებული მონაცემების მიხედვით, წილები 0,001-0,007% Au და 0,5-0,9% Ag შეიცავს. ძვირფასი ლითონების ამოღების მიზნით, სილიკატური წილები ტყვიისა და სპილენძის ქარხნებში იგზავნება გადასამუშავებლად. არეზიდან დაჭერილ მტვერში ოქროს რაოდენობა 0,01-0,06%, ზოლო ვერცხლისა 5%-ს შეადგენს. მტერის გამოსაუღიანობა გამომდარი შლამის მასის 5-20%-ია. როგორც წესი, მტვერი ტყვიის შემცველობით გამოირჩევა და ამიტომ იგი ტყვიის ქარხანაში იგზავნება გადასამუშავებლად.

მ.3. ოქროსა და ვერცხლის აფინაჟი.

აფინაჟი კეთილშობილი ლითონების მინარეებისგან გასუფთავებას ითვალისწინებს. ოქროსა და ვერცხლის განცალკევება და მათი გასუფთავება აფინაჟის ხერხებით ხორციელდება.

სხვადასხვა საწარმოში მიღებული კეთილშობილი ლითონების წონითი რაოდენობა არ არის დიდი, მაგრამ მიუხედავად ამისა, მათი მაღალი ღირებულება შორ მანძილზე გადაზიდვასაც კი ამართლებს. ამიტომ აფინაჟის ჩატარება ხელსაყრელია ცენტრალიზებულ საწარმოებში უფრო სრულყოფილი დანადგარებისა და საგულდაგულო კონტროლის პირობებში.

აფინაჟის ქარხნების სანედლეულო მასალა დიდი სხვადასხვაგვარობით გამოირჩევა. ოქროს ძირითადი მასა ქარხნებში შედის შენადნობების სახით. შენადნობები მიიღება ისეთი მასალების გადამუშავებისა და დნობის შედეგად, როგორცაა: ოქრო-თუთის ნალექები, ამაღვამის აორთქლების შემდეგ დარჩენილი დაუხალასებელი ოქრო, შლიხის [გერმანულად schlich – მძიმე მინერალების ნარჩენი (კონცენტრატი), რომელიც, როგორც წესი, ქვიშრობის ქვიშის ჩარეცხვის დროს მიიღება] ოქრო, რომელიც ქვიშრობებისა და მადნების გამდიდრებით მიიღება, აგრეთვე თიომაროვანას რეგენერატების კათოდური დაუხალასებელი ოქრო. ჩამოთვლილი მასალების ქიმიური შედგენილობა რთულია. ოქროსა და ვერცხლის გარედა, მათ შემადგენლობაში მინარეების სახით შედის სპილენძი, ტყვია, ვერცხლისწყალი, დარიშხანი, ანთიმონი, კალა, ბისმუტი და სხვა ელემენტები. მინარეების შემცველობა შეიძლება 200-სა და უფრო მეტ სიჩქარე შეადგენდეს (სინჯი მეტრულ სისტემაშია წარმოდგენილი).

ვერცხლი, ძირითადად, შედის აფინაჟზე მძიმე ფერადი ლითონების ქარხნებიდან ვერცხლისა და ოქროს შენადნობების (დორე-ლითონი) სახით და სპილენძის ელექტროლიტური შლამის გადამუშავების შედეგად მიღებული შენადნობების სახით. ეს შენადნობები, ძირითადად, ოქროსა და ვერცხლს შეიცავს, მათი ჯამი 97-99%-ს შეადგენს.

გარდა ჩამოთვლილი ნედლეულის სახეობებისა, აფინაჟის ქარხანაში შედის აგრეთვე სხვადასხვა შენადნობები, საყოფაცხოვრებო და ტექნიკური ჯარითი, მონეტები და და ა.შ. ზოგიერთი სახის ნედლეული, შეიძლება შეიცავდეს შნიშენლოვანი რაოდენობით პლატინასა და პლატინოიდებს.

აფინაჟის ქარხანაში შესული ნედლეულის ცალკეული პარტიების გასამუშავებისა და მოსინჯვის მიზნით, მასალები ე.წ. მიმღებ დნობას ექვემდებარება. დნობა ტარდება გრაფიტის ტივლებში ინდექსური ლუმპლების გამოყენებით. მსხვილი აფინაჟის ქარხნებში ტივლების ტევალბა 250-300 კგ ოქროს შეადგენს.

კეთილშობილი ლითონების დანაკარგების მინიმუმამდე დაყვანის მიზნით, დნობა წიფის ფენის ქვეშ ტარდება. ფლუსის სახით გამოიყენება სილა ან ბურაკი (ნატრიული ლითონის მასის 1,5-3%). ოქროსა და ვერცხლის შენადნობების დნობა ტარდება 1200°C-ზე, ხოლო ვერცხლის დნობა 1040-1060°C-ზე).

აფინაჟი მეთოდებიდან გამოდინარე, გამდნარი ლითონიდან ან შენადნობებიდან ჩამოსისხება სხვადასხვა ფორმის სხმულეები. ელექტროლიტური მეთოდის გამოყენებისას ანოდები ჩამოსისხება, სხვა შემთხვევაში კი – ზოდები.

ვინაიდან აფინაჟის ქარხანაში შესული ოქრო-ვერცხლის შენადნობი შეიცავს თუთიას, ტყვიას, სპილენძს, პლატინასა პალადიუმს და სხვა მინარევებს, იგი ლიკვაციას განიცდის, რის გამოც ძნელდება მისი მოსინჯვა. ამიტომ, შეცდომის თავიდან აცილების მიზნით, სინჯის აღება უშუალოდ ლუმენიდან ხდება; ლუმენში მაღალი სიხშირის დენით ნადნობი კარგად ირევა. აღებული სინჯი თხელი სხმულეების სახით ჩამოსისხება ბოყვებში. ასეთი სხმულის ჩქარი გაცილება საკმაოდ ერთგვაროვანი შენადნობის მიღებას უზრუნველყოფს. სინჯი ბურბუშულას ან ნაქლიბის სახით ექვემდებარება ანალიზს. ანალიზების ჩატარება და მათი შედეგები ქარხანაში შესული კეთილშობილი ლითონების რაოდენობის აღრიცხვისა და მიწოდებულთან ანგარიშსწორებისთვისაა აუცილებელი.

აფინაჟი შეიძლება ჩატარდეს სხვადასხვა მეთოდით. ქლორიდება იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როცა შენადნობში ოქროს სინჯი 600-700°C-ს აღმატება. აფინაჟის მეორე, ძველი ხერხი აზოტბაჟაში ვერცხლის გასწავსა და ამასთან ოქროს უხსნადობას ემყარება. აფინაჟის ეს ხერხი ამჟამად გამოიყენება, როგორც მხოლოდ დამხმარე ოპერაცია მინარევების ძირითადი მასის განდევნის მიზნით ელექტროლიზის წინ. თანამედროვე პრაქტიკაში ყველაზე დასვეწვილ და ფართოდ გაერელებულ აფინაჟის მეთოდად ელექტროლიზი ითვლება.

8.3.1. აფინაჟი დაქლორებით

დაქლორების პროცესის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ არაკეთილშობილი ლითონები და ვერცხლი აირაფი ქლორით უფრო ადვილად იჟანგება, ვიდრე – ოქრო. დაუხალასებელი ოქროს ნადნობში აირადი ქლორის გაქრევისას ქლორი, პირველ რიგში, არაკეთილშობილ ლითონებთან და ვერცხლთან ურთიერთქმედებს, ხოლო ოქროსა და პლატინის ჯუფის ლითონებთან ბოლოს შედის რეაქციაში. ქლორთან რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი არაკეთილშობილი ლითონებისა და ვერცხლის გამდნარი ქლორიდები არ იხსნება ოქროში და დაბალი სიმკვრივის გამო მის ზედაპირზე ტივტივებს.

ქლორიდული პროცესი ფართოდ გამოიყენება სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკაში. აფინაჟზე შემოსული ლითონი 86-90% Au-სა და 11% Ag-ს შეიცავს. ძირითადი მინარევების სახით, მასში შედის სპილენძი, ტყვია, რკინა, თუთია. პროცესი ტარდება კორუნდით ამოვსებული გრაფიტის ტივტებში. ტივტების გახურება ინდუქციურ ლუმენებში ხორციელდება. ტივტელში, რომელიც 500 გ ოქროს იტევს, თავსდება დაუხალასებელი ლითონის ზოდები. წიფის წარმოქმნის მიზნით, ტივტელში მცირე რაოდენობით იტვირთება ბორაკი, კაჟმიწა და ნატრიუმის ქლორიდი. წარმოქმნილი წიფის თხელი ფენა ამცირებს ლითონის აქროლას და ტივტელის კედლებს კოროზიისაგან იცავს.

ლითონის გადნობის შემდეგ ტივტელის სახურავიდან ნადნობში ჩაშვებული ერთი ან ორი ფაიფურის მილის საშუალებით ნადნობს აირადი ქლორი მიეწოდება. პროცესი 1150°C-ზე ტარდება. პირველად რკინის, თუთიისა და ტყვიის დაქლორება ხდება. ქლორიდები, რომლებსაც დუღილის დაბალი ტემპერატურა გააჩნიათ, ნაწილობრივ აქროლას განიცდის და ნაწილობრივ ლითონის ნადნობის ზედაპირზე გროვდება. ქლორიდების აქროლა ნადნობის ინტენსიურ თუხთუხს იწვევს, ამიტომ ამ დროს ქლორის მიწოდება ნული სინქარით ხდება.

რკინის, თუთიისა და ტყვიის ძირითადი მასის დაქლორების შემდეგ სპილენძი და ვერცხლი იწყებს ურთიერთქმედებას ქლორთან. ვერცხლისა და სპილენძის ქლორიდების დუღილის ტემპერატურა უფრო მაღალია, ვიდრე დაქლორების პროცესის ტემპერატურა, ამიტომ $AgCl$ და $CuCl$ ტივტელში რჩება და ოქროს ნადნობის ზედაპირზე გამდნარი ქლორიდების ფენას წარმოქმნის. ლითონის ზედაპირზე ამოტივტივებული ქლორიდებისა და წიფის გადნობა იწვევს დროდადრო გადმოვლებას ექვემდებარება, ლითონის ნადნობში კი ფლუსის ახალი პორცია შეაქვთ. დაქლორების პროცესის ბოლოს ნადნობში შეტანილი ქლორის რაოდენობას ამცირებენ. პროცესის დამთავრება ქლორის

მიწოდებულ მიღებზე ოქროს ყვითელი ნაფიფისა და ნაღნობის თავზე წითელი ბოლის გამოჩენით დგინდება (წითელი ფერის ბოლი ოქროს ქლორიდის წარმოქმნასა და მის აორთქლებასზე მიუთითებს). დაქლორების პროცესის დამთავრების შემდეგ ლითონის ზედაპირიდან განიდევნება ქლორიდებისა და წილის ნარჩენები, ხოლო გასუფთავებული ოქროს ნაღნობი ზოდებად ჩამოისხმება.

პროცესის შედეგად მიღებული ქლორიდებისა და წილის ნარევი საკმაო რაოდენობის წატაცებული ოქრო რჩება. ამიტომ ნარევის სპეციალური გადამუშავებით ჩარჩენილი ოქრო (აგრეთვე ვერცხლი) ამოიღება.

დაქლორებით აფინაჟი ელექტროლიზზე უფრო მარტივი და იაფია და მისი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი სისუფთავის მქონე ოქროს რაფინირებისთვის, მაგრამ დაქლორებით მიღებული ოქრო არ არის მაღალი სისუფთავის (როგორც წესი, 995-996 სინჯისა). ასეთი სისუფთავის ლითონი მხოლოდ სამონეტო მიზნებისთვის გამოიყენება და იგი ვერ აკმაყოფილებს თანამედროვე ტექნიკის მოთხოვნებს.

დაქლორებით აფინაჟის მეთოდის ნაკლად ითვლება აგრეთვე ვერცხლისა და პლატინის ჯგუფის ლითონების (იმ შემთხვევაში, თუ საწყისი ნედლეული შეიცავს ამ ლითონებს) კარგვა. პლატინა და პლატონოიდები ოქროში რჩება.

მ.3.2. ვერცხლის აფინაჟი ელექტროლიზით

ვერცხლის აფინაჟი ელექტროლიზით ტარდება შენადნობებზე (დორე-ლითონზე), რომელთა ოქროს სინჯი 350-ზე ნაკლებია. შენადნობიდან ანოდების ჩამოსხმამდე, არაკეთილშობილი ლითონების მინარევების განდევნის მიზნით, თხევადი შენადნობი ჰაერით გაქრევას ექვემდებარება.

ელექტროლიტის სახით აზოტმჟავა ვერცხლის 1-3%-ანი ხსნარი გამოიყენება. ხსნარი შემყავებულია აზოტმჟავათი (0,5-1%).

ანოდური განხის დროს ხსნარში გადაის ვერცხლი, სპილენძი, ტყვია, ბისმუტი და სხვა მინარევები. ოქრო გამოიყოფა ფუნელივებრი შლამის სახით. შლამი მინარევების სახით შეიცავს პლატინას და პლატინოიდებს, სელენს, ტელურს, გოგირდს და ელექტროლიტში უხსნად სხვა მინარევებს. ვერცხლის ელექტროლიზის პროცესი შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$Ag(\text{კათოდი}) | AgNO_3, HNO_3, H_2O, \text{მინარევები} | Ag \text{მინარევებით (ანოდი)}$

ანოდის ელექტროქიმიური განხის დროს ვერცხლი ხსნარში გადაის:



უფრო ელექტროდადებითი პოტენციალის მქონე მინარევები (ოქრო, პლატინა, პალადიუმი) ხსნარიდან შლამის სახით გამოიყოფა. ყანგბადის გამოყოფა ანოდზე პრაქტიკულად გამორიცხულია, ვინაიდან მჟავა ხსნარში მისი ნორმალური პოტენციალი ვერცხლის პოტენციალზე ბევრად დადებითია. კათოდზე მიმდინარე ძირითადი პროცესი ვერცხლის იონების აღდგენას ითვალისწინებს:



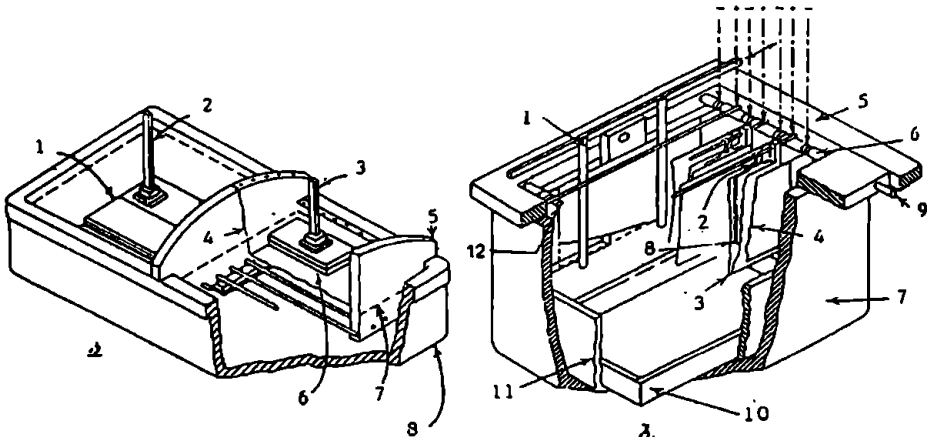
ვერცხლი ერთ-ერთი ყველაზე ელექტროდადებითი ლითონია. ამიტომ დენის მაღალი სიმჭიდროვის დროსაც კი მინარევების უმეტესი ნაწილის განმუხტვა კათოდზე გამორიცხულია. წყალბადის გამოყოფა კათოდზე თეორიულად შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ელექტროლიტში ვერცხლის კონცენტრაცია ძალზე დაბალი იქნება, რასაც პრაქტიკაში არასდროს ადგილი არა აქვს. ვერცხლის ელექტროლიზი ორი ტიპის ელექტროლიზითორში (აბაზანაში) შეიძლება ჩატარდეს (სურ. III.91^ა). აბაზანები პრინციპულად იმით განსხვავდება, რომ ერთში (თამის აბაზანა) ანოდები პორიზონტალურადაა განლაგებული (სურ. III.91^ა), ხოლო მეორე ტიპის აბაზანას (მოებიუსის აბაზანა) ვერტიკალურად მიმართული ელექტროდები გააჩნია (სურ. III.91^ბ). უჯრედებად დაყოფილი, შემირული კვრამიკის აბაზანები მცირე ზომისაა. სუფთა ვერცხლის ნალექისა და ოქროს შლამის ერთმანეთთან შერევის თავიდან აცილების მიზნით, ანოდის უჯრედები ქსოვილის ტომრებშია მოთავსებული.

თამის აბაზანაში (სურ. III.91^ა), რომლის სიგრძე 1,3, სიგანე – 0,6 და სიღრმე 0,3 მ-ია, გრაფიტის ბლოკებით ამოგებული ძირი კათოდის როლს ასრულებს.

შენადნობიდან (დორე-ლითონი) ჩამოსხმული ანოდის (ფართობი 30 სმ², სისქე - 12,5 მმ) რამდენიმე ფენა (4-5) ანოდის უჯრედში თავსდება ცრუძირის მქონე ქვეშეზე, რომელიც გარემორტყმულია საფილტრე ქსოვილით (ტერილენი, კაპრონი). ანოდების ფენასა და კათოდზე დაყენებულია განიერფენიანი ვერცხლის „შანდლის“ ელექტროდები. აბაზანაზე მოდებული მუდმივი დენის ძაბვა 3-დან 5 ვოლტამდეა. ელექტროდებს შორის დიდი მანძილის (100-120 მმ) გამო, ამ ტიპის აბაზანებზე ძაბვა შესაძრველად არღა, ვიდრე აბაზანებზე ვერტიკალური ელექტროდებით. ვინაიდან ელექტროლიტის იბულებითი არევა სრდება, კათოდი შესაძრველი პოლარიზაციის პირობებში მუშაობს. შედეგად NO⁻ იონების აღდგენის ინტენსიფიკირება ხდება და გამოსავალი, დენის მიხედვით 87-93%-მდე მცირდება. ელექტროლიტის პროცესში აბაზანის ძირზე განლაგებულ კათოდზე დღე-ღამის განსაელობაში ხსნარიდან თავისუფალი კრისტალების სახით 9,5 კგ-მდე ვერცხლი ილეკება. ოქრო, პლატინა, პალადიუმი და სხვა მინარეები, შავი ფერის შლამის სახით ქვეშეზე გადაკრულ ქსოვილზე გროვდება; შლამი დროგამოშეებით ამოიღება ანოდის უჯრედიდან და ოქროს ელექტროლიტზე იგზავნება. კათოდის ზედაპირიდან ამოიღებული ვერცხლის კრისტალები ნახშირის ფენის ქვეშ დნობას განიცდის, რის შედეგადაც ნაღობიდან მცირე ზომის ზოდები ჩამოსხმება. მოდებული ვერცხლის სინჯი +999 შეადგენს.

ეს აბაზანები (ელექტროდების პოროზონტალური განლაგებით) გამოირჩევა ანოდების სრული ამოქვებით, მოწყობილობის სიმარტივითა და მომსახურების მოხერხებულობით. ამ ტიპის აბაზანის ნაკლს წარმოადგენს ელექტროენერჯიის გაზრდილი ხარჯევა.

მობიუსის აბაზანა (სურ. III.91^ბ), რომელშიც ელექტროდები ვერტიკალურად არის განლაგებული, კერამიკისგან ან პლასტიკატისგან მზადდება. ერთ მცირე ზომის აბაზანაში ოთხი ანოდი და ხუთი კათოდი თავსდება. ოქროსა და ვერცხლის შენადნობისგან (დორე-ლითონი) ჩამოსხმული ანოდის სიმაღლე - 43, სიგანე - 21 და სისქე 2,5 სმ-ია, ხოლო ტიტანისგან ან უჟანგავი ფოლადისგან დამზადებული კათოდის სიმაღლე 50, სიგანე - 38 და სისქე - 0,15 სმ-ს შეადგენს. ანოდები და კათოდები ვერტიკალურადაა დაკიდებული აბაზანაში. ოქროშემკველი უხსნადი შლამის მოგროვების მიზნით, ანოდები ქსოვილის ტომობშია მოთავსებული. ანოდები და კათოდები მულტიპლის სისტემათა მიერთებული ელექტროსალტებებთან. აბაზანაზე მოდებული ძაბვა 1,5-2,7 ვოლტს შეადგენს. დენის გაელის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე ელექტროლიტი 30-50°C-მდე ითება. პროცესის



სურ. III.89. ვერცხლის ელექტროლიტის ნახატარბელი აბაზანები.

ა - პორიზონტალური ანოდებით; ბ - ვერტიკალურა ელექტროდებით.

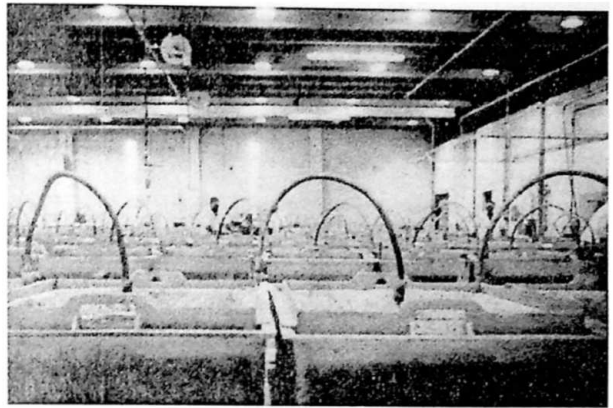
ა - 1 კათოდი 2 კათოდის დენმამყვანი; 3 ანოდის დენმამყვანი; 4 ქსოვილის ტომარა (საფილტრე ქსოვილი); 5 ანოდის ჩარჩო; 6 ანოდის ფენები; 7 ხსნარის დინი; 8 კერამიკის აბაზანა.

ბ - 1 წინა და უჟანგ ღეროები; 2 ანოდის კაუჭი; 3 ანოდის ტომარა; 4 კათოდის ფილტრე; 5 ასაწყვე ჩარჩო; 6 ანოდატორები; 7 კერამიკის აბაზანა; 8 ანოდა; 9 კათოდის ელექტროსალტე; 10 კათოდური ჩამოსაყვარის შეგრები ჯამბ; 11 ხსნ ჩარჩო; 12 ანოდის ელექტროსალტე.

ნორმალურ რეჟიმში სელის დროს გამოსავალი, დენის მიხედვით, 94-96%-ის ტოლია. ვერცხლის ნიტრატული ხსნარი 150გ/ლ AgCl -ს შეიცავს pH-ის 1-1,5 მაჩვენებელზე.

ანოდის ტომრებიდან ოქროშემცველი შლამი კვირაში ორჯერ ამოიღება. კათოდზე გამოლექილი ვერცხლის ანოდთან შეხების (ვერცხლის ნალექის შეხება ანოდთან აბაზანაზე მოკლე ჩართვას გამოიწვევს) თავიდან აცილების მიზნით, კათოდთან ვერცხლი რვეულარულად ჩამოიღება. კათოდთან ჩამოღებული ვერცხლი შემკრებ ჯამში (სურ. III.91^ბ) გროვდება. მიღებული ვერცხლის სინჯი 999-999,8 შეადგენს.

ვერცხლის რაფინირების უბანი, რომელშიც 100-ზე მეტი ელექტროლიტური აბაზანა განლაგებული, ნაჩვენებია III.92. სურათზე.



სურ. III.92. ვერცხლს ელექტროლიზის უბანი

8.3.3. ოქროს აფინაჟი ელექტროლიზით

ოქროს ელექტროლიზის საწყის ნედლეულს ვერცხლის ელექტროლიზის შედეგად წარმოქმნილი ოქროშემცველი შლამიდან ან მიმღები დნობის შენადნობებიდან გამომდარი ანოდები წარმოადგენს. ვერცხლის სინჯი ანოდებში 200-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

ელექტროლიტად იხმარება 7-10%-ანი ოქროს ხსნარი AuCl -ის სახით (ხსნარი შემგაყვებულა გოირდმეყავათი). ხსნარი ცალკეულ დიფრაგმთან აბაზანებში შზადდება მარილმეყავაში სუფთა ოქროს ანოდური ვახსნით. ზოგჯერ ელექტროლიტი ქიმიური გზითაც შზადდება და ოქროს გასახსნელად ბუფის არაყი გამოიყენება. ხოლო ამის შემდეგ, აზოტმეყავას ვანდენის მიზნით, ხსნარი გამოორთქლას ექვმდებარება. ელექტროლიზის პროცესში ხსნარში გადასული ოქრო (ანოდის ვახსნის შედეგად) კათოდის ფუჭზე ილექება მჭიდრო და მტკიცე ნალექის სახით, ხოლო ვერცხლი ქლორიდის ნალექის სახით გამოიყოფა.

ოქროს ელექტროლიზის პროცესი სქემატურად შემდეგნაირად შეიძლება გამოისახოს:



ოქროქლორიწყალბადმეყავა ძლიერი მეყავა და იგი ბოლომდე იონებად დისოცირდება:



თავის მხრივ, AuCl_4^- ნაწილობრივ დისოციაციას განიცდის და შედეგად Au^{3+} კათიონი წარმოიქმნება:



თუმცა, ამ კომპლექსის დისოციაციის მუდმივა ძალზე დაბალია:

$$K_{\text{e}} = \frac{[\text{Au}^{3+}][\text{Cl}^-]^4}{[\text{AuCl}_4^-]} = 5 \cdot 10^{-22}, \quad (\text{III.199.})$$

ანუ რეაქცია (III.198.) მარცხნივ არის გადანაცვლებული. ვინაიდან მეყავა ხსნარში AuCl_4^- ჰიდროლიზის პრაქტიკულად არ განიცდის შეიძლება, ჩაითვალოს, რომ ოქრო ელექტროლიტში წარმოდგენილია AuCl_4^- ანიონის სახით.

ამრიგად, ოქროს ელექტროლიტური რაფინირების დროს ძირითადი კათოდური პროცესი შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



ამ პროცესის სტანდარტული პოტენციალი +0,99ვოლ. შეადგენს და ამიტომ წყალბადის აღდგენის პროცესი პრაქტიკულად არ ვითარდება.

ანოდური შენადნობის გახსნისას კი ოქრო ხსნარში გადადის. ვინაიდან ქლორისა და ვანგბადის სტანდარტული პოტენციალები უფრო მეტად ელექტროდადებითია, ვიდრე ოქროს პოტენციალი, მათი გამოყოფა ანოდზე, ელექტროლიზის ნორმალურ პირობებში, შეუძლებელია. თუმცა, ოქროს ანოდური ქცევის დამახასიათებელ და მეტად მნიშვნელოვან თავისებურებას მისი პასივაციისკენ (ქიმიურად აქტიური ოქროს გადასვლა პასიურ მდგომარეობაში) მიდრეკილება წარმოადგენს. ოქროს პასიურ მდგომარეობაში გადასვლით ანოდის გახსნის პროცესი წყდება, მისი პოტენციალი დადებითი მხარისკენ იხრება და აღწევს სიდიდეს, რომლის დროსაც შესაძლებელი ხდება აირადი ქლორის გამოყოფა.

პასივაციის მოვლენა შეტისშეტად არასასურველია; ანოდზე, ოქროს გახსნის სასარგებლო პროცესის ნაცვლად, ვითარდება მაგნე პროცესი – ქლორის იონების დაჟანგვა, რაც ელექტროლიტის ოქროთი გაღარიბებასა და საამქროს ატმოსფეროს მოწამვლას იწვევს.

ოქროს პასიურ მდგომარეობაში გადასვლა ელექტროლიტის ტემპერატურასა და მასში მარილმჟავას კონცენტრაციაზეა დამოკიდებული. მაგალითად, HAuCl_4 -ის 0,1 მოლ. ხსნარში, რომელიც თავისუფალ მჟავას არ შეიცავს, ოქრო 20°C -ზე პასურდება მაშინ, როდესაც იგივე ხსნარში, რომელიც $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ HCl -ს შეიცავს, ოქრო აქტიური რჩება 1500ამპ/მ^2 დენის სიმჭიდროვეზე. ამიტომ, ოქროს პასიურობის თავიდან აცილების მიზნით, აუცილებელია საკმაოდ მაღალი მჟავიანობისა და ვაზრდილი ტემპერატურის შენარჩუნება ელექტროლიტში. ელექტროლიტში მარილმჟავას კონცენტრაციის გაზრდა და ელექტროლიტის ტემპერატურის გადიდება არა მარტო ოქროს პასივაციის თავიდან აცილების საშუალებას იძლევა, არამედ ასეთ პირობებში ელექტროლიტის ელგამტარობა იზრდება და, მამასადავ, მცირდება ელექტროენერჯიის ხარჯევა.

ოქროს ელექტროლიზის მეორე, მეტად მნიშვნელოვანი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ანოდის გახსნის დროს ოქრო არა მარტო AuCl_4^- ანიონის სახით, არამედ AuCl_2^- ანიონის სახითაც გადადის ხსნარში:



მაგრამ, ვინაიდან ერთვალენტიანი ოქროს ელექტროქიმიური ექვივალენტი სამვალენტთან ოქროზე მეტია, გამოსავალი, დენის მიხედვით სამვალენტთან ოქროზე გათვლით 100%-ზე მეტი გამოდის.

მსგავსად იმისა, როგორც ეს სპილენძის ელექტროლიზის ცნობილ პროცესში ხდება, AuCl_4^- -ისა და AuCl_2^- ანიონების შორის წონასწორობა მყარდება:



მაგრამ, ამ რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა, Cu^{2+} და Cu^+ იონების შორის ანალოგიური რეაქციის წონასწორობის კონსტანტისაგან განსხვავებით, ბევრად ნაკლები სიდიდისაა. ამიტომ AuCl_2^- ანიონების კონცენტრაცია ელექტროლიტში საკმაოდ დიდია და AuCl_4^- ანიონების კონცენტრაციის თანახმადია. შედეგად კათოდზე არსებითად ვითარდება AuCl_2^- -ის აღდგენის პროცესი:



რის გამოც გამოსავალი, დენის მიხედვით, სამვალენტთან ოქროზე გადათვლით აგრეთვე 100%-ს აჭარბებს.

ელექტროლიტური რაფინირების რეალურ პირობებში ანოდზე წარმოქმნილი AuCl_2^- ანიონების კონცენტრაცია წონასწორობულ სიდიდეს აჭარბებს და ამიტომ ზემოთ მოყვანილი დისპროპორციების რეაქცია მარჯვნივ გადაინაცვლებს და ოქროს ნაწილი წმინდა ფხენილის სახით ანოდურ შლამში

გამოილეკება. შლამიდან ოქროს ამოღება დამატებითი ოპერაციების ჩატარებასთან არის დაკავშირებული და ამიტომ, უმჯობესია ფხვნილისებრი ოქროს წარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად ზომების მიღება. პრაქტიკით დადგენილია, რომ ოქროს შლამში გადასვლა დენის სიმჭიდროვის გაზრდით შეიძლება შემცირდეს.

და ბოლოს, ოქროს ელექტროლიტური რაფინირების მესამე დამასასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ ელექტროლიზი ცვალებადი ასიმეტრიული დენის გამოყენებით ტარდება. ამისათვის მუდმივი დენის გენერატორთან თანმიმდევრობით ჩართვება ცვალებადი დენის გენერატორი. ცვალებადი დენის ელექტრომაგნიტური ძალა ოდნავ აჭარბებს მუდმივი დენის ელმაგნიტურ ძალას. ოქროს ელექტროლიტური რაფინირების პროცესი ნოლივილის სახელი ატარებს.

ასიმეტრიული დენის გამოყენების აუცილებლობა ანოდური გახსნის დროს ვერცხლის სპეციფიკური ქცევიდან გამომდინარეობს. ეინაიდან ვერცხლი ბევრად უფრო ელექტროუარყოფითია ოქროზე, იგი ადვილად იფანგება ანოდზე და ვერცხლის უხსნად ქლორიდს წარმოქმნის:



ოქროს ელექტროლიზის მუდმივ დენზე ჩატარების დროს ანოდი ვერცხლის ქლორიდის სქელი ქერქით იფარება, რის გამოც ოქროს გახსნა ჩერდება და ანოდზე აირადი ქლორის გამოყოფა იწყება. ასიმეტრიული დენის გამოყენება ამ არასასურველი მოვლენის თავიდან აცილების შესაძლებლობას იძლევა.

ასიმეტრიული დენით შესაძლებელია ისეთი ანოდების ელექტროლიზი, რომლებიც 20%-მდე ვერცხლს შეიცავს; ამასთან, რაც უფრო მეტი იქნება ვერცხლის შემცველობა ანოდში, მით უფრო მეტი უნდა იყოს $U_{\text{კალ}} : U_{\text{კლ}}^{\cdot}$.

ასიმეტრიული დენის ძალის ჯამური სიდიდე შეიძლება შემდგენიარად გაითვალის:

$$i_{\Sigma} = \sqrt{i_{\text{კალ}}^2 + i_{\text{კლ}}^2} \quad (\text{III.205.})$$

სადაც i_{Σ} ასიმეტრიული დენის ჯამური ძალაა, ამა; $i_{\text{კალ}}$ ცვალ., $i_{\text{კლ}}$ მუდმ. შესაბამისად, ცვალებადი და მუდმივი დენის ძალის შემადგენლებია.

ანალოგიურად შეიძლება გაითვალის ასიმეტრიული დენის ჯამური ძაბვაც.

თუ ვერცხლის შემცველობა ანოდში შუდარებით დაბალია (5-6%), მაშინ ოქროს ელექტროლიზი მარტო მუდმივი დენის გამოყენებით შეიძლება ჩატარდეს. ვერცხლის გარდა, ოქროს ანოდურ შენადნობის შემადგენლობაში, როგრც წესი, შედის სპილენძი, ტყვია, ბისმუტი, ტელური, რკინა, კალა, დარიშხანი, ანთიმონი, პლატინა და პლატინოიდები. ასეთი მრავალკომპონენტანი შენადნობის გახსნის შექმნიში ძალზე რთულია და ამიტომ იგი ბოლომდე არ არის შესწავლილი. სპილენძი ოქროზე უფრო ელექტროუარყოფითია და ხსნარში გადადის; გარკვეული ზღვრის შემდეგ სპილენძის დაგროვება ხსნარში სპილენძისა და ოქროს ერთობლივი განმუხტვის საშიშროებას ქნის. ამიტომ თუ სპილენძი გაზრდილი რაოდენობითაა (2%-ზე მეტი) ანოდში, მაშინ აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ელექტროლიტის ხშირი გამოცვლა. ხსნარში სპილენძის დასაშვები შემცველობა 90 გ/ლ შეადგენს.

კიდევ უფრო ელექტროუარყოფითია ტყვია. იგი ანოდზე პირველ რიგში იხსნება. მისი კონცენტრაცია ხსნარში PbCl_2 -ის ხსნადობით განისაზღვრება. ტყვიის ქლორიდით ელექტროლიტის გაჯერების შემთხვევაში, ანოდზე შეიძლება წარმოიქმნას PbCl_2 -ის მყარი მარილის აფსკი, რომელიც ვერცხლის ქლორიდთან ერთად დაიწყებს გამოლეკვას და ამით ანოდის პასივაციას (ანოდის ქიბურად აქტიური ზედაპირული ფენის გადასვლა პასიურ მდგომარეობაში) გამოიწვევს. თუ ვერცხლისა და ტყვიის ჯამური შემცველობა 13%-ს არ აღემატება, მაშინ ანოდის პასივაცია არ მოხდება.

ბისმუტი, ისევე, როგორც ტყვია, ადვილად იხსნება ანოდზე, თუმცა, მისი 0,3%-მდე შემცველობა ანოდურ შენადნობში ელექტროლიზის პროცესის გართულებას არ იწვევს. თუ ოქროს ანოდურ შენადნობში ერთდროულად 0,6% Bi 0,9% Pb და 12% Ag შედის, მაშინ ანოდი პასივირდება; ანოდი იფარება მჭიდრო აფსკის ფენით, რომელიც ამ ლითონების მარილებიდან წარმოიქმნება. თუ ანოდურ

შენადნობში გოგირდი შედის, მაშინ ტყვიისა და ბისმუტის მცირე რაოდენობაც კი ანოდის ნაწილობრივ ან მთლიან პასივაციას იწვევს. დადგენილია, რომ თუ ანოდურ შენადნობში 3,6-10% Pb და 2-6,9% S შედის, მაშინ ელექტროლიზის დროს იგი გოგირდოვანი ნაერთების მჭიდრო ფენით იფარება, რაც ძალზე ართულებს გახსნის პროცესს. შენადნობები, რომლებიც ~13% Pb, ~3% Bi და ~12% S შეიცავს, საერთოდ არ იხსნება დენით.

ტელური იხსნება ანოდზე და ელექტროლიტში გროვდება. თუ ტელური გაზრდილი რაოდენობითაა ელექტროლიტში, მაშინ კათოდზე გამოიქვლივს ოქროს ხარისხი უარესდება. მაგენ მინარეველ ითვლება აგრეთვე რკინა, რომელიც Fe^{2+} -ის იონების სახით გადადის ხსნარში და ოქროს აღდგენას უწყობს ხელს, აღდგენილი ოქრო კი შლამში ილექება. კალის, დარიშხანისა და ანთიმონის მინარევეები კარგად იხსნება ელექტროლიზის დროს ელექტროლიტურ ხსნარში. მათი მცირე რაოდენობა (0,05%-მდე ანოდურ შენადნობში) ელექტროლიზის შესვლელობაზე პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს.

პლატინა და პალადიუმი ანოდზე იხსნება და შედგება პლატინაქლორწყობადმჭავა და პალადიუმის ქლორიდი წარმოიქმნება. მათი სტანდარტული პოტენციალები დიდად არ განსხვავდება ოქროს სტანდარტული პოტენციალისგან. ამიტომ ხსნარში პლატინისა და პალადიუმის დაგროვების შემთხვევაში, შესაძლებელია მათი გამოყოფა კათოდზე ოქროსთან ერთად. ხსნარში პლატინის დასაშვები კონცენტრაცია 50, ხოლო პალადიუმისა 15 გ/ლ-ია. რუთენიუმი, როდიუმი, ოსმიუმი და ირიდიუმი მთლიანად შლამში გადადის.

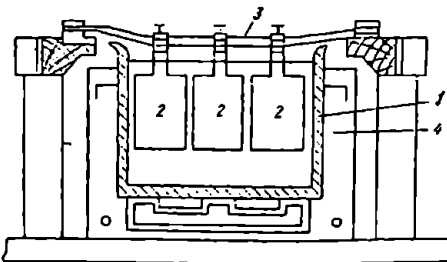
ოქროს ელექტროლიზი მცირე ზომის (20-50 ლ ტვეადობის) ფაიფურის ან ვინილასტის აბაზანებში (სურ. III.93.) ტარდება. კათოდების სახით გამოიყენება 0,25 მმ-ის სისქის ოქროს თურქი, რომელიც სურათ ელექტროლიტური ოქროს გავლინებით მზადდება. სიხისტის მინიჭების მიზნით, კათოდები საეცალურ პრესზე ღარვას ექვემდებარება. აბაზანაში დაკიდებული ანოდის მასა 2 კგ-ს შეადგენს, მისი სიმაღლე - 20, სიგანე - 10, ხოლო სისქე 1,25 მმ-ია. ანოდები შტანგაზე ოქროს ღენტებით იკდება. ელექტროლიტში საჭირო ტემპერატურის (60-75°C) შენარჩუნების მიზნით, ელექტროლიტური აბაზანა წყლის აბაზანაში თავსდება. ელექტროლიტი ირევა ჰაერით, რომელიც ელექტროლიტში შუშის მილებით შედის. ვინაიდან ელექტროლიზის პროცესში ქლორი გამოიყოფა, ელექტროლიტური აბაზანა საეცალურ გამწოვ კარადში თავსდება. კარადის გარეთ დენის მიყვანა სპილენძის საღებებით ხდება, ხოლო კარადის შიგნით დენი, ქლორის აღმოსაფეროში, უფრო მედეგი ვერცხლის საღებებით მიიყვანება. ვერცხლისაგან მზადდება აგრეთვე ელექტროდების დასაკიდი შტანგები.

ელექტროლიტი 70-200 გ/ლ Au-ს და 40-100 გ/ლ HCl-ს შეიცავს. ელექტროლიზი ტარდება ასიმეტრიული დენით, რომლის სიმჭიდროვეა 600-1500 ამპ/მ². ცვალებადი დენის ძალა, როგორც წესი, 10%-ით მაღალია, ვიდრე მუდმივი დენის ძალა. ძაბვა აბაზანაზე 0,5-1 ვოლ. ტოლია. ოქრო კათოდზე ილექება მზინარე, მჭიდრო ნალექის სახით. გამოყენებული დენის სიმჭიდროვიდან გამომდინარე, კათოდები 3-4-ჯერ ამოიღება აბაზანიდან დღე-ღამის განმავლობაში.

კათოდური ოქრო ცხელი წყლით ირეცხება და მარილმჭავაით ან ამიაკით მუშავდება (შემთხვევით მოღებულ ვერცხლის ქლორიდის ნაწილაკების მოცილების მიზნით), შემდეგ კი ისევ წყლით ირეცხება და, შრობის შემდეგ ზოდების ჩამოსხმის მიზნით, ინდუქციურ ლუმელებში დნება. ზოდების სახით მიღებული რაფინირებული ოქროს სინჯი 999,8-999,9 შეადგენს. ოქროს ძირითად მინარევეებს ვერცხლი, სპილენძი და ტყვია წარმოადგენს.

აბაზანიდან გადმოტვირთვის შემდეგ შლამი წყლით ირეცხება. ნარეცხი წყალი აბაზანის შესავსებად გამოიყენება.

შლამი ვერცხლის ბადიან დოლში იტირთება, დოლი კი წყლიან აბაზანაში იძირება. დოლის ტრიალის შედეგად ვერცხლის ქლორიდი ბადის ხერხების გავლით აბაზანაში ჩაირეცხება, ხოლო ანოდური ჯართის ოქროსა და კათოდის



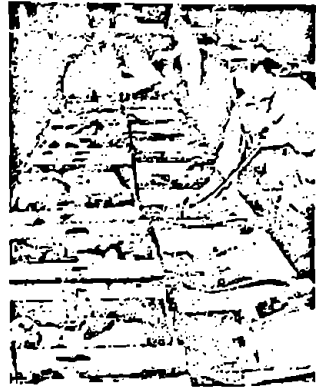
სურ. III.93. ოქროს ელექტროლიზის აბაზანა.

1 ფაიფურის კონარუსა; 2. ანოდები; 3. ანოდების ჩამოსაკიდი შტანგი; 4. წყლის აბაზანა.

დენდრიტული ოქროს მსხვილი ნაწილაკები დოლში რჩება. შრობის შემდეგ ოქროს ნარჩენები ანოდის სადნობ ღუმელში ბრუნდება. ვერცხლის ქლორიდი რკინის ჯართით აღდგენას ექვემდებარება მარილმჟავას არეში. გარეცხვის შემდეგ აღდგენილი ვერცხლი ანოდის სადნობ ღუმელში ბრუნდება და შემდეგ ვერცხლის ელექტროლიზის საამქროში იგზავნება გადასამუშავებლად.

ოქროს ელექტროლიზის დროს, ანოდის სისუფთავიდან გამოძიწარე, ანოდური ჯართის გამოსავლიანობა ანოდის საწყისი მასის 10-დან 20%-ს შეადგენს. ოქროს ელექტროლიზის უბნის ფოტო ნაჩვენებია III.94. სურათზე.

ოქროს ელექტროლიტური რაფინირების პროცესი არა მარტო მაღალი სისუფთავის ლითონის მიღებას უზრუნველყოფს, არამედ იგი პლატინისა და პალადიუმის თანაური ამოღების შესაძლებლობასაც იძლევა, რაც უშუალოდ ოქროს დაქლორებით აფინაჟის დროს.



სურ. III.94. ოქროს ელექტროლიზის უბანი

თავი 9. ალუმინის მეტალურგია

ლითონური ალუმინი ტექნიკის სხვადასხვა დარგსა და საიჯახო ნივთების დასამზადებლად გამოიყენება.

სუფთა ლითონური ალუმინი ფართოდ გამოიყენება ელექტროტექნიკაში. თუმცა, ალუმინის ელგამტარობა დაბალია სპილენძის ელგამტარობასთან შედარებით, მაინც, ზოგიერთ შემთხვევაში ალუმინის გამოყენება გამტარების სახით უფრო ხელსაყრელია. მიუხედავად იმისა, რომ ალუმინისგან დაშლადეული გამტარი სპილენძის გამტართან შედარებით სქელია, იგი მაინც უფრო მსუბუქია, ვიდრე სპილენძის გამტარი (გამტარების ტოლი წინააღობის პირობებში). ამიტომ დიდ სიგრძეებზე საპარო ელექტროგადამცემი ხაზებისთვის ალუმინის გამტარების გამოყენება უფრო მიზანშეწონილია. გარდა ამისა, გენერატორების წონის შემცირების მიზნით, ალუმინის გამტარები გამოიყენება გრავილის სახით ელექტროგენერატორების როტორებში. ელექტროტექნიკაში გამოიყენება აგრეთვე ალუმინის გამოყოფილები, კონდენსატორები და ა.შ.

ქიმიურ მრეწველობაში ალუმინის ჭურჭელში ინახება ოლეინის, სტეარინის, ძმრის და სხვა ორგანული მჟავები. ალუმინისგან დაშლადეული აპარატურა გამოიყენება ცხიმების, სპირტების, ზეთების, ლაქის, ხელოვნური აბრეშუმის, ეთერების, გლიცერინის და ცელულოზის წარმოებაში.

ალუმინის აპარატურა ფართოდ გამოიყენება რძის, საკონდიტრო, ლუდის, შაქრის წარმოებაში, ვინაიდან ალუმინი და მისი ნაერთები უვნებელია. კვების პროდუქტების შესაფუთად ხშირად გამოიყენება ალუმინის კილიტა.

ალუმინისგან მზადდება აევიცი და გამძლე საღებავები.

თანგაბდთან დიდი ნათესაური კავშირის გამო, ალუმინი (ისევე, როგორც სხვა მსუბუქი ლითონები) ოქსიდებიდან მრავალ ლითონს აღადგენს. მაგალითად, ალუმინი (აგრეთვე მაგნიუმი) გამოიყენება, როგორც აღმდგენი იშვიათი და ძნელდნობადი ლითონების წარმოებაში (მაგალითად, ვანადიუმის, ქრომისა და სხვა ლითონების მისაღებად). დაბალი ხარისხის ალუმინი განმეზღვეულად გამოიყენება ზოგიერთი ხარისხის ფოლადებში.

დადებით თვისებებთან ერთად ალუმინს ნაკლიც გააჩნია. მაგალითად, ალუმინი დაბალი მექანიკური და სამსხმელო თვისებებით გამოირჩევა. ამ თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, ალუმინში სხვადასხვა დანამატები შეაქვთ.

ამჟამად ცნობილია ალუმინის რამდენიმე ასეული შენადნობი. ტექნიკაში ყველაზე გავრცელებულია ალუმინის სპილენძთან, მაგნიუმთან და მანგანუმთან შენადნობები, რომლებიც დურალუმინების სახელწოდებით არის ცნობილი, და აგრეთვე ალუმინის სილიციუმთან შენადნობი - სილუმინი.

ალუმინის შენადნობები ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში, თეთიფერინამშენებლობაში, ავტომშენებლობაში და სხვადასხვა სახის საქალაქო, საზღვაო და სარკინიგზო ტრანსპორტის საშუალებების მშენებლობაში.

ალუმინის შენადნობები შიდა წეის ძრავების დასამზადებელ ძირითად მასალას წარმოადგენს.

ალუმინი ყველაზე უფრო გავრცელებული ლითონია დედამიწის ქერქში. მიუხედავად ამისა, იგი პირველად მხოლოდ მე-19-ე საუკუნეში იქნა აღმოჩენილი. სუფთა ალუმინი პირველად დაიწყო ფიზიკოსმა ერნსტდამ მილიო 1825 წელს. მიღებული ალუმინის რაოდენობა იმდენად მცირე იყო, რომ მისი ძირითადი თვისებების განსაზღვრა შეუძლებელი აღმოჩნდა. ალუმინის თვისებების შესწავლა შესაძლებელი გახდა დაახლოებით 20 წლის შემდეგ, როდესაც გერმანელმა ქიმიკოსმა ველერმა საქაო რაოდენობით მიიღო ეს ლითონი. ალუმინის გვიანდელი აღმოჩენის მიზეზი ძირითადად ის იყო, რომ ბუნებაში თავისუფალი ალუმინი (თეთნაბადი) არ მოიპოვება; ალუმინი მხოლოდ ოქსიდის სახითაა წარმოდგენილი, რაც ყანგბადთან მისი დიდი ნათესაური კავშირით არის განპირობებული. ამ თვისებიდან გამომდინარე, ალუმინი (მსგავსად სხვა მსუბუქი ლითონებისა) წარმოქმნის ყანგბადთან მდებ, ძნელად რეცედა ოქსიდურ ნაერთს, საიდანაც ალუმინის გამოყოფა ტრადიციული მეტალურგიული ხერხებით ძალზე გაძნელებულია. სუფთა ალუმინის მიღება მისი ოქსიდის ნახშირბადით აღდგენის გზით არ ხერხდება, ვინაიდან აღდგენის შემდეგ ალუმინი აღმდგენს უერთდება და კარბიდს (Al_4C_3) წარმოქმნის. არ ხერხდება ალუმინის მიღება მისი რომელიმე მარილის წყალხსნარის ელექტროლიზითაც, რადგანაც ალუმინის (სხვა მსუბუქი ლითონების მსგავსად) ყველაზე უფრო ელექტროუარყოფითი ადგილი უკავია ძაბვათა შწკრივში. წყალხსნარიდან ელექტროლიზის დროს კათოდზე ალუმინი კი არა, არამედ უფრო მეტად ელექტროდადებითი წყალბადი გამოიყოფა. თანამედროვე მეტალურგიის მრეწველობაში დაქვიდრებულია ნედლეულიდან ალუმინის მიღების ხერხი, რომელიც წყალბადისგან თავისუფალ, გამდნარ კრიოლიტში (AlF_3 ან $3NaF \cdot AlF_3$) გახსნილი თიხამიწის (Al_2O_3) ელექტროლიზს ითვალისწინებს.

მიწის წიაღში, დაახლოებით, 250 ალუმინის მინერალი მოიპოვება. უფრო ხშირად, ალუმინის ყანგბადთან და სილიციუმთან ნაერთები გვხვდება. ალუმინის საწარმოო მდენებს განეკუთვნება მასის ისეთი ქანები, როგორიცაა ბოქსიტები, ნეფელინები, ალუნიტები და კაოლინები.

მრეწველობაში ყველაზე გავრცელებულ ალუმინის მადანს ბოქსიტი წარმოადგენს. იგი მთის რთული ქანია, რომელშიც შედის: მადნის ძირითადი მასის შემდგენი – ალუმინის ოქსიდების ჰიდრატები; რკინა – ოქსიდების, ოქსიდების ჰიდრატებისა და სილიკატების სახით; სილიციუმი – კვარცის, ოპალასა და კაოლინიტის სახით; ტიტანი – რუტილის სახით; კალციუმი და მანგიუმის კარბონატები და მცირე რაოდენობით აგრეთვე ნატრიუმის, კალიუმის, ცირკონიუმის, ქრომის, ფოსფორის, ვანადიუმის, გალიუმის და სხვა ელემენტების ნაერთები. ბოქსიტების ქიმიური შემადგენლობა ფართო დიაპაზონში იცვლება. ბოქსიტის ხარისხი თიხამიწის (Al_2O_3) და კაემიწის (SiO_2) შემცველობით და აგრეთვე ალუმინის ოქსიდების ჰიდრატების მინერალოგიური ფორმით განისაზღვრება. რაც უფრო მეტია Al_2O_3 და რაც უფრო ნაკლებია SiO_2 ბოქსიტებში, მით უფრო უკეთესია მათი ხარისხი.

ბუნებაში ყველა ყერისა და ელფერის (დაწყებული თეთრიდან და დამთავრებული მუქი-წითელი ფერით) ბოქსიტია წარმოდგენილი. უფრო ხშირად ბოქსიტების სიმკვრივე 1,2-3,5-ის, ხოლო სისაღის 2-7-ის ფარგლებშია. გარეგნული და ფიზიკური თვისებების სხვადასხვაგვარობა ძალზე ართულებს ბოქსიტების ძებნასა და თვალით მათ განსაზღვრას. გარეგნობასთან ერთად, ბოქსიტის დამახასიათებელ განმანსხვავებელ ნიშან-თვისებას მისი წყალთან პლასტიკური მასის წარმოქმნის უნარობა წარმოადგენს.

ბოქსიტსა და თიხის შორის მინერალოგიური განსხვავება ისაა, რომ თიხაში ალუმინი კაოლინიტის ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) და სხვა სახის ალუმოსილიკატებით არის წარმოდგენილი, ხოლო ბოქსიტში – ჰიდროოქსიდების სახით. განსხვავებულია ალუმინის ჰიდროოქსიდების მინერალოგიური – ფორმებიც – ბემიტისა და დაისპორის ქიმიური ფორმულაა $2Al_2O_3 \cdot H_2O$, ხოლო ჰიდრარგილიტის $2Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.

ბოქსიტების გადაამუშავების ტექნოლოგიისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მინერალოგიურ ფორმას, რომლითაც წარმოდგენილია ალუმინი ბოქსიტში. ამიტომ განიჩრევა შემდეგი სახის ბოქსიტური მდენები: ბემიტური, დაისპორული, ჰიდრარგილიტური და შერეული. სამრეწველო ბოქსიტური მდენების საყარულო შემადგენლობა ასეთია: Al_2O_3 -48-62%; SiO_2 -1-7%; Fe_2O_3 - 2-2,4%; TiO_2 -4% და H_2O -10-50%.

სუფთა სახით ნეფელინის (მინერალის სახელწოდება წარმოიშვა ბერძნული სიტყვიდან ნეფელი – ღრუბელი; მგავას ზემოქმედებით კრისტალი მუქდება და კაჟიწა ღრუბლისებრი ხდება) ფორმულა: $(K,N)_{1-2}O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; იგი ნაწილია შიის ქანისა, რომელიც ურტიკამის სახელწოდებითაა ცნობილი. ნეფელინური მადნების წინასწარი მომზადების ერთ-ერთ ზერხს, ზმირად, ფლოტაციური გამდიდრება წარმოადგენს. მაგალითად, აპატიტ-ნეფელინური ქანის ფოსფორიან სასუქებზე გადაშუშების დროს ფლოტაციური გამდიდრების შედეგად აპატიტისა და ნეფელინის კონცენტრაციები მიიღება. აპატიტის კონცენტრატი სასუქების წარმოებაში გამოიყენება, ხოლო ნეფელინის კონცენტრატიდან თიხამიწას რეპროდუცირება.

თანამედროვე ელექტროლიტური ზერხით ალუმინის მისაღებად, გარდა ღიდი რაოდენობის ელექტროენერჯისა, აუცილებელია მინარეებისგან საგულდაგულოდ გასუფთავებული თიხამიწა (როგორც ელექტროლიზის საწყისი ნედლეული), კრიოლიტი (Na_3AlF_6) და ფთორის სხვა მარილები. ასევე საჭიროა მაღალი სისუფთავის ნახშირბადოვანი მასალებისგან დამზადებული ელექტროდები. ყველა ამ მასალის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი საკმაოდ რთულია. ამიტომ, თანამედროვე ალუმინის მრეწველობაში არსებითად ოთხი მსხვილი წარმოება შედის: თიხამიწის წარმოება, კრიოლიტის წარმოება, ელექტროდების წარმოება და საკუთრივ ალუმინის წარმოება.

9.1 თიხამიწის მიღებას ზერხები

ელექტროლიტური ზერხით ალუმინის მისაღებად საწყისი ნედლეულის სახით გამოიყენება მხოლოდ სუფთა თიხამიწა (ალუმინის ოქსიდი – Al_2O_3). ტექნიკური პირობების შესაბამისად თიხამიწაში მინარეები მინიმალური რაოდენობით უნდა შედიოდეს. ასე მაგალითად, SiO_2 -ის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,25%-ს; Fe_2O_3 -ის 0,04%-ს; CaO -ს 0,04%-ს და Na_2O -ს 0,5%-ს.

ასეთი მკაცრი მოთხოვნები განპირობებულია იმით, რომ ალუმინზე უფრო მეტად ელექტროდლებით ნივთიერებები, რომლებიც თიხამიწაში შედის, ელექტროლიზის დროს კათოდზე ილექება და ალუმინის აჭურჭიანებს. ელექტროაზოტოზი ნივთიერების ოქსიდები კი ართულებს ელექტროლიზის პროცესის მსვლელობას და ძვირადღირებული ფთორის მარილების ზედმეტ ხარჯვას იწვევს; ელექტროლიტურ პროცესზე უარყოფითად მოქმედებს აგრეთვე წყალიც, რადგანაც ტენიანი მასალის გამდნარ ელექტროლიტთან შეხებით ელექტროლიტის გაშხუვება და ფთორის მარილების დაშლა იწყება. ამიტომ თიხამიწა არა მარტო მინიმალური რაოდენობით უნდა შეიცავდეს წყალს, არამედ იგი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში წყლის შთანთქმის უნარიანობით უნდა განირჩეოდეს.

ცნობილია თიხამიწის მიღების რამდენიმე ასეული ზერხი. შემოინახაზებული მეთოდების სახით რაოდენობით, ალუმინის ნედლეულის სხვადასხვაგვარობით, მინარეების ხასიათითა და რაოდენობით, აგრეთვე ალუმინის ოქსიდის ტუტე ხასიათით განისაზღვრება.

ყველაზე ცნობილი მეთოდები შეიძლება გაერთიანდეს და დაიყოს სამ ჯგუფად. პირველ ჯგუფში შედის ელექტროთერმული მეთოდები, მეორეში მჟაური და მესამეში ტუტე მეთოდები.

ელექტროთერმულ მეთოდებში მინარეების განდევნისა და მდნარი თიხამიწის მიღების მიზნით, ნედლეული აღმდგენთან ერთად დნობას ექვემდებარება ელექტროდებზე. ელექტროენერჯის ღიდი ხარჯვის გამო, მეთოდმა ფართო გავრცელება ვერ სწავა ალუმინის მრეწველობაში.

მეორე მეთოდებში მადანი ერთ-ერთი მინერალური მჟავით (H_2SO_4 , HCl , HNO_3 ა.შ.) მუშავდება. შედეგად წარმოიქმნება შესაბამისი ხსნადი მარილი $[Al(SO_4)_3, AlCl_3$ და ა.შ.], ხოლო მინარეების ძირითადი მასა უხსნადი ნარჩენის სახით განილენება. ამის შემდეგ, ხსნარის დაშლით ხსნარიდან ალუმინის ოქსიდის ჰიდრატი მყარი ფაზის სახით გამოიყოფა. მოძვენო ეტაზე ჰიდრატის გახურებით სუფთა თიხამიწა მიიღება. მჟაური მეთოდების განსახორციელებლად სპეციალური მჟავაგამძლე აპარატურა საჭიროა. გარდა ამისა, გამოიყენებული მჟავას რეგენერაცია დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. ამიტომ მჟაური მეთოდები ამჟამად პრაქტიკაში არ გამოიყენება.

უფრო რენტაბელიურია ტუტე მეთოდები, რომლებიც ფოლადისა და თუჯის იაფ აპარატურაში ტარდება და რომლებშიც ნახშიარი ტუტე მარტივი ვხით რეგენერირდება.

ამ მეთოდებში მადნები ამა თუ იმ გზით ტუტეთი ($NaOH, Na_2CO_3$) მუშავდება. შედეგად მიიღება წყალში ხსნადი ნატრიუმის ალუმინატი, რომელიც საგულდაგულოდ ცალკედება მინარეების

უხსნადი მყარი მასისგან. ამის შემდეგ ნატრიუმის ალუმინატის დაშლით ალუმინის ოქსიდის ჰიდრატის გამოყოფა ხდება. გარეცხვის შემდეგ, ალუმინის ოქსიდის მიღების მიზნით, ალუმინის ოქსიდის ჰიდრატი გახურებას ექვემდებარება.

ტუტე მეთოდებში ნედლეულში შემაჯალი რკინის, ტიტანისა და კალციუმის ოქსიდური მინარეები არ იხსნება ხსნარში და ადვილად ცალკეედება ე.წ. შლამის სახით. ნედლეულში შემაჯალი კაჟმიწა ადვილად იხსნება ხსნარში, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს გამოტუტვის პროცესზე, ართულებს თიხამიწის მიღებას და ამასთან ტუტეს და თიხამიწის კარგვას იწვევს. გარდა ამისა, კაჟმიწის მინარევი თიხამიწისა და შემდეგ კი თვით ალუმინის გაჟუჭყიანების საშიშროებას ქმნის. ამიტომ ტუტე მეთოდებით გადამუშავებას ექვემდებარება ნედლეული, რომელიც მცირე რაოდენობით შეიცავს კაჟმიწას.

8.1.1. თიხამიწის მიღება ბაიერის ხერხით

ტუტე მეთოდებიდან პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია თიხამიწის მიღების ხერხი, რომელიც ბაიერის სახელს ატარებს.

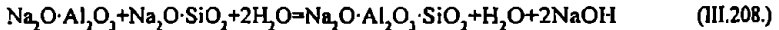
ამ ხერხის პირველი ეტაპი ცნობილია, როგორც გამოტუტვის ან ავტოკლავში ბოქსიტის „ხარვის“ პროცესი. გამოტუტვის პროცესში თიხამიწა მწვევე ნატრიუმთან ურთიერთქმედებს და ხსნარში ნატრიუმის ალუმინატის სახით გადადის:



ხოლო რკინის ოქსიდური მინარევი რჩება უხსნად ნარჩენში, რომელიც წითელი შლამის სახელწოდებით არის ცნობილი. ბოქსიტში შემაჯალი კაჟმიწა ურთიერთქმედებს მწვევე ნატრიუმთან და ნატრიუმის სილიკატის სახით ხსნარში გადადის:



ნატრიუმის სილიკატი ხსნარში ურთიერთქმედებს ნატრიუმის ალუმინატთან და უხსნად ნატრიუმის ალუმოსილიკატს წარმოქმნის:



ამ რეაქციის შედეგად ხსნარი კი სუფთავდება არასასურველი მინარეებისგან (კაჟმიწისგან). მაგრამ, როგორც რეაქტიდან (III.208.) ჩანს, ამ დროს იკარგება მწვევე ნატრიუმი და მდინდან ხსნარში გადასული ალუმინის ოქსიდი. ამიტომ ავტოკლავური მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილია ისეთი ხარისხის ბოქსიტური მადნისთვის, რომელიც შედარებით მცირე რაოდენობით შეიცავს სილიციუმს (5-8%).

ვანადიუმის, ქრომის და გალიუმის ოქსიდური მინარეები, რომლებიც უმნიშვნელო რაოდენობითაა ბოქსიტში, გამოტუტვის დროს ხსნარში გადადის. გადამუშავების შემდგომ ეტაპებზე გალიუმის ოქსიდი ხსნარიდან ადვილად გამოიყოფა და მილგაყვანილობისა და კოდის კედლებზე ჯდება.

ბოქსიტების გამოტუტვის პროცესი ტარდება ჰორიზონტალურ ან ვერტიკალურ ავტოკლავში, რომელიც მაღალ წნევასა და ტემპერატურას (250-300°C) უძლებს. ავტოკლავში ხსნარი მწვევე ორთქლით ხურდება.

პრაქტიკაში მადნის გამოსატუტად სუფთა მწვევე ნატრიუმის ხსნარი არ გამოიყენება, არამედ – საბრუნო ხსნარი, რომელიც საკმაო რაოდენობით შეიცავს ნატრიუმის ალუმინატს. ასეთი ხსნარების მახასიათებელი კაუსტიკური ფარდობა (მოლული) წარმოადგენს. ამ ტერმინის ქვეშ იგულისხმება კაუსტიკური ტუტეს (კაუსტიკური ტუტე – ეს NaOH-ისა და ალუმინატის შემაღვეწლობაში შემაჯალი ტუტეა) თიხამიწასთან მოლეკულური ფარდობა. მაგალითად, თუ ხსნარი, რომელიც გამოტუტვის პროცესში გამოიყენება, შეიცავს 250 გ/ლ კაუსტიკურ ტუტეს და 100 გ/ლ თიხამიწას, მაშინ ასეთი ხსნარის კაუსტიკური მოდულია:

$$\alpha = \frac{\text{Na}_2\text{O}_{\text{კაუსტიკური}}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{250 \cdot 102}{100 \cdot 62} = 3,7 \quad (\text{III.209.})$$

სადაც – 62 და 102 შესაბამისად Na_2O -ს და Al_2O_3 -ის მოლეკულური წონებია.

გამოტუტვის პროცესი შეიძლება პერიოდულ ან უწყვეტ რეჟიმში ჩატარდეს. გამოტუტვის პროცესის რეჟიმი (ხანგრძლივობა, ტემპერატურა, წნევა, თხევადი – მყარის ფარდობა და ა.შ.) ბოქსიტის თვისებებზეა დამოკიდებული.

გამოტუტვის დროს ბოქსიტის განხის სიჩქარე დიდად არის დამოკიდებული მის მინერალოგოურ ფორმაზე (ცხრილი III.38.)

ცხრილი III.38.

განსხვავებული მინერალოგოური ფორმის ბოქსიტების გამოტუტვის პირობები

გამოტუტვის პირობები	ღიასპორ-ბემიტური ბოქსიტები $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	პიდრატილიტური ბოქსიტები $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
ტემპერატურა, °C	~ 200	105
წნევა, ატ.	~ 13	1
ხანგრძლივობა, საათი	3	1
კაუსტიკური ტუტეს კონცენტრაცია ხსნარში, გ/ლ	~ 300	200
საბრუნ ტუტე ხსნარში კაუსტიკური ფარდობა	3,6–4,5	3,6–4,5
კორის დამატება, %	3	არა

თიხამიწის მიღების მეორე ეტაპზე, ფილტრაციით გაკამკამებული ალუმინატის ხსნარის დაშლით ხსნარიდან ალუმინის ჰიდროოქსიდის გამოიყოფა:



დაშლა ემყარება ალუმინატის ხსნარის ჰიდროლიზურ თვისებას. ალუმინატის ჰიდროლიზის შედეგად ხსნარიდან ნალექის სახით გამოიყოფა ალუმინის ჰიდროოქსიდი. ნატრიუმის ალუმინატის ეს თვისება შეიძლება შემდეგნაირად აიხსნას. ტუტე ალუმინატები (Na , K , Li) მარილებია, რომლებიც ხუსტი მყავათი (HAlO_2) და ძლიერი ტუტეთია (მაგალითად, NaOH) წარმოქმნილი. ცნობილია, რომ ასეთი მარილები ჰიდროლიზის ექვემდებარება.

ნატრიუმის ალუმინატის დაშლის რეაქციის შექცევადობის გამო ხსნარში ერთდროულადაა დაშვებული ნატრიუმის ალუმინატი, მწვავე ნატრიუმი და ალუმინის ჰიდროოქსიდი.

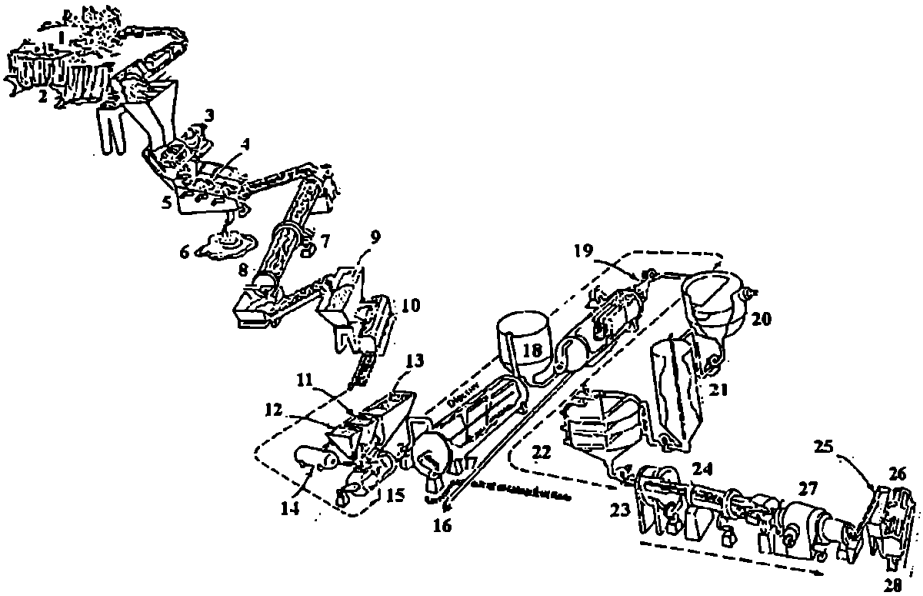
ნატრიუმის ალუმინატის ხსნარის დაშლა ორი სტადიისგან შედგება: ალუმინატის ხსნარის ჰიდროლიზისგან, რომელის შედეგადაც ხსნარში ალუმინის ჰიდროოქსიდის ნაწილაკები ჩნდება და ჰიდროოქსიდის კრისტალიზაციის პროცესისგან.

დაშლის პროცესის დანქარების მიზნით, ხსნარში შეაქვთ ე.წ. „სადელი“ ანუ ადრე მიღებული ალუმინის ჰიდროოქსიდი, რომელიც ხსნარში კრისტალიზაციის მრავალი ცენტრის წარმოქმნას ხელს უწყობს. დაშლის პროცესის დანქარება შესაძლებელია აგრეთვე ხსნარის არეითაც.

კაუსტიკური მოდულის გაზრდით ანუ თავისუფალი ტუტეს კონცენტრაციის გაღივებით ალუმინატის ხსნარის ჰიდროლიზი ფერხდება. ჰიდროლიზის შეფერხებას იწვევს აგრეთვე ხსნარის მაღალი ტემპერატურა (ტემპერატურის აწევით ხსნარის მედეგობა იზრდება). ამიტომ ხსნარის დაშლის პროცესის წინ ხსნარი გაციელებს ექვემდებარება (~200-დან 40-60°C-მდე) საციებელ კოლში. დაშლის შემდეგ პულა გადაღის სასქელებელში, სადაც ჰიდრატი ხსნარისგან ცალკეულდება.

ბოქსიტური მადნის გადამამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია III.95. სურათზე.

ალუმინის ჰიდროოქსიდის ხარისხი განისაზღვრება მისი მარცვლების სისხოთი და სისუფთავით. წერილი ნაწილაკების სახით ჰიდროოქსიდის მიღება არამიზანშეწონილია. წერილი მარცვლები ჰიდრატის შესქელებისა და რეცხვის პროცესებს ართულებს და მტერწარმოების გამო კალციბირებისა და ელექტროლიზის დროს თიხამიწის დანაკარგებს ზრდის. ამიტომ სასქელებლიდან ალუმინის ჰიდრატი კლასიფიცირებაზე გადაღის, სადაც იგი ორ კლასად იყოფა: წერილ ჰიდრატად, რომელიც ბრუნდება ალუმინატის დაშლის პროცესზე და სადელის სახით გამოიყენება და მსხვილ ფრაქციად,



სურ. III.85. ბოქსიტის გადამამუშავების აბარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1 ქანის დამფარავი ნატრის; 2 ბოქსიტის საბადო; 3 მადნის მსხვრევა და დაქუცმაცება; 4 წყლის ქაღალდი 5 გამრეცხი ცხავები; 6 ნაყარი თიხა და კაემიწა; 7 შრობის ღუმელი; 8 ალი; 9 გაცხავებული ბოქსიტი 10 თვითგანტვირთავი დახურული ვაგონები; 11 დაქუცმაცებელი კარის; 12 სოდა; 13 დაქუცმაცებულ ბოქსიტს; 14 ცხელი წყალი; 15 შეხრევი; 16 ნაყარი წითელი შლიაბი; 17 ავტიკლაკი 18 საღებუ კოდი 19 ფილტრ-პრესი; 20 საცივარი კოშკი; 21 ალუმინატის დაშლის კოდი; 22 სასქელელები 23 ფილტრები 24 გაფარვარების მშრუნავი ღუმელი; 25 თიხამიწის თეთრი ფხვნილი; 26 თვითგანტვირთავი დახურული ვაგონები; 27 მბრუნავი საცივებელი; 28 ელექტროლიზზე.

რომელიც გულმოდგინედ ირეცხება, იფილტრება და დამამთავრებელ ოპერაციაზე — კალცინაციაზე (გაფარვარებაზე) გადადის. კალცინაციის დანიშნულებაა ალუმინის ჰიდროოქსიდის სრული გაუწყლობა და პრაქტიკულად არაპიგროსკოპული თიხამიწის (Al_2O_3)-ის მიღება. ალუმინის ჰიდროოქსიდის გაუწყლობა $550^{\circ}C$ -ზე მთავრდება, თუმცა, ამ ტემპერატურაზე გაუწყლობის შედეგად მიიღება $\gamma-Al_2O_3$ -ის მოდიფიკაციის თიხამიწა, რომელიც მნიშვნელოვანი პიგროსკოპულობით განირჩევა. ეს მოდიფიკაცია $950-1200^{\circ}C$ -ის ტემპერატურების ინტერვალში გადადის პრაქტიკულად არაპიგროსკოპულ $\alpha-Al_2O_3$ მოდიფიკაციაში, რომელიც საკუბით გამოსადგვია ელექტროლიზისთვის.

კალცინაცია ტარდება მილიან მბრუნავ ღუმელში, რომელიც მასალის $1200^{\circ}C$ -მდე გახურების საშუალებას იძლევა. გამოშვარული თიხამიწის სისუფთავე 99,5%-ს შეადგენს.

თიხამიწის მიღება შესაძლებელია, აგრეთვე, შეცხოების ხერხის გამოყენებით. ამ ხერხის არსი ისაა, რომ წერილად დაქუცმაცებული ბოქსიტის, სოდის და კირქვის ნარევი მალალ ტემპერატურაზე გახურებას ექვემდებარება, რის შედეგადაც მიიღება ცხობურა, რომელიც ნატრიუმის ალუმინატს შუიყავს. ცხობურა წყალში გამოტუტვას ექვემდებარება. ამგვარად მიღებული ალუმინატის ხსნარი ნახშირორჟანგით იშლება და შედეგად ხსნარიდან ალუმინის ჰიდროოქსიდი გამოიყოფა, ჰიდროოქსიდის გაფარვარებით კი თიხამიწა მიიღება.

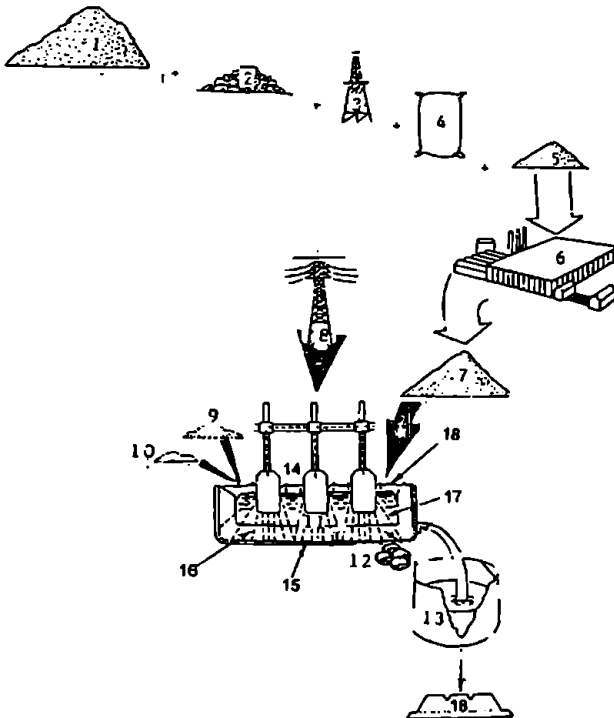
9.2. ალუმინის მიღება ელექტროლიზით

ალუმინის წარმოებაში საკმაოდ დიდი როლს ითამაშებს ელექტროენერგია და დამზარე მასალები. ერთი ტონა ალუმინის მისაღებად საჭირო მასალების მიახლოებითი რაოდენობა ნაჩვენებია III.96. სურათზე.

ალუმინის ელექტროლიზით მიღების პროცესში მთავარ დამზარე მასალად ჯერ კიდევ ფართოდ გამოიყენება კრიოლიტი (Na_3AlF_6 , ან $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$). გამდნარი კრიოლიტის გარემოში თიხამწის ელექტროლიტური დამლა ხორციელდება. ელექტროლიტის შემადგენლობის კორექტირებისთვის საჭიროა აგრეთვე ალუმინისა და ნატრიუმის ფთორიდების (AlF_3 , NaF) დანამატები.

მთელ მსოფლიოში მხოლოდ ერთი სამრეწველო მნიშვნელობის კრიოლიტის საბადოა ცნობილი. იგი გრენლანდიაშია განლაგებული. ამიტომ კრიოლიტისა და ფთორიდების სანედლეულო ბაზა მთლიანად ემყარება მლხობი შპატის (CaF_2) საბადოებს; მლხობი შპატის გადამუშავებით (ვამილდრება, მყავში დაბუშვება, ხსნარიდან გამოლექვა, შრობა და ა.შ.) მიიღება ალუმინის წარმოებისათვის საჭირო კრიოლიტი და ალუმინისა და ნატრიუმის ფთორიდები.

კრიოლიტის ხარისხს დიდი მთხოვნები წაყენება. მინარევები, რომლებიც ელექტროლიზის პროცესში ალუმინს აჭუჭყიანებს (Fe , SiO_2) და მაღალ ტემპერატურებზე ელექტროლიტის დამლას



სურ. III.96. დიდი მსოფლიოში ალუმინის წარმოებისთვის საჭირო მასალები.

1. ბიოქსიდი — 4ტ; 2. ქვანახშირი 0,5ტ; 3. თხევადი სათბობი 0,25ტ; 4. სიდა 0,5ტ; 5. კირი 0,125ტ; 6. თიხამწის მიღება; 7. თიხამწის 2ტ; 8. ელექტროენერგია 14000-17000 კვტ-სთ; 9. ფთორიდები 0,04ტ; 10. კრიოლიტი 0,03ტ; 11. ალუმინის ნაღობი; 12. შემცვეარი ნახშირბადი 0,5ტ; 13. ალუმინის ნაღობი; 14. ნახშირბადის ანოდები; 15. ელექტროლიტური აბაზანა; 16. ნახშირბადის კათოდებით მოპირკეთებული აბაზანის ძირი; 17. კრიოლიტის ნაღობი; 18. ალუმინის შოლი.

იწვევს, ($H_2O \cdot SO_4$ და ა.შ.) მინიმალური რაოდენობით უნდა შედიოდეს კრიოლიტში და მათი ოდენობა განსაზღვრულ ზღვარს არ უნდა აღემატებოდეს – SiO_2 და Fe_2O_3 0,5%-ს; SO_4 1,5%-ს; H_2O 1,5%-ს. კრიოლიტის ძირითადი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მის შემადგენლობაში არ შედის ალუმინზე უფრო მეტად ელექტროაღდებითი ლითონები, რომლებიც კათოდზე გამოყოფილი ალუმინს აცუჭყიანებს.

კრიოლიტის ძირითადი ნაკლია მისი სიძვირე, დნობის მაღალი ტემპერატურა და მნიშვნელოვანი აქროლა მაღალ ტემპერატურაზე.

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი დამხმარე მასალა, რომელიც ალუმინის მიღების ელექტროლიზურ პროცესში იხმარება, ნახშირბადია. იგი ელექტროდებისა და ბლოკების სახით ელექტროლიზოორში (აბაზანაში) მუდმივი დენის მისაყვანად გამოიყენება. გარდა ამისა, გამდნარი ელექტროლიტისგან დაცვის მიზნით, ელექტროლიზოორის შიგა გვერდული კედლების ზედაპირი ნახშირბადის ბლოკებით არის ამოვსებული.

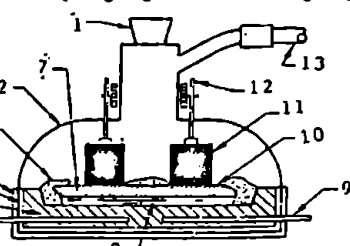
ელექტროლიტურ დაშლას ექვემდებარება ბოქსიტის გადაჭმუხვების შედეგად მიღებული თიხამიწა (Al_2O_3), რომლის სისუფთავე დაახლოებით 99,5% შეადგენს.

გამდნარ კრიოლიტში თიხამიწის ელექტროლიტური დაშლის შედეგად კათოდზე ალუმინი გამოიყოფა, ხოლო ანოდზე ენებადი. ელექტროლიტური აღდგენის აბაზანა (სურ. III.97.), რომელიც პოლის სახელს (პოლის პროცესი 1900 წლიდან გამოიყენება პრაქტიკაში) ატარებს, მართკუთხა, ფურცლოვანი ფოლადისგან დამზადებულ ღია ყუთს წარმოადგენს. მისი ტიპური ზომებია: სიგრძე – 6, სიგანე – 3 და სიღრმე 0,9 მ-ია. მომსახურების გაადვილების მიზნით, აბაზანა იატაკშია ჩაფლული და მხოლოდ მისი შესაბამისი ნაწილია იატაკის დონიდან ზევითეკვ ამოსული. აბაზანა ამოვსებულია (ქვედი და შიგა კედლები) 15-25 სმ სისქის ნახშირბადის ბლოკებით, რომლებიც ერთმანეთთან შეკავშირებულია ცეცხლგამძლე საიზოლაციო მასლით. ქვედის ნახშირბადის შიგაპირის (6), რომელშიც დენგამტარი ფოლადის ჭილიაყურაა (9) ჩაჭვილილი, კათოდის როლს ასრულებს და მასზე გროვდება ალუმინის ნაღობი (8). ანოდი (11) მასზე გამოყოფილი ენებადით იფანება და შედეგად CO და CO_2 გამოიყოფა. დასარეული ანოდი (ანოდი ნაწილობრივ გამდნარ ელექტროლიტშია ჩაძირული) თანდათან დაწვევას განიცდის ელექტროლიტში.

აბაზანის ნახშირბადით მოპირკეთება შეიძლება ორი გზით შესრულდეს. ორივე შემთხვევაში ამონაგი საში – თხი წელი ძლებს, ერთ შემთხვევაში, აბაზანა ნახშირბადის ბლოკებით ამოვსება შიგნიდან, ხოლო მეორეში, აბაზანის შიგა ზედაპირის ამონაგი კოქსის, გუდრონისა და ხის ფისის ცხელი ნარევის რკინის ბოცებში ტკეპნით შუადდება. მონოლითური ფენის მისაღებად ამონაგი აბაზანასთან ერთად $750^{\circ}C$ -მდე ხურდება.

პრაქტიკაში, ძირითადად, საში ტიპის ნახშირბადიანი ანოდები გამოიყენება. ანოდები კონფიგურაციით განირჩევა ერთმანეთისგან. ანოდის ტიპის მიხედვით ელექტროლიტური აბაზანების სახელწოდებებიც განირჩევა ერთმანეთისგან, სახელდობრ – აბაზანა წინასწარ შემცხვარი საცელელი ანოდებით (სურ. III.97.), აბაზანა პორიონტალური ჭილიაყურიანი სოდეზბერგის ანოდებით (სურ. III.98.) და აბაზანა ევტიკალური ჭილიაყურიანი სოდეზბერგის ანოდებით (სურ. III.99.).

წინასწარ შემცხვარი ანოდი (სურ. III.97.11) წარმოადგენს ბლოკს, რომელიც ნახშირბადის პასტიკისგან ფორმირდება და გამოყენებამდე დამზადი მაღალ ტემპერატურაზე ცხება. ბლოკის წონა შეიძლება 185 კგ-ს აღწევდეს. მისი სიგრძე 77,5, სიგანე 60 და სიმაღლე 30 სმ-ს შეადგენს. თითოეულ აბაზანაში ორ ტოლ რიგად განლაგებულია სიგრძით ქვევითეკვ



სურ. III.97. ალუმინის ელექტროლიტური აღდგენის აბაზანა წინასწარ შემცხვარი ნახშირბადიანი ანოდებით.

1. ნახტვართაყო ძაბრი;
2. ვაქსოვი ზონდის;
3. ელექტროლიტისა და თიხამიწის მკარი ნაყენის;
4. ფოლადის გარსაცმის;
5. ისოლაციური;
6. ნახშირბადის შიგაპირის;
7. ელექტროლიტის;
8. გამდნარი ალუმინი;
9. კათოდის დენმომხსნელი ძელია;
10. ანოდის და ორიქლის გამოყოფი;
11. ნახშირბადის ანოდი;
12. ანოდის სასაღებ ძელია;
13. ანოდის შემკრება მკლადენა.

მიმართული 14-დან 24-მდე ანოდური ბლოკი. ბლოკები ინდივიდუალურადაა შეკავშირებული აბაზანში. ანოდებში (ბლოკებში) დენის გატარებისა და მათი შეკავების მიზნით, შემცხვარი ბლოკის (ანოდის) თავზე არსებულ ხერელში ჭილიაყურა იდგება. ანოდსა და ჭილიაყურას შორის არსებული ღრიჭე გამდნარი რკინით ივსება. ჭილიაყურას მეშვეობით ყოველი ანოდი ზეითიკენ და ქვეითკენ გადაადგილება. ანოდის თანდათანობითი გაკვეთის შემდეგ (ანოდისა და ფანჯბადის ურთიერთქმედების შედეგად ანოდი დღე-ღამეში 2,5 სმ-ით მცირდება ზომაში) იგი ახლით იცვლება.

წინასწარ შემცხვარი ანოდი მაღალი ეფექტურობით განარჩევა ელექტროლიზის პროცესში, მაგრამ უფრო ძვირია, ვიდრე სოდეზბერგის ანოდი, რომელიც წინასწარი დაწნებისა და შეცხობის პროცესების ჩატარებას არ საჭიროებს.

სოდეზბერგის, ანუ უწყვეტი, თვითშეცხობადი ანოდი შედგება ნახშირბადის ერთი დიდი ბლოკისგან, რომელიც მოთავსებულია ფურცლოვანი ალუმინის სწორკუთხა ფორმის „პერანგში“ (გარსაცმში).

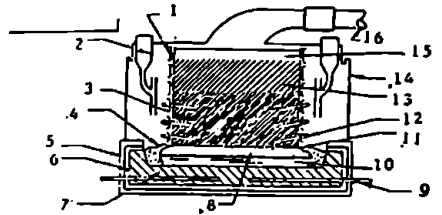
თხელი გარსაცმი ფოლადის ხისტი ჩარჩოთა გამაგრებული. გარსაცმში იტვირთება კოქსისა და გუდრონის ნარევის ბრიკეტები ან ნახშირბადის პასტა. ზედა ზონაში ანოდური მასა ცომისებრია; ქვედა ზონებში ჩაშვებით იგი აბაზანიდან გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე ცხდება და ნახშირბადის მთლიან, მყარ ბლოკად გარდაიქმნება.

ერთ კოლოგრამ მიღებულ ალუმინზე დაახლოებით 450 გ ანოდი იხარუება. ანოდის დახარჯული მასა კომპენსირდება აბაზანში ანოდის ჩაშვებით.

აბაზანის უწყვეტი კება ანოდით ხორციელდება ანოდის თავზე დამატებითი გარსაცმის დაყენებითა და მასში ანოდური მასის ახალი პორციის ჩატვირთვით.

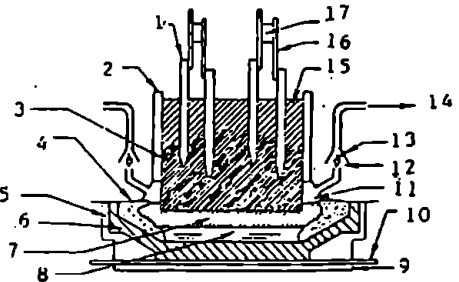
პორიზონტალურ ჭილიაყურიან სოდეზბერგის ანოდში (სურ. III.98, 12) პორიზონტალურად ჩასობილია ფოლადის დენგამტარი ჭილიაყურები. ჭილიაყურები, როგორც წესი, სამოთხ რიგადაა განლაგებული (თითო რიგში 16-25 ჭილიაყურაა ჩასობილი).

ვერტიკალურ ჭილიაყურიან სოდეზბერგის ანოდში ჭილიაყურები ორ ან ოთხ რიგად ვერტიკალურადაა ჩასობილი (სურ. III.99, 1). ჭილიაყურების თავისუფალი ბოლოები დენგამტარ სალტიან ძელაკებს უერთდება. ძელაკების მეშვეობით ანოდების შეკავებაც ხდება აბაზანზე ელექტროლიზის დროს სოდეზბერგის ანოდები ქვეითკენ ეშვება და იხარუება. ამიტომ დროდადრო ქვედა ზონიდან ჭილიაყურები და გარსაცმის შემკავებული ფოლადის ჩარჩოები ამოიღება და ანოდის ზედა ზონაში გადაიტანება. ჭილიაყურა ანოდის ძირიდან 20 სმ-ით არის დაშორებული.



სურ. III.98. ალუმინის ელექტროლიტური ადღენის აბაზანა პორიზონტალური ჭილიაყურიანი სოდეზბერგის ანოდებით.

1. ალუმინის გარსაცმა; 2. ჩამტვირთავი ძაბრია; 3. ბოლომდე შესესვარი ანოდი; 4. ელექტროლიტისა და თხამისის სქარი ნაყენია; 5. ფოლადის გარსაცმა; 6. იზოლატორი; 7. ნახშირბადის შეფასაშის; 8. ელექტროლიტისა; 9. კათოდის დენამომხსნელი ძელაკი; 10. გამდნარი ალუმინი; 11. აირისა და იართილის გამყოფი; 12. ანოდის ქალაყურა; 13. ნაწილობრივ შემცხვარი მასტა; 14. გამწოვი ზონდის ვახახსნელი კარები; 15. ანოდური მასტა; 16. აირის შემკრები მალხადენა



სურ. III.99. ალუმინის ელექტროლიტური ადღენის აბაზანა ვერტიკალური ჭილიაყურიანი სოდეზბერგის ანოდებით.

1. ჭილიაყურა; 2. ანოდის ბოყეა; 3. შემცხვარი ანოდი; 4. ელექტროლიტისა და თხამისის სქარი ნაყენია; 5. ფოლადის გარსაცმა; 6. ნახშირბადის შეფასაშის; 7. ელექტროლიტის; 8. გამდნარი ალუმინი; 9. იზოლატორი; 10. კათოდის დენამომხსნელი ძელაკი; 11. აირისა და იართილის გამყოფი; 12. აირისა და კენისის წეა; 13. სანოური; 14. დამაყუყუებელ საამქრომს; 15. ანოდის მასტა; 16. ელექტროლიტური; 17. ელექტროსალტე

სოდერბერგის ანოდების ნაკლი ისაა, რომ ელექტროლიზის პროცესში ანოდების შეცობის შედეგად ორგანული ნივთიერებები გამოიყოფა. წარმატალი აირებით წატაკებული ორგანული ნაერთები მიღსადენებისა და საზომი ხელსაწყოების დაცობას იწვევს და აირების გასუფთავების მეთოდის შერჩევას ართულებს.

პოლის ელექტროლიტურ აბაზანში გამდნარი კრიოლიტის (Na_3AlF_6) ხსნარის (ელექტროლიტის) სიღრმე 35 სმ-ს შეადგენს. კრიოლიტში 6-10%-მდე (წონით) გახსნილია თიხამიწა. ელექტროლიტის მცირე რაოდენობით ემატება ალუმინის ფთორიდი (2-5%), რომელიც თიხამიწაში შემაველ Na_2O უერთდება და ხელოვნურ კრიოლიტს წარმოქმნის. კალციუმის ფთორიდის (CaF_2) მცირე დანამატი (4-10%) ელექტროლიტის დნობის ტემპერატურას ამცირებს, მაგრამ ამასთან მის სიმკვრივეს ზრდის; დენის გამტარობის გაზრდისა და ელექტროლიტში თიხამიწის ხსნადობის გადიდების მიზნით, შესაბამისად გამოიყენება MgF_2 -სა და NaF -ის დანამატები. ელექტროლიტზე დანამატის მასალების საერთო რაოდენობა 100 კგ მიღებულ ალუმინზე 5 კგ-ს შეადგენს. აბაზანის ნაღობის ზედაპირზე წარმოქმნილი ელექტროლიტისა და თიხამიწის ნარევის გამყარებული ნაფენი გამოირიცხავს ელექტროლიტის ურთიერთქმედებას ჰაერთან.

ელექტროლიტში $\text{NaF}:\text{AlF}_3$ -ის მოლური ფარდობა ცნობილია, როგორც კრიოლიტური ფარდობა. სუფთა კრიოლიტისთვის იგი 3-ის ტოლია. პრაქტიკაში გამოიყენება ე.წ. „მჟავა“ კრიოლიტები, რომელთა კრიოლიტური ფარდობა 2,6-2,9-ია ან ზოგჯერ კი უფრო დაბალიც. ზედმეტად მჟავე კრიოლიტი ძალზე აქროვალდა და მასში უფრო ცუდად იხსნება თიხამიწა. ელექტროლიტში კრიოლიტის ფარდობა 3-ს არ უნდა აღემატებოდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში კათოდზე ნატრიუმის გამოყოფა დაიწყება. კრიოლიტში თიხამიწის 15%-მდე გაზრდით სისტემის დნობის ტემპერატურა ვარდება, ხოლო 15-ზე უფრო მეტი რაოდენობით თიხამიწის შეტანა ნაღობში მკვეთრად ზრდის ელექტროლიტის დნობის ტემპერატურას. გამდნარი კრიოლიტის 1000°C -მდე გახურებით მასში 20%-მდე თიხამიწა იხსნება, თუმცა, პრაქტიკულად თიხამიწის კონცენტრაცია კრიოლიტში, როგორც ზევით იყო აღნიშნული, 10%-ს არ აღემატება.

ლითონური ალუმინის კუთრი წონა 18°C -ზე 2,7-ს უდრის; ამ ტემპერატურაზე სუფთა კრიოლიტი ალუმინზე უფრო მძიმეა და მისი კუთრი წონა 2,95-ს შეადგენს. თუმცა, ელექტროლიზის პროცესის ტემპერატურაზე გამდნარი ალუმინი კრიოლიტზე უფრო მძიმე ხდება, განსაკუთრებით მაშინ, როცა კრიოლიტში საკმაო რაოდენობითაა გახსნილი თიხამიწა; ასე მაგალითად, 1000°C -ზე ალუმინის კუთრი წონა 2,28-ია და კრიოლიტის, რომელიც 10% თიხამიწას შეიცავს, შესაბამისად, 2,10. კუთრი წონების ეს სხვაობა აბაზანის ძირზე ალუმინის შეკალების შესაძლებლობას იძლევა. აბაზანის ძლიერი გაყვების დროს ზოგჯერ ალუმინის „ამოთქმეტილება“ შეინიშნება. ამრიგად, თიხამიწის ელექტროლიტური დაშლის შედეგად გამოიყოფილი ალუმინი:



თხევადი ფენის სახით ნახშირბადიანი ბლოკების კათოდზე გროვდება.

ანოდი, რომელიც ქვეითკენაა მიმართული და ელექტროლიტზე წარმოქმნილ მყარ ნაფენზეა გასული, ისე ღრმადაა ჩაჯვრული ელექტროლიტის ნაღობში, რომ მისი ძირი მხოლოდ 5 სმ-ით შორდება გამდნარი ალუმინის ზედაპირს.

თიხამიწის ხარჯი პირდაპირპროპორციულია მიღებული ლითონური ალუმინის წონისა; 1 კგ ალუმინის მისაღებად 2 კგ. თიხამიწა იხარჯება. დასარჯული თიხამიწის შესაცვებად ელექტროლიტს პერიოდულად ემატება დაქუცმაცებული (200 მეში) თიხამიწა ელექტროლიზატორზე დაყენებული ბუნჯურდან. თიხამიწა ელექტროლიტზე წარმოქმნილ მყარ ნაფენზე იყრება; ნაფენის ჩატეხვით (ხელთ ან მექანიკური ჩამტეხვით) წარმოქმნილი ხერხიდან თიხამიწა გამდნარ ელექტროლიტში ჩადის.

მეორე პრობლემა, რომელიც ელექტროლიზის დროს ანოდისგან გამოიყოფა, ფანგბადია. იგი, ერთი მხრივ, დადებით გავლენას ახდენს პროცესზე იმით, რომ ყანგბადის წარმოქმნილი ბუშტულებით ნაღობი ირევა, რაც მნიშვნელოვნად აჩქარებს თიხამიწის გახსნას კრიოლიტში (ელექტროლიტში). მეორე მხრივ, ფანგბადის ნახშირბადიან ანოდთან ურთიერთქმედების შედეგად თანაბარი რაოდენობით CO და CO_2 წარმოქმნება, რაც ანოდების გაცვეთას აჩქარებს. ანოდის ხარჯი მიღებული ლითონური ალუმინის წონის ნახევარს შეადგენს.

ელექტროლიზის მწარმოებელმა დელემბემ, საშუალოდ, 270 კგ-ს შეადგენს. აბაზანიდან ალუმინის ნაღობის გაღმარება სამ დღეში ერთსელ ხდება სიფრით (სურ. III.100.) ან ვაკუუმური ჩამით (სურ. III.101.).

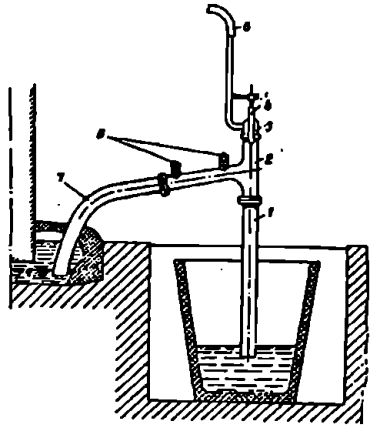
იმ შემთხვევაში, თუ ელექტროლიტში თიხამიწის კონცენტრაცია 2%-ზე უფრო მეტად შემცირდა (ნორმალური კონცენტრაცია 6-10%-ს შეადგენს), მაშინ ე.წ. „ანოდური ეფექტის“ პრობლემა იქმნება; ანოდ-ელექტროლიტის საზღვარზე ელფინალბა ნახტომისებურად იზრდება (5-დან 30-40 ვოლტამდე).

ანოდური ეფექტის შექანიზმის წარმოდგენა შემდგომარად შეიძლება: როცა ელექტროლიტი მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს თიხამიწას, ანოდის ზედაპირი კარგად სველდება ელექტროლიტის ნაღვლით, რაც ანოდის ზედაპირზე წარმოქმნილი აირის ბუშტულების სწრაფ განდევნას უზრუნველყოფს (სურ. III.102,ა). ელექტროლიტში გახსნილი თიხამიწის შემცირებით, ანოდი სულ უფრო და უფრო ნაკლებად სველდება ნაღვლით და ბოლოს, განსაზღვრულ მომენტში, კიდური კუთხის დასველების სიდიდე 90°-ს იქით გადადის და ანოდის დასველება ელექტროლიტით საერთოდ წყდება (სურ. III.102,ბ). შედეგად აირი ყოფნდება ანოდის ზედაპირზე; ზედაპირი სწრაფად იფარება აირის ფენით და ანოდ-ელექტროლიტის საზღვარზე ნახტომისებურად იზრდება წინაღობა. მხოლოდ ცალკეულ ადგილებში, სადაც აირის აყსიკი დროებით ირღვევა, მოკლე ხნით წარმოიქმნება ელექტროკალები. ელექტროლიტში თიხამიწის ახალი პორციის შეყვანით ანოდის დასველება ელექტროლიტით ისევ იწყება. დასველების შედეგად ანოდის ზედაპირიდან აირის აყსიკი სწრაფად განიღვნება და აბაზანაზე ძაბვა მტკრდება.

პრაქტიკაში ელექტროლიტური აბაზანების გადიდების ტენდენცია შეიმჩნევა. ქარხნების უმრავლესობა აბაზანებს 80000-100000 ამპერის ზღვარზე ამუშავებს, ხოლო ზოგ ქარხანაში ამპერაჟი 150000-მდეა გაზრდილი. ცალკეულ აბაზანებზე ძაბვის ვარდნა 4,5-6 ვოლტს შეადგენს (თანამიმდევრობით ჩართულ 50-200 აბაზანაზე კი ძაბვის ვარდნა 600-800 ვოლტია), ხოლო ღენის სიმჭიდროვე 62-140 ამპ/მ²-ის ტოლია. გამოსავალი, ღენის მიხედვით, 85-90% შეადგენს. ერთი კოლოგრაში ალუმინის მისაღებად 14,3-17,6 კვტ.სთ იხარჯება.

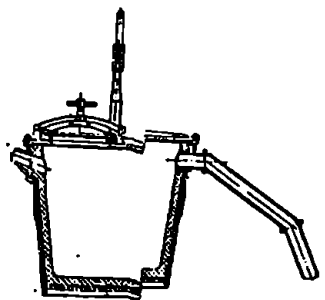
ელექტროლიზის აბაზანიდან წარმავალი აირები ძალზე მავნებელია. მათ თან გააქვთ ფთორი, ფისი და მტვერი (AlF_3 , Na_3AlF_6 და Al_2F_6), ამიტომ დამკვერ სისტემაში აირების გაუვნებლება აუცილებელი ხდება.

ალუმინის მიღების გვიანდელი მეთოდი, რომელიც 1973 წელს დამუშავდა, ცნობილია, როგორც ალქას დნობის პროცესი. ისევე, როგორც პოლის პროცესში, ალქას მეთოდშიც საწყის ნედლეულად გამოიყენება ბოქსიტიდან ბაიერის ზერხით მიღებული სუფთა თიხამიწა (Al_2O_3). უშუალოდ თიხამიწა ელექტროლიზის პროცესში არ გამოიყენება. იგი 700-900°C-ზე ქლორირებას (ელემენტური ქლორით) ექვემდებარება რეაქტორში, რის შედეგადაც მიიღება სამქლორიანი ალუმინის ($AlCl_3$) ფხვნილი, რომელიც ალუმინის მისაღებად გამოიყენება ელექტროლიტში. ქლორის ნაკლებად ამ მეთოდში ელექტროლიტად გამოიყენება ნატრიუმისა და ლითიუმის ქლორიდების ნაღვლი, რომელშიც ალუმინის ქლორიდის ფხვნილი იხსნება. ელექტროლიზის პროცესი პერიოდულად დახურულ აბაზანაში ტარდება 700°C-ზე. შედეგად თხევადი ლითონური ალუმინი და აირადი ქლორი მიიღება. დაჭერილი ქლორი უწყვეტ რეგენერაციას განიცდის და თიხამიწის ქლორირების პროცესზე ბრუნდება, ხოლო ალუმინის ნაღვლი ბოვეებში ჩამოისხმება.

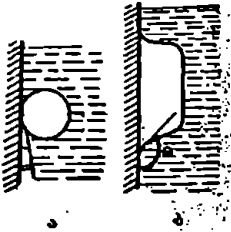


სურ. III.100. აბაზანიდან ალუმინის ამოსაღები სიფონი.

1. მთლიანი; 2. სამკაბა; 3. ხუფი; 4. მიმკერი კავი; 5. რეზინის ძლია; 6. ჩამოსაკიდი რგოლები; 7. მუხლა.



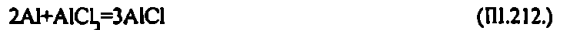
სურ. III.101. აბაზანიდან ალუმინის ამოსაღები გაყვანილი ჩამა.



სურ. III.102. ანოდზე აირის აფხვის წარმოქმნის შექანისმა

ა - ბუშტულის მოწყობა;
ბ - ბუშტულის მსყვრა.

ტექნოლოგიური პროცესი ორი ძირითადი საფეხურისაგან შედგება: პირველ საფეხურზე ელექტროლიტში ბოქსიტისა და კოქსის დნობით ალუმინის, სილიციუმისა და რკინის შენადნობი მიიღება. მეორე საფეხურზე შენადნობისა და სამქლორიანი ალუმინის ($AlCl_3$) ორთქლის $1300^{\circ}C$ -ზე ურთიერთქმედებით ალუმინის მონოქლორიდის ორთქლი წარმოიქმნება:



ალუმინის მონოქლორიდის ორთქლში თხევადი ალუმინის შუფრქვევით ორთქლი $700^{\circ}C$ -მდე ცივდება და ალუმინის მონოქლორიდის დისპროპორციის რეაქცია ვითარდება:



რეაქციის (III. 213.) შედეგად თხევადი ალუმინი და სამქლორიანი ალუმინის ორთქლი წარმოიქმნება ქლორიდის რეგენერაციის შემდეგ იგი ტექნოლოგიური პროცესის პირველ საფეხურზე გამოიყენება.

კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც ცნობილია, როგორც თოთას პროცესი, თიხისა და სხვა ალუმინ-შემცველი მასალის კოქსთან და ქლორთან მაღალი ტემპერატურაზე ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს. რეაქციის შედეგად ალუმინის უწყლო აქროლადი ქლორიდი მიიღება:



ქლორიდი ჯერ ფრაქციული დისტილაციით სუფთავდება, ხოლო შემდეგ მაგნიუმთან მისი ურთიერთქმედებით მაგნიუმის დიქლორიდი და ლითონური ალუმინი წარმოიქმნება.

0.3. ალუმინის ელექტროლიტური რაფინირება

განსაკუთრებული სისუფთავის ალუმინი (99,95–99,99%Al), რომელიც საციალური დანიშნულებით გამოიყენება, მაღალი ჭედადობითა და გაზრდილი ქიმიური მუდგობით განიზრევა. მისი მიღება კომერციული ალუმინის რაფინირებით ხდება.

ალუმინი დაჟანგვის მაღალი ხარისხითა და დუღილის მაღალი ტემპერატურით ($2500^{\circ}C$) ხასიათდება ამიტომ მის გასასუფთავებლად ისეთი გავრცელებული მეთოდები, როგორცაა ცეცხლოვანი ტანგვიით რაფინირება და ფრაქციული დისტილაცია, არ გამოდგება.

თანამედროვე პრაქტიკაში კომერციული ალუმინის გასასუფთავებლად ფართოდ გავრცელებული (ალუმინის მრეწველობაში) ელექტროლიტური რაფინირება გამოიყენება.

ალუმინის რაფინირება გამდნარი ნაღობების გარემოში სოარციელდება – ანოდად გასასუფთავებელი ალუმინისა და მძიმე ლითონის შენადნობი იხმარება, კათოდად კი – სუფთა რაფინირებული ალუმინი.

პროცესის ტემპერატურაზე ელექტროლიტის კუთრი წონა სუფთა ალუმინზე მეტი და ანოდურ შენადნობზე ნაკლები უნდა იყოს. ელექტროლიტის სახით გამოიყენება სხვადასხვა შემადგენლობის ფთორიდების ნარევი. კრიოლიტის გამოყენების შემთხვევაში, კუთრი წონის (სიმკვრივის) კორექტირების მიზნით, კრიოლიტს ბარიუმის ფთორიდი (BaF_2) ემატება. სხვა შემთხვევაში ელექტროლიტში შეიძლება

შეიღობს ალუმინის ფთორიდი (AlF_3), კალციუმის ფთორიდი (CaF_2), ნატრიუმის ფთორიდი (NaF) ან სტრონციუმის ფთორიდი (SrF_2), რომელიც ბარიუმის ფთორიდის შემცველია. ამ მარილებისაგან შემდგარი ელექტროლიტის ტიპური შემადგენლობაა: 30-დან 38%-მდე BaF_2 , 25-დან - 30%-მდე NaF და 30-დან - 38%-მდე AlF_3 , და დანარჩენი კრიოლიტი, ან 18% BaF_2 , 16% CaF_2 , 36% AlF_3 , და 30% კრიოლიტი (ელექტროლიტის კუთრი წონა პროცესის ტემპერატურაზე 2,5, ხოლო ამავე პირობებში სუფთა ალუმინის სიმკვრივე 2,3-ია).

ანოდური შენადნობის ყველაზე მოხერხებულ მამბიბელ ლითონი სპილენძი წარმოადგენს. მისი შემცველობა ანოდურ შენადნობში 25%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს (სპილენძის შემცველობა შენადნობში 25-30%-ის ზღვრებშია), წინააღმდეგ შემთხვევაში, შენადნობი აბაზანის ძირიდან ამოტევილებას დაიწყებს (ანოდური შენადნობის კუთრი წონა გამდნარი მდგომარეობაში 2,9-ს შეადგენს).

ელექტროლიზის პროცესი ჰუპის ელექტროლიტურ აბაზანაში ტარდება (სურ., III.103.).

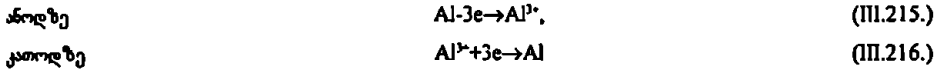
აბაზანის ნაღობში დენის გავლით გამოყოფილი სიბოხს ხარჯზე ელექტროლიზის პროცესის მუშა ტემპერატურა ($900-1000^{\circ}C$) მყარდება. აბაზანაზე სამუშაო ძაბვა და დენის ძალა შესაბამისად 5-7 ვოლტსა და 20000 ამპერს შეადგენს.

სწორკუთხა ფორმის აბაზანა ფოლადის ფურცლისგან მზადდება. აბაზანის კედლები ვარდნად წყლით ცივდება. გაციების შედეგად აბაზანის შიგა კედლებზე წარმოიქმნება ელექტროლიტის გამყარებული ფენა, რომელიც ფოლადის გარსაკმს გამდნარი ელექტროლიტის ზემოქმედებისგან იცავს.

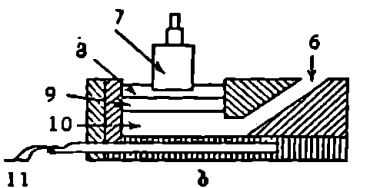
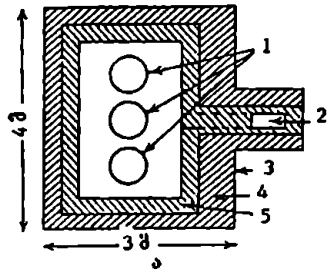
აბაზანის ნაღობში საში, სხედასხვა სიმკვრივის მქონე გამდნარი ფენისგან შედგება. სამუშაოში მყოფი ელექტროლიტური რაფინირების არსი შემდგომი მდგომარეობა: თუ ელექტროლიტური აბაზანის ძირზე დაუხალისებელი ალუმინისა და სპილენძის გამდნარი ანოდური შენადნობის ფენა (სურ., 103, 10) განლაგდება, მასზე ელექტროლიტის ფენა მოთავსდება და ფენებში მუდმივი ელდენი გატარდება, მაშინ, რაღაც დროის შემდეგ, კათოდზე სუფთა ალუმინის გამოყოფა დაიწყება ელექტროლიზის პროცესში, ალუმინის შენადნობის ფენაში ალუმინის შემცველობა თანდათანობით კლებულობს, ხოლო კათოდზე სუფთა ალუმინის ფენა (სურ., III.103., 8) მატულობს.

თერორული თვალსაზრისით, სამუშაოში ხერხით ალუმინის რაფინირება სპილენძის ელექტროლიტური რაფინირების ანალოგიურია და მისგან იმით განსხვავდება, რომ პროცესი წყალბუნარში კი არ მიმდინარეობს, არამედ გამდნარ მარილებში ტარდება და არა მყარი, არამედ თხევადი ელექტროლები გამოიყენება. ალუმინის რაფინირების დროს დენის გავლის მიქანობში შემდგენიარად შეიძლება განვიხილოთ: ანოდთან წარმოიქმნება ალუმინის იონები; იონები მიემართება კათოდისკენ, იძენს იქ სპ ელექტრონს და ლითონური ალუმინის სახით გამოიყოფა.

ჯამური პროცესი შემდეგი ორი განტოლებით შეიძლება გამოისახოს:



ელექტროლიტის ფენის თაზე განლაგებული სუფთა, რაფინირებული ალუმინის ნაღობის ფენაში საში ნახშირბადის კათოლია ჩაშვებული. კათოდები (სურ., III. 103., 1,7) 5 სმ-ითაა ჩაძირული ალუმინის ნაღობში. კათოდების ხარჯი გასუფთავებული ალუმინის წონის 6% შეადგენს.



11 სურ. III.103. ალუმინის რაფინირების პროცესის ჩასატარებელი ჰუპის ელექტროლიტური აბაზანა.

- ა. ზედა ხელი ბ. ეკვრადით ხელი
 1 გრაფიტის ელექტროდები 2 წინა ქურა; 3 ფოლადის გარსაკმა; 4. დიატომიტის აგური; 5. მანგანუმის აგური; 6. დაუხალისებელი ალუმინის ჩასატვირთი სუქცადური ჯიბე; 7. გრაფიტის ელექტროდი 8. სუფთა (რაფინირებული) ალუმინი; 9. ელექტროლიტის ნაღობი; 10. ალუმინ-სპილენძის შენადნობი; 11. ანოდი.

ალუმინის ნაღობის ჰაერთან შეხების თავიდან აცილების მიზნით, მისი ზედაპირი ალუმინის გამყარებული ნაფენითა დაფარული. აბაზანიდან რაფინირებული ალუმინის აპოლების დროს ალუმინის ნაფენი ტყდება და ალუმინი ციკსებებში გადმოსისხება (დღე-ღამეში 90 კგ-ის ოდენობით).

ალუმინზე უფრო მეტად ელექტროდღებითი მინარეგების გადასვლა ანოდთან ელექტროლიტში შეუძლებელია მანამ, სანამ ანოდურ შენადნობში მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა ალუმინი. ალუმინზე უფრო მეტად ელექტროუარყოფითი მინარეგები ანოდთან გადადის ელექტროლიტში, მაგრამ მათი გამოყოფა კათოდზე არ მოხდება მანამ, სანამ ელექტროლიტში ალუმინის იონების კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მაღალია, რადგანაც ამ მინარეგების გამოყოფის პოტენციალი ალუმინის პოტენციალზე უფრო დიდია.

პროცესის მსვლელობისას ანოდურ შენადნობს პერიოდულად ემატება დაუსაღასებელი (კომერცოული სისუფთავის) ალუმინი სპეციალური „ჯიბიდან“, რომელიც ელექტროლიტში გააჩნია (სურ. III. 103, 6).

ანოდურ და ელექტროლიტურ ფენებში თანდათანობით მინარეგები გროვდება; მათი კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი გაიღებით კათოდზე მინარეგების გამოყოფის საშიშროება იქმნება. კათოდური ალუმინის გაჭუჭყანების თავიდან აცილების მიზნით, ანოდური შენადნობი და ელექტროლიტი პერიოდულად იცლება.

ჰუპის პროცესის უფრო გვიანდელ ვარიანტში სხვა შემადგენლობის ელექტროლიტი გამოიყენება. ელექტროლიტში შედის 60% ბარიუმიის ქლორიდი ($BaCl_2$), 23% ალუმინის ფთორიდი (AlF_3) და 17% ნატრიუმიის ფთორიდი (NaF).

ბარიუმის ქლორიდის დნობის დაბალი ტემპერატურის გამო ელექტროლიტის პროცესი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ($750^{\circ}C$) ტარდება. პროცესის ტემპერატურის შემცირებით აბაზანში ჭიბურად ნაკლებად აქტიური გარემო იქმნება, რაც აბაზანის შიგა კედლების მაგნეზით ამოვების საშუალებას იძლევა და, ამასთან, გამოირიცხავს აბაზანის წყლით გაცოცხებისა და აბაზანის ფოლადის გარსაკმის შიგა კედლებზე ელექტროლიტის მყარი ფენის წარმოქმნის აუცილებლობას (კედლების დაცვის მიზნით).

აბაზანის ფსკერზე განლაგებულ ალუმინის ანოდურ შენადნობში სპილენძის შემცველობა 33%-ს შეადგენს, ხოლო შენადნობის კუთრი წონა 3-ის ტოლია. ქლორიდ-ფთორიდებისგან შემდგარი ელექტროლიტის შუალედური ფენის კუთრი წონა ამ შემთხვევაში 2,7 უდრის, ხოლო ზედა, სუფთა ალუმინის ფენის კუთრი წონა (2,3) უტყველი რჩება. თითოეული გამდნარი ფენის სიღრმე 12,5-დან 20 სმ-ის ფარგლებშია.

მიღებული ლითონური პროდუქტის სისუფთავე ამ შემთხვევაში 99,994–99,999% Al-ია. სუფთა ალუმინში მცირე რაოდენობით შედის რკინის, სილიციუმისა და სპილენძის მინარეგები. აბაზანის საშუალო ძაბვა 5–7 ვოლტია, ხოლო დენის ძალა 16,000 აშპ. დენის სიმძლავრე შეადგენს 0,3–0,4 აშპ/სმ². ერთი კილოგრამი ალუმინის რაფინირებაზე 16–20 კვტ.სთ. იხარჯება.

ალუმინის ელექტროლიტით რაფინირება ძალზე ძვირი ჯდება და ამიტომ იგი მცირე მასშტაბებში გამოიყენება.

ტარდება კვლევითი საშუალებები ალუმინის რაფინირების სხვა მეთოდების დასამუშავებლად. შექმნილია დაბალ ტემპერატურაზე მკვლარე ლითონებით (თუთიით, მაგნიუმით და ვერცხლისწყლით) ალუმინის ექსტრაირების რამოდენიმე ხერხი. მათ შორის განირჩევა მაგნიუმის ხერხი, რომელიც მთლიანად ალუმინის (ძირითადად დურალუმინის) რაფინირებისთვის გამოიყენება.

რაფინირების პროცესი გასასუფთავებელი ალუმინის მაგნიუმთან შედნობით იწყება (მაგნიუმის შემცველობა შენადნობში 25–30%-ის ტოლია). ასეთი შემადგენლობის შენადნობი $500^{\circ}C$ -ზე დნება. ამ პირობებში რკინის ხსნადობა შენადნობში ძალზე მცირდება. შედეგად რკინა $AlFe_3$ კრისტალების სახით გამოიყოფა და სადნობი აგრეგატის ძირზე გროვდება. სილიციუმის გარკვეული რაოდენობა მაგნიუმთან წარმოქმნის მსუბუქ სილიციდს, რომელიც ნაღობის ზედაპირზე ამოტივტივდება. ამავე დროს, რკინის ნაწილი მანგანუმს უერთდება. რკინის, სილიციუმის და მანგანუმის ინტერმეტალური ნაერთების კრისტალები, რომლებიც დნობის პროცესში წარმოიქმნება, ალუმინ-მაგნიუმის შენადნობიდან ფილტრაციით ცალკედება.

ფილტრაციის შემდეგ ალუმინ-მაგნიუმის შენადნობიდან მაგნიუმი განიდევნება ინდუქციურ ლუმენში, რომელსაც კონდენსატორები გააჩნია. თუ საწყისი შენადნობი მინარეგის სახით თუთიას შეიცავს, მაშინ ამ ოპერაციის დროს ისიც განიდევნება. მაგნიუმისა და თუთიის აქროლის პროცესი დაბალ

ვაკუუმში 900–950°C-ის ზღვარზე ტარდება (კონდენსატორში ტემპერატურა 200°C-ია). ამ პირობებში მაგნიუმი და თუთია ორთქლდება ლითონიდან (ალუმინიდან) და მათი ორთქლი კრისტალური მტკეწების სახით კონდენსირდება კონდენსატორში.

აქოროლის პროცესის დამთავრების შემდეგ ლუმელში წყალბადი შეაქეთ და, ამავე დროს, კონდენსატორის 750°C-მდე გახურებით კრიჭიდან თხევადი მაგნიუმისა და თუთიის გაღმოსხმა ხორციელდება.

ამ გზით რაფინირებული ალუმინი 0,1% რკინას, 0,2% მაგნიუმს, 0,5% სილიციუმსა და 0,05% თუთიას შეიცავს. ერთ ტონა რაფინირებულ ალუმინზე 2000–2300 კვტ.სთ. ელექტროენერჯია და 100–12 მპ წყალბადი იხარჯება.

თემა 10. მავნიუმის მტალსრები

მაგნიუმი, 1,5-ჯერ მსუბუქია ალუმინზე და 4,5-ჯერ – რკინაზე. მაგნიუმის ადვილად აალებს შესახებ გავრცელებული აზრი არასწორია. ზოდის ან ნამზადის სახით მაგნიუმი ცეცხლსაშიში არ არის. იგი შეიძლება ააღდეს თხევად ან დნობის წერტილთან მიახლოებულ ტემპერატურაზე გახურებულ მღვობარებაში მხოლოდ მასში, თუ ჯაერთან შეხებაშია. ისევე, როგორც ნახშირბადის და ალუმინის ფხენილები, ფხენილისებრი მაგნიუმიც აალებს საშიშროებით გამოირჩევა. ფხენილისებრი მაგნიუმი და ალუმინი წვის დროს კაშკაშით ნათდება და გამოყოფს დიდი რაოდენობის სითბოს, რომელიც 3000°C ტემპერატურას აეთიარებს. მაგნიუმის ფხენილი ფაროდაა ცნობილი, როგორც მოკლე ხნით გამათებელი ფოტოგრაფირების დროს.

მაგნიუმის შენადნობები უფრო ნაკლებად გამოიყენება, ვიდრე – ალუმინისა. მექანიკური და ტექნოლოგიური თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, მაგნიუმში დანამატების სახით ალუმინი და თუთია შეაქეთ, ხოლო მანგანუმის დანამატის შეტანით მაგნიუმის კოროზიული მდგეობა იზრდება.

ფართოდაა ცნობილი მაგნიუმის შენადნობი „ელექტრონი“ (10%Al და მანგანუმის, თუთიისა და კადმიუმის მცირე დანამატები).

მაგნიუმის შენადნობები თვითმფრინავებისა და ავტომობილების დეტალების დასამზადებლად გამოიყენება, რაც სატრანსპორტო აპარატების წონის შემცირებისა და მათი ტვირთაშეწობის გაზრდის შესაძლებლობას იძლევა.

ძალადი ქიმიური აქტიურობის გამო, მაგნიუმი ბუნებაში ჟანგბადთან შეკრული ნაერთის სახით მოიპოვება. მაგნიუმის მისაღებად გამოიყენება მაგნეზიტი, დოლომიტი, კარნალიტი და ბიზოფიტი.

მაგნეზიტი ($MgCO_3$) ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში. ბუნებრივი მაგნეზიტი ტალკის სახით CaO -სა და SiO_2 -ს შეიცავს. მაგნეზიტი შედის დოლომიტი და სხვა მინერალები და აგერთვე Al_2O_3 და Fe_2O_3 .

დოლომიტი მთის ქანია, რომელიც ორჯერად კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატს ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) წარმოადგენს. დოლომიტში, როგორც წესი, მინარეების სახით შედის კვარცი, კალციტი, თაბაშირი და სხვა. დოლომიტი ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში და იგი დედამიწის ქერქის შემადგენლობაში შემაჯალი მთის ყველა ქანის დაახლოებით 0,1%-ს შეადგენს.

კარნალიტი ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$) – მაგნიუმისა და კალიუმის ბუნებრივი ქლორიდი ძალზე ჰეროსკოპული კრისტალური ნივთიერებაა. ამა თუ იმ მინარეის შემცველობაზე დამოკიდებულობით კარნალიტი შეიძლება განირჩეოდეს ვარდისფერი, ყვითელი ან რუხი შეფერილობით.

ბიზოფიტი ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ბუნებრივი კარნალიტის გადამქმავების შედეგად მიიღება. გარდა ამისა, მისი ულვეი მარაგი ზღვის წყალშია (ზღვისა და ოკეანის წყლებში მაგნიუმის შემცველობა განისაზღვრება ასტრონომიული რიცხვით – $6 \cdot 10^{16}$ ტონით), რომელიც დაახლოებით 0,3% $MgCl_2$ -ს შეიცავს. საკუთრივ ზღვის წყალი იშვიათად გამოიყენება, როგორც ბიზოფიტის მიღების წყარო, ვინაიდან რიგ ქვეყნებში მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა მარილიანი ტბები, რომლებიც ოდესღაც ზღვას უერთდებოდა. ამ ტბების წყლებში მაგნიუმის ქლორიდის შემცველობა რამდენჯერმე მეტია, ვიდრე ზღვის წყალში.

თანამდგეროვე პრაქტიკაში ლითონური მაგნიუმის მიღების ორი ხერხი გამოიყენება – ელექტროლიტური და თერმული.

ელექტროლიტური ხერხით მაგნიუმის მიღება ხორციელდება მაგნიუმის გამდნარი ქლორიდული მარილების ელექტროლიზით. მაგნიუმის ელექტროლიტური მიღება მისი მარილების წყალხსნარებიდან განუხორციელებელია, რადგანაც მაგნიუმის ელექტროქიმიური პოტენციალი ბევრად უარყოფითია წყალბადის იონების კათოდზე გამოყოფის პოტენციალზე, რაც გამოიწვევს ისეთი პირობების შექმნის შესაძლებლობას, როდესაც კათოდზე წყალბადის გადატემაზე უფრო უარყოფითი იქნება, ეიდან მაგნიუმის გამოყოფის პოტენციალი. აქედან გამომდინარე, მაგნიუმის მარილების წყალხსნარის ელექტროლიზი მხოლოდ წყლის დაშლითა და კათოდზე წყალბადის გამოყოფით წარიმართება.

ელექტროლიზით მაგნიუმის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი რამდენიმე სტადიისგან შედგება. მათგან ძირითადია: მაგნიუმის უწყლო, სუფთა მარილების მიღება, ამ მარილების გამდნარ მდგომარეობაში ელექტროლიზი და მაგნიუმის რაფინირება.

ელექტროლიზით მაგნიუმის მიღების ვარიანტები ელექტროლიზზე შემოსული მარილების (კარნალიტი, მაგნიუმის ქლორიდი და ა.შ.) სახეობითა და ამ მარილების მიღების სერხებით (მაგნიზიტის დაქლორება, მაგნიუმის ქლორიდის გაუწყლოება და ა.შ.) განსხვავდება ერთმანეთისგან.

მაგნიუმის მიღების თერმული ხერხი ითვალისწინებს მაგნიუმის ოქსიდის ნახშირბადით, სილიციუმით ან სხვა აღმდგენით აღდგენას მაღალი ტემპერატურისა და ღრმა ვაკუუმის პირობებში.

10.1. მაგნიუმის უწყლო ქლორიდების მიღება

მაგნიუმის უწყლო ქლორიდული მარილები ორი გზით მიიღება – მაგნიუმის ოქსიდური ნერთების დაქლორებით და მაგნიუმის ქლორიდული მარილების კრისტალოჰიდრატების გაუწყლოებით. მაგნიუმის ოქსიდის მიღების ძირითად ნედლეულს მაგნიზიტი წარმოადგენს. მისი გამოწვეთ 700-900°C-ზე მიიღება მაგნიუმის ოქსიდი,



რომელიც კაუსტიკური მაგნიზიტის სახელწოდებით არის ცნობილი. გამოწვის პროცესი ცილინდრული ფორმის მბრუნე ლუმელში ტარდება. გამოწვის წინ მაგნიზიტი ბურთულეებიან წისქვილში ქუცმაცდება 100 მეტრამდე.

გამოწვის შედეგად მიღებული მაგნიუმის ოქსიდი (კაუსტიკური მაგნიზიტი) წმინდად დაქუცმაცებულ (200 მეში) ქვანახშირში ირევა. ნარევი, რომელსაც შემკერელის სახით მაგნიუმის თხევადი ქლორიდი ემატება, ბრიკეტირდება. ბრიკეტები მბრუნე ლუმელში კოქსვას ექვემდებარება დანახშირების გარეშე. ლუმელში ვითარდება ტემპერატურა, რომელიც ბრიკეტის ნაწილაკების მხოლოდ შეწვებებას უწყობს ხელს. თერმულად დამუშავებული ბრიკეტები დაქლორვის უბანზე იგზავნება.

კაშში შემავალი აღმდგენის (ქვანახშირი) თანხლებით მაგნიუმის ოქსიდის დაქლორვის რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:



რეაქცია საკმაოდ სრულად მიმდინარეობს 800°C-ზე და მისი ეგზოთერმულობის გამო, დამატებით სითბოს მცირე რაოდენობას საჭიროებს.

მაგნიუმის ოქსიდის დაქლორვა შახტური ტიპის ელექტროლუმელში (სურ. III. 104.) ტარდება. ლუმელის ფოდლის გარსაკში, რომლის სიმაღლე 7,5 მ-ია, ხოლო შიგა დიამეტრი 2,30 მ (ლუმელი შენიდან ამოგებულია ფასონური შამოტის სპეციალური აგურით), მრგვალი ფორმისაა. ლუმელის ქვედა ნაწილში შედის ერთმანეთის მიმართ 120°-ით მიმართული ნახშირბადის ელექტროდების ორი რიგი (რიგში სამი ელექტროდია). ელექტროდების ერთი რიგი მეორე რიგის მიმართ 60°-ით არის გადახრილი.

ლუმელის თავზე განლაგებული მასალის ჩასატვირთი ყელი ქერამტულად იხურება, რაც ლუმელიდან აირების გაპარვას გამოიწვევს. ლუმელი ხურდება ელექტროდების შორის ჩატვირთული გადასამუშავებელი ბრიკეტების ელექტროწინაობით, რომელიც 1000°C-მდე ტემპერატურის განვითარების შესაძლებლობას იძლევა. დაქლორვის პროცესში კაშშით გავსებული შახტური ელექტროლუმელი შეიძლება, პირობით სამ ზონად დაიყოს. ზედა ზონაში (2-3 მ სიმაღლეზე) წარმავალი აირებით კაშმის შეთობა და კაშშიდან ტენის განდევნა ხდება. ამ ზონის ქვედა ნაწილში ძირითადად სარეაქციო ზონაში გამოყოფენბული ქლორის შთანთქმა იწყება.

სარეაქციო ზონაში მიმდინარეობს დაქლორვისა და ამ დროს გამოყოფილი ჟანგბადის შეკერის პროცესები. ამ ზონაში ტემპერატურა რამდენაღმე მეტი უნდა იყოს მაგნიუმის ქლორიდის დნობის წერტილზე, რათა წარმოქმნილი ქლორიდი გადნეს და ქვემოთ ჩავიდეს. პროცესის ნორმალურ რეჟიმში მსველელებისთვის აუცილებელია კაზმის ნაკროვანი ფორმის შენარჩუნება სარეაქციო ზონის ქვედა ფენების ბოლოში მის ჩასვლამდე, წინააღმდეგ შემთხვევაში, ქლორი თანაბრად არ განაწილდება ლუმელის მთელ კვეთზე.

ლუმელის ქვედა ზონაში თხევადი ქლორით წაატებული მაგნიუმის ოქსიდის ნაწილაკების დაქლორვა ხდება ქლორის აღმაკული ნაკადით. ამ ზონაში ტემპერატურა 150-200°C-ით მეტი უნდა იყოს მაგნიუმის ქლორიდის დნობის ტემპერატურაზე, რათა მისი გადნეა ლუმელის ძირის საცმიდან არ შეუერხდეს. ლუმელში ქლორის მიწოდება ელექტროდების რიგებს შორის განლაგებული ქმინებიდან ხორციელდება.

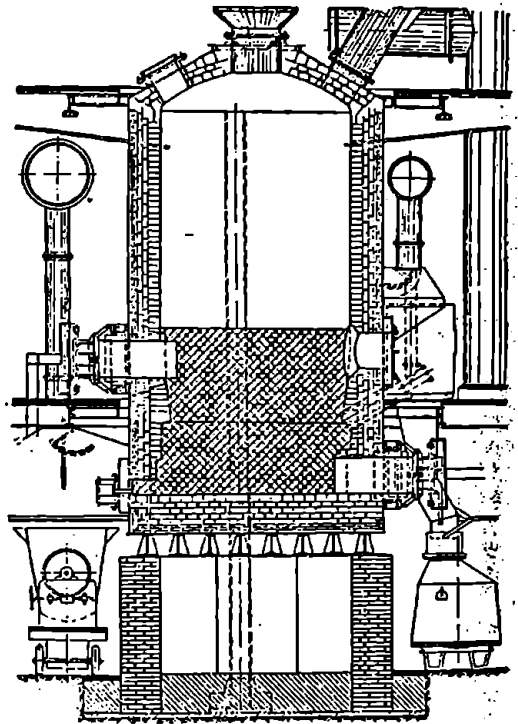
ლუმელის ძირში ჩასული მაგნიუმის ქლორიდი ყოველ ერთ საათში გადმოისხმება და გადასამუშავებლად ელექტროლიზის უბანზე იგზავნება.

დაქლორვის პროცესში ბრიკეტები, პრაქტიკულად, მთლიანად იხარეება. ბრიკეტების მცირე რაოდენობა, რომელიც რჩება, ძირითადად კავშირის, თიხისა და რკინის ოქსიდისგან შედგება. ლუმელი ნარჩენებისგან 3-4 კვირაში ერთხელ სუფთავდება (გასუფთავების დროს ლუმელი ჩერდება).

ლუმელიდან წარმავალი აირები დაახლოებით 2,5% HCl-ს, 20% CO₂-ს და 25% CO-ს შეიცავს; დანარჩენი აზოტსა და ჟანგბადზე მოდის. ვარდა ამისა, ამ აირებით ორთქლის სახით წაიტაცება დაახლოებით 100 გ/მ³ მაგნიუმის, რკინის და სილიციუმის ქლორიდები. ეს აირები მანებელია და მათი ატმოსფეროში გაშვება დაუშვებელია. აირგამწმენდში გავლით აირებისგან მაგნიუმის ქლორიდი და მაროლმევა ცალკეულება მაროლმევა მაგნიუმის ოქსიდით განეიტრალებას განიცდის, რის შედეგადც მიიღება მაგნიუმის ქლორიდი, რომელიც ბრიკეტების დამზადების დროს შემკვრელად გამოიყენება. გასუფთავებული აირის კალიორულობა საკმარის მაღალია და ამიტომ იგი სათბობის სახით იხმარება.

ლუმელი პერიოდულ რეჟიმში მუშაობს და დაქლორვის ყოველ ციკლში იგი 150-200 კგ მასალით (ბრიკეტებით) ივსება.

ლოუს პროცესის სახელწოდებით ცნობილ მეთოდში მაგნიუმის მიღების საწყის ნედლეულად ზღვის წყალი გამოიყენება. ზღვის წყლის ხსნარზე კალციუმის ჰიდროქსიდის დამატებით ხსნარიდან გამოიყოფა ნალექი, რომელიც 17% მაგნიუმის ჰიდროქსიდს (ბიზოფიტს) შეიცავს. პროცესი დიდი მოცულობის კოდებში ტარდება. მიღებული ნალექი ოფილტრება და გაფილტრის შემდეგ მაროლმევათი განეიტრალებას განიცდის. ნეიტრალიზაციის შემდეგ ხსნარი, რომელიც 36% მაგნიუმის ქლორიდს შეიცავს, ფსევდოკათხევაადების საშრობში დეჰიდრატაციას ექვემდებარება. დეჰიდრატირებული გრანულები 74% MgCl₂-სა და 20% H₂O-ს შეიცავს. ასეთი შენადგენლობის გრანულები მიემართება ელექტროლიზის ხამქროში გადასამუშავებლად.



სურ. III. №4. მაგნიუმის ოქსიდის დაქლორვის შესტრო ელექტროლუმელი (ქლორატორი).

ქლორიდული მარილების მიღების ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენება პირველ რიგში დამოკიდებულია იმ სახის ნედლეულზე, რომელიც საწარმოს გააჩნია. თუკი ნედლეულის ამორჩევის შესაძლებლობა არსებობს, მაშინ უპირატესობა მაგნიზიტის დაქლორებას ენიჭება, რადგანაც მაგნიზიტის გაუწყლოება, შედარებით, ადვილი და იაფია, ვიდრე ბიზოფიტის გაუწყლოება. ქლორიდის მიღების ხერხის შერჩევის დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ქლორის ბალანსს. ქლორიდული მაგნიუმის ელექტროლიზის დროს პროდუქტების სახით მაგნიუმი და ქლორი მიიღება. ამასთან, მხოლოდ 25–30% ანოდური ქლორის იხარჯება ბიზოფიტის გაუწყლოების მეთურ სტადიაზე; დანარჩენი (70%) ქლორის ატმოსფეროში გაშვება დაუშვებელია, ამასთან მისი უტილიზაცია, მაგალითად, გათხევადებით გართულებულია, რადგანაც ანოდური ქლორი ძალზე გაჭუტყვიანებულია ჟანგბადითა და აზოტით. საწარმოში მხოლოდ მაგნიზიტზე მუშაობა ყოველთვის ქლორის უქმარისობას იწვევს, ვინაიდან მისი ნაწილი, მაგნიზიტის დაქლორებისას, როგორც წესი, იხარჯება. ამიტომ ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ორივე ნედლეულის ერთად გამოყენება ისეთი პროპორციით, რომ ბიზოფიტის დანამატის რაოდენობა უზრუნველყოფდეს დაკარგული ქლორის შევსებას. ამ შემთხვევაში ბიზოფიტის გაუწყლოების მეთურ სტადიისა (ელექტროლიზის პროცესში) და მაგნიზიტის დაქლორების შეთავსების შესაძლებლობა იქმნება.

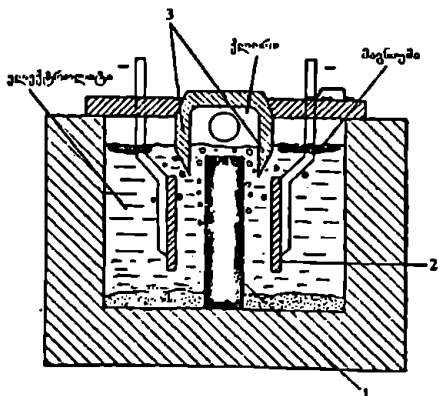
კარნალიტის გაუწყლოება უფრო ადვილია, ვიდრე ბიზოფიტის გაუწყლოება, თუმცა, ელექტროლიტური აბაზანის კვება მარტო კარნალიტით ამ მარილის დიდი რაოდენობით ხარჯვას იწვევს (ერთი ტონა მაგნიუმის მისაღებად 10 ტ კარნალიტი იხარჯება). ამიტომ სუფთა კარნალიტური პროცესი ადარ გამოიყენება.

10.2. მაგნიუმის მიღება ელექტროლიზით

ლითონური მაგნიუმის მიღება მაგნიუმის, კალიუმისა და ნატრიუმის ქლორიდების გამდნარი მარილების ელექტროლიზით ხორციელდება. ზოგჯერ დანამატის სახით ელექტროლიტში კალციუმის ქლორიდი და კალციუმის ფთორიდი შეაქვთ. მაგნიუმის ელექტროლიზირების სქემა ნაჩვენებია III. 105. სურათზე.

ვინაიდან ელექტროლიზის პროცესის ტემპერატურულ პირობებში გამდნარი ელექტროლიტის კუთრი წონა მაგნიუმის კუთრი წონაზე მეტია, კათოდზე გამოყოფილი თხევადი მაგნიუმი ელექტროლიტის ზედაპირზე ადის და მასზე ტივტივს იწყებს. ანალოგიურად იქცევა ანოდზე გამოყოფილი ქლორიც. ამიტომ ელექტროლიტიდან ერთი მიმართულებით მშობრადი ქლორისა და მაგნიუმის ურთიერთ-უკუქმედების თავიდან აცილების მიზნით, აბაზანის ზედა ნაწილში ჩაყენებულია ცეცხლგამსლე ტინარი (ღიაფრავა), რომელიც ანოდისა და კათოდის სივრცეებს განაცალკევებს.

ელექტროლიზის პროცესში დახარჯული მაგნიუმის ქლორიდი პერიოდულად ივსება მაგნიუმის



სურ. III. 105. მაგნიუმის ელექტროლიზირების სქემა.
1. ანოდი; 2. კათოდი; 3. ცეცხლგამსლე ტინარი.

ქლორიდის ახალი პორციით. გამდნარი მაგნიუმი, რომელიც ელექტროლიზის ზედაპირზე გროვდება, ღარის მეშვეობით აბაზანის წინ მდგარ საგუბარში გადადის, საიდანაც ვაკუუმში ჩაშენი მღვანეში დაგროვდება. სადგურ გადმოსხმება და შემდეგ ზოდების სახით ჩამოსხმება. აბაზანის მწარმოებლობა 400–600 კგ მაგნიუმითა დღე-ღამეში. მიღებული ლითონური პროდუქტი 99,8% მაგნიუმს შეიცავს.

ანოდურ სივრცეში გამოყოფილი ქლორი გაიწოვება და გამოიყენება, მაგალითად, მაგნიუმის ოქსიდის (კუსტიკური მაგნიზიტის) დაქლორებაში ან მთლიანად ან ნაწილობრივ მარილმკვავას მისაღებად იხმარება.

მაგნიუმის გრანულირებული ქლორიდი (ბიზოფიტი), რომელიც 20%-მდე წყალს შეიცავს, გამდნარ ელექტროლიტში ჩატეირთვისას პრობლემებს არ ქმნის, ვინაიდან მაღალი ტემპერატურების პირობებში წყლის ძირითადი ნაწილი უმაღლეს ორთქლდება. თუმცა, წყლის დამოსის შედეგად გამოყოფილი ჟანგბა-

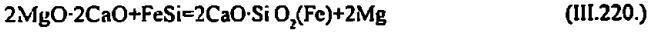
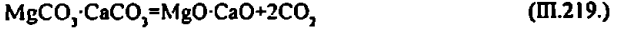
დი ანოდთან ურთიერთქმედებას და ამით ანოდის დამატებით ცვეთას იწვევს (ერთ კოლოგრამ მიღებულ მაგნიუმზე 0,2 კგ ანოდი იხარჯება).

ელექტროლიტში მაგნიუმის ქლორიდთან ერთად რაღაც რაოდენობით მაგნიუმის ოქსიდიც ხდება; გარდა ამისა, მაგნიუმის ოქსიდის წარმოქმნა აბაზანში შესაძლებელია აგრეთვე ელექტროლიტის ჰიდროლიზის განვითარების შემთხვევაშიც. მაგნიუმის ოქსიდთან ერთად იტაცებს სხვა პროდუქტებსაც. ელექტროლიზორის ძირზე ილექება და შლამს წარმოქმნის.

შლამის შემადგენლობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული აბაზანში ჩატვირთულ მასალაზე. აბაზანის ქლორიდული მაგნიუმით კვების დროს შლამის საკარაულო შემადგენლობა ასეთია: 5-10% MgCl₂; 30-35% MgO; 30-40% CaCl₂; 10-15% NaCl+KCl; 2-3% ლითონური მაგნიუმი. შლამის აბოლება აბაზანის ძირიდან 2-3 დღეში ერთხელ ხდება. მაგნიუმის წარმოება აშშ-ში (რომელიც მსოფლიოში მიღებული მაგნიუმის 50% აწარმოებს) მთლიანად ელექტროლიტური მეთოდით სოციელდება.

10.3. მაგნიუმის მიღება სილიკოთერმული მეთოდით

კვლევებით დადგინდა, რომ მაგნიუმის აღდგენა უფრო ხელსაყრელია დოლომიტიდან, ვიდრე მაგნეზიტიდან და რომ აღმდგენად უფრო იაფი ფეროსილიციუმის (FeSi) გამოყენება უმჯობესია, ვიდრე სილიციუმისა. ამიტომ თანამედროვე პრაქტიკაში გამოიყენება მაგნიუმის მიღების სილიკოთერმული ხერხი. რომელიც დოლომიტის კალცინირებისა და კალცინირებული დოლომიტის ფეროსილიციუმით აღდგენის პროცესებისგან შედგება:



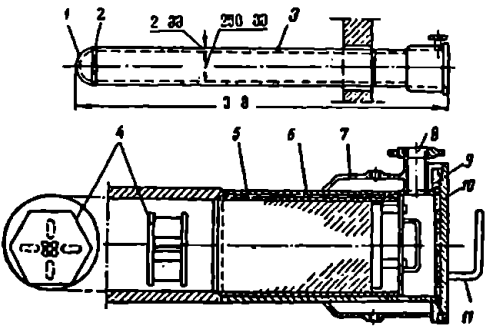
მაგნიუმის მიღების ეს ხერხი კანადაში დამუშავდა ჰიჯონის მიერ. თუ დოლომიტში CaO საკმარაოდენობითაა წარმოდგენილი, მაშინ აღდგენის პროცესი სრულად მიმდინარეობს. დოლომიტის გამოყენების უპირატესობა ის არის, რომ მასში შემავალი CaO ენაცვლება MgO-ს წარმოქმნილ MgSiO₂-ში. კალციუმის ოქსიდის გარეშე მაგნიუმის მნიშვნელოვანი ნაწილი სილიკატთან შეკრულ მდგომარეობაში რჩება.

დოლომიტის ფეროსილიციუმით აღდგენის რეაქციის სიჩქარესა და სისრულეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მლზობი შპატის (CaF₂) შეტანა კაზში. მცირეოდენი პროცენტით კაზში შემავალი CaF₂ 5-15%-ით ზრდის აღმდგენის გამოყენების ხარისხს და რეაქციას აჩქარებს.

სილიკოთერმული ხერხით მაგნიუმის მიღების ტექნოლოგია, შედარებით, მარტივია.

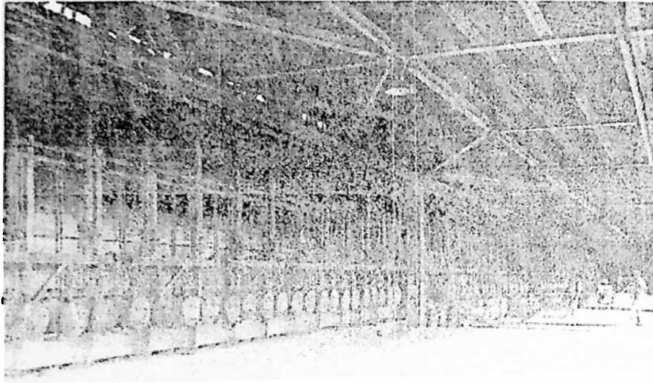
დაქუცმაცებული და კალცინირებული დოლომიტი, ფეროსილიციუმი და მლზობი შპატი ერთმანეთში ირევა. მიღებული კაზში ბრიკეტირდება, გაეარვარების (700°C) შემდეგ ბრიკეტები მხურვალმტკიცე ფოლადის სხმულ რეტორტებში (სურ. III.106.) იტვირთება.

რეტორტები დახურული ბოლოთი ღუმელში თავსდება, ხოლო ღუმელიდან გარეთ გამოსული რეტორტის ნაწილი, რომელშიც ფოლადისგან დამზადებული ცილინდრული ფორმის გასახსნელი კონდენსატორია შედგმული, მაგნიუმის ორთქლის კონდენსაციის გადვილების მიზნით, წყლით ცივდება. კონდენსატორსა და კაზში შორის მოთავსებული რაღაცაოვლი ეკრანი გაეარვარებული კაზმიდან გამოსხივებული, სითბოთი კონდენსატორის გადახურებას აბრკოლებს. რეტორტა ჰერმეტიკულად იხურება თავსახურით. ღუმელში ჰორიზონტალურადაა განლაგებული დაახლოებით 20 რეტორტა (სურ. III.107.)



სურ. III. 106. დოლომიტის ფეროსილიციუმით აღდგენის პროცესის ჩასატარებელი რეტორტა.

- 1 სხმული ძარა 2 შენადელი ნაკერა 3 შურეაღ-მტკიცე ფოლადის სხმული მალა 4 რაღაცაოვლი ეკრანი 5 კონდენსატორის 6 ფოლადის უნაკერო მალა 7 წყლის მაცყარა 8 გაყუებურ ხაზთან შეკრების მალა 9 რეზინის შეესადება 10 თავსახურა 11 სახელურა



სურ. III. 117. პოლანის პროცესის ჩასატარებელი დექანტები რეტორტებში.

ლუმენის გახურება აირით, თხევადი სათბობით ან ელექტრობით ხორციელდება. რეტორტები პერიოდულ რეჟიმში მუშაობს. საშუალო ციკლის ხანგრძლივობა 10 საათს შეადგენს. აღდგენის პროცესი 1155–1175°C-ის ზღვრებში ტარდება დაბალი ვაკუუმის (0,1 მმ ვერც. წყლ. სვეტ.) ქვეშ (მაგნიუმის დუღილის ტემპერატურა 1109°C-ია, ხოლო დნობის ტემპერატურა 650°C). მაგნიუმის ორთქლიდან მსხვილი და მჭიდრო კრისტალების კონდენსაციის მიზნით, კონდენსატორის ტემპერატურა 475–450°C შეადგენს. რეტორტაში ჩატვირთული 100 კგ კაზმის გადამუშავებას 9-9,5 საათი ესაჭიროება. პროცესის დამთავრების შემდეგ ლუმენიდან გამოღებული რეტორტები ცივდება და გაცივების შემდეგ მათი ვაკუუმირება წყდება, რეტორტებს თავსახურები ესდება და მაგნიუმის კონდენსატი ამოიღება. მაგნიუმის კრისტალური კონდენსატი გადნობას ექვემდებარება. ოცი რეტორტა დღე-ღამეში 600–700 კგ მაგნიუმის კონდენსატს იძლევა. კონდენსატი 99,98% მაგნიუმს შეიცავს.

თავი 11. ვოლფრამის მატალურგია

წარმოებული ვოლფრამის 90%-ზე მეტი სატყალური ვოლფრამიანი ფოლადების წარმოებაში გამოყენება. ვოლფრამიანი ფოლადის (8–20%W) 600–650°C-მდე გახურებით მისი მექანიკური თვისებები უზნიშვნელოდ იცვლება მაშინ, როდესაც ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი ფოლადები თავის სიმტკიცეს უკვე 250°C-ზე კარგავს. ამიტომ ვოლფრამიანი ფოლადისგან დამზადებული საჭრისებო ლითონების დამუშავება ათჯერ უფრო მაღალი სიჩქარით შეიძლება. ეს ფოლადები ცნობილია, როგორც „სწრაფმტრელი“ ფოლადები.

ვოლფრამის ელექტრონათურების ძაფები დღესაც შეუცვლელია (ელემენტების პერიოდულ სისტემაში ვოლფრამი ყველაზე მაღალი დუღილის წერტილით გამოირჩევა; მისი დუღილის ტემპერატურა 5930°C-ია). ვოლფრამის კარბიდიდან დამზადებული სალი შენადნობები ფართოდ გამოიყენება ტექნიკის მრავალ დარგში. ზოგჯერ ამ შენადნობებით ძვირფასი და დეფიციტური ალმასების შეცვლა ხდება.

სხვადასხვა მიზნით მოხმარებიდან გამოდინარე, ვოლფრამის პროდუქტა გამოდის შემდეგი სახით: ვოლფრამის რკინასთან შენადნობი – ვეროვოლფრამი, ვოლფრამის ანჰიდრიდი (WO_3), ვოლფრამის მტეა (H_2WO_4) და მისი მარილები (ვოლფრამატები); აგრეთვე – ფუნქციონირებელი ან კომპლექტური ლითონური ვოლფრამი.

ბეტალურგული გადამუშავების ძირითად საწყის ნედლეულს ვოლფრამის მადნების გამდიდრების შედეგად ძალზე უკონცენტრატო წარმოადგენს. უშუალოდ მადნის გადამუშავება იშვიათად ხდება (მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მადანი გამდიდრებას არ ექვემდებარება).

სამრეწველო მნიშვნელობის მადნებს განეკუთვნება მხოლოდ ვოლფრამიტი ($[Fe, Mn]WO_4$) და შეელიტი ($CaWO_4$). ვოლფრამიტი – მყარი ხსნარია, რომელიც გოტზენრიტისა ($MnWO_4$) და ფერბერიტის ($FeWO_4$) მინერალებისგან შედგება. ვოლფრამიტი სუსტად მაგნიტურია, შეელიტი კი არამაგნიტური.

ვოლფრამის მადნებში WO_3 -ის შემცველობა 0,4-დან 3%-ის ფარგლებშია. მადნებს თან სდევს კალა, კასტერიტის (SnO_2) სახით, აგრეთვე – მოლიბდენის, ბისმუტის, დარიშხანის და სპილენძის მინერალები. ვოლფრამიტის მადნები გრავიტაციული და მაგნიტური მეთოდებით მდიდრება, შეკლიტური მადნები კი ფლოტაციით. ვოლფრამის კონცენტრატები 40-70% WO_3 შეიცავს.

მინარეების შემდგომი განდევნის მიზნით, ვოლფრამის კონცენტრატები გამოწვას ან მგავათი დამუშავებას ექვემდებარება. გამოწვის შედეგად გოგირდი და დარიშხანი განიღვრება, ხოლო მგავათი დამუშავება რკინისა და სხვა მინარეების განდევნას ითვალისწინებს.

11.1. ვოლფრამის კონცენტრატების გადამამუშავება

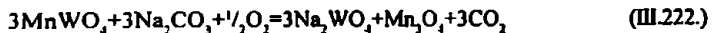
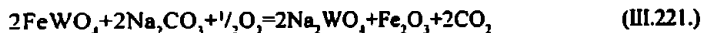
ვოლფრამის კონცენტრატების გადამამუშავების პირველი ეტაპი ვოლფრამის სუფთა ანიდრიდის მიღებასთან არის დაკავშირებული. წყალში უხსნადი ვოლფრამის ანიდრიდი ყვითელი ფერის კრისტალური ნივთიერებაა.

მეორე ეტაპზე ლითონური ვოლფრამის მიღების მიზნით, ვოლფრამის ანიდრიდი (WO_3) წყალბადით ან ნახშირბადით აღდგენას განიცდის $800-1300^{\circ}C$ -ზე. შედეგად ვოლფრამი ლითონური ფხვნილის სახით მიიღება. ნახშირბადით აღდგენა უფრო იაფია, მაგრამ მისი გამოყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა მიზნობრივ პროდუქტში კარბიდის მცირე რაოდენობით შემცველობა დაშვებულია. ვოლფრამი, რომელიც თუნუქის გლინვაზე ან მავთულის გამოჭიმვაზე იხმარება, მხოლოდ წყალბადით აღდგენას ექვემდებარება, ვინაიდან კარბიდის შემცველი ლითონის პლასტიკურობა და ჭედადობა დაბალია.

კომპაქტური ვოლფრამის მისაღებად ფხვნილთა მეტალურგიის ხერხი გამოიყენება. ფხვნილისებრი ლითონი დაწნეხას ექვემდებარება. წნეხის შედეგად სწორეუთსა პრიზმული ფორმის ბრიკეტები (შტაბიკები) მიიღება. შტაბიკებში ელდენის გატარებით იგი $3000-3100^{\circ}C$ -მდე ხურდება (ვოლფრამის დნობის წერტილი $3417^{\circ}C$ -ს შეადგენს). გახურების პროცესში ფხვნილის ნაწილაკები შედუღებას განიცდის; შტაბიკები სიმტკიცესა და სიმკვრივეს იძენს, რომელიც აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მათი შემდგომი ჭედვისა და ადოვის პროცესების განხორციელების დროს.

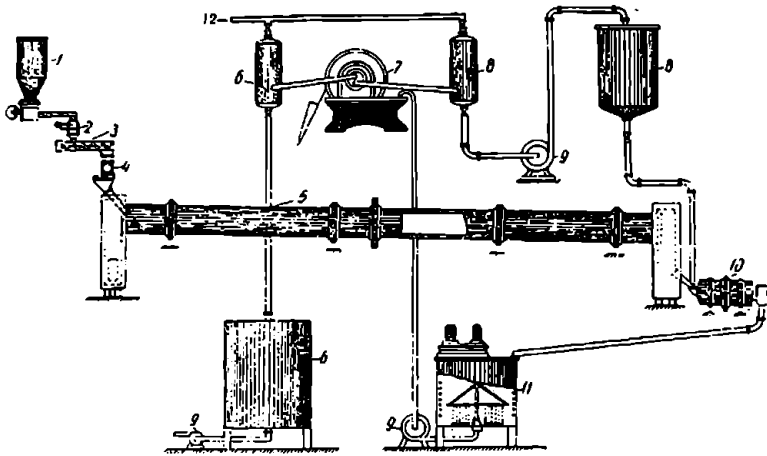
ნედლეულის პირველადი გადამამუშავების ეტაპზე მიზანშეწონილია ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების გამოყენება. ვოლფრამის მინერალების წყალში ხსნად ნაერთებში გადაყვანის მიზნით, აუცილებელია მათი წინასწარი დამუშავება რეაგენტით. წინასწარი დამუშავების ეს პროცესი მადნის კონცენტრატის დაშლას ითვალისწინებს. რეაგენტის სახით სოდა გამოიყენება (ფართოდაა გავრცელებული პრაქტიკაში).

ვოლფრამიტის კონცენტრატის სოდასთან შეცხობით ვოლფრამი გადადის ნატრიუმის ვოლფრამატში:



ეს რეაქციები პრაქტიკულად შეუქცევადია, ვინაიდან CO_2 განიღვრება სარეაქციო ზონიდან და ამასთან, ორვალენტური რკინისა და მაგნიუმის დაფარვა ხდება. შეცხობა $800-850^{\circ}C$ -ზე ტარდება, ხოლო შედნობა – $900-1000^{\circ}C$ -ზე. შედნობის დროს კაზში ენგბადის მულწევა განხლებულია, ამიტომ დამატებითი მგანგავის სახით გამოიყენება გეარჯილი ან ნატრიუმის ქლორატი. პროცესების მცირე მასშტაბებში ჩატარების დროს გამოიყენება ამრეკლი ლუმელები, რომელთა ჭედის ფართობი $6-8\text{მ}^2$ -ს არ აღემატება (ლუმელები მაშუთით ან ბუნებრივი აირით ხურდება). კაზის შემადგენლობაში შულის კონცენტრატა, სოდა ($10-15\%$ -ით მეტი სტეკიომეტრიულზე) და, აუცილებლობის შემთხვევაში, მცირეოდენი რაოდენობის გეარჯილი. ლუმელიდან შენადნობი თხევად მდგომარეობაში გამოდის ან, შეცხობის შემთხვევაში, ცხობურას სახით გადმოიტვირთება. ნედლეულის დიდი რაოდენობით გადამამუშავების დროს გამოიყენება შეცხობის უწყვეტი პროცესი, რომელიც მილისებრ მპრუნავ ლუმელში ტარდება (სურ. III. 107.).

დაქუცმაცებული ცხობურა ან შენადნობი წყლით გამოტუტვას ექვემდებარება ხის ან რკინის კოლებში, რომლებიც შემრევი მოწყობილობითაა აღჭურვილი (ხსნარის ტემპერატურა $70-90^{\circ}C$ შეადგენს). წინაღობიანი პრინციპით ორ-სამ ეტაპად გამოტუტვის შედეგად მიღებულ ხსნარებში WO_3 -ის შემცველობა $200-270$ გ/ლ უდრის.

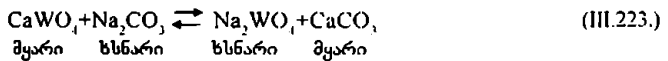


სურ. III.107. ვოლფრამიტის სიდასთან შეცხობის ხერხით გადამუშავების უწყვეტი პროცესის აპარატურული სქემა.

1 საკაზე ბუნჯერა; 2 ავტომატური საკონტროლო ხასწორი; 3 შეძრევი; 4 თევზისებრი შევება; 5 მბრუნავი ღუმელი; 6 ნატრიუმის ვოლფრამიტის ხსნარების შექმნის; 7 დილისებრი ვაკუუმ-ფილტრი; 8 სუსტი ხსნარებისა და სარგისი წყლების შექმნა; 9 ტუმბოები; 10 სველი დაქუცმაცების წისქვილი; 11 გამომტუტავი; 12 ვაკუუმურ ტუმბოსკენ.

უხსნადი ნარჩენებისგან ხსნარის განცალკევება ფილტრაციით ან უწყვეტი წინაღენიანი დეკანტაციით ხორციელდება საღებავების სისტემაში.

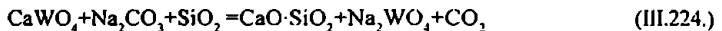
შეელიტური კონცენტრატის სოდასთან შეცხობით შეელიტვი ნატრიუმის ვოლფრამიტში გადადის. ვოლფრამიტისგან განსხვავებით, შეელიტის სოდასთან შეცხობა (შედნობა) ვოლფრამის ხსნარში გადაყვანის დამაკმაყოფილებელ შედეგებს არ იძლევა იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც კაზში მნიშვნელოვანი სიჭარბითაა წარმოდგენილი სოდა. შედნობის ტემპერატურაზე (800-900°C) რეაქცია Na_2WO_4 -ის წარმოქმნით მიმდინარეობს. თუმცა ცხობურას გამოტუტვის დროს შესაძლებელია შექცეული რეაქციის განვითარება, რომლის დროსაც კეტეროგენული წონასწორობა მყარდება:



ეს დასტურდება იმით, რომ ცხობურას გახანგრძლივებული გამოტუტვით ნაღვეში ვოლფრამის შემცველობის ზრდა შეინიშნება. ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით ზემოთ მოყვანილი

რეაქციის (III.223.) წონასწორობის კონსტანტა (გამოსახული $\frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3]}{[\text{Na}_2\text{WO}_4]}$ წონით კონცენტრაციების ფარდობით) ხსნარში (90°C-ზე) 0,78 შეადგენს. აქედან გამომდინარე, ვოლფრამის ხსნარში შესაკვებლად სოდის მინიმალური აუცილებელი რაოდენობა დაახლოებით სამჯერ მეტი უნდა იყოს სტეკიომეტრიულზე.

შეელიტის დაშლის პროცესის რატიკული შეუქცევადობის უზრუნველსაყოფად შესაძნობ (შესაცხობ) კაზში შექვეთ საჭირო რაოდენობის კვარცის ქვიშა, რომელიც უხსნად სილიკატთან კალციუმის შესაკრავად გამოიხსნება:



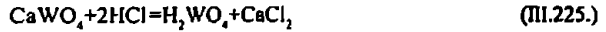
მაინც, ამ შემთხვევაშიც კი შეელიტის სრული დაშლისათვის აუცილებელი ხდება კაზში მნიშვნელოვანი სიჭარბით (რეაქციით გათავალისწინებულ რაოდენობასთან შედარებით) სოდის (50-დან 100%-მდე) შეტანა.

დამუშავებულია უშუალოდ შევლიტური კონცენტრატის გამოტუტვის მეთოდი ავტოკლავეში სოდის ხსნარის გამოყენებით. პროცესი 180–200°C-ის ტემპერატურებისა და 15 ატმ. წნევის პირობებში ტარდება (სურ. III. 107²). თეორიულთან შედარებით, სოდის 4-ჯერადი სიჭარბე ხსნარში 95–98% ვოლფრამის ხსნარში გადაყვანის შესაძლებლობას იძლევა. ეს მეთოდი განსაკუთრებით გამოსადგენია არაკონდლიტური შევლიტური კონცენტრატების გადასამუშავებლად.



სურ. III. 107². შევლიტური კონცენტრატების სოდის ხსნარით დისამუშავებელი ავტოკლავები.

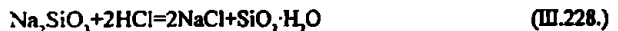
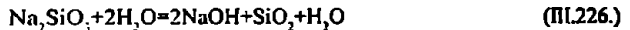
შიდღარაი და სუფთა შევლიტური კონცენტრატი მარილმჟავათი შეიძლება დაიშალოს:



ამ ხერხით მიღებული ვოლფრამის მჟავა, რომელიც მომდევნო ეტაპზე გასუფთავებას ექვემდებარება, 2–3% მინარევებს შეიცავს. კონცენტრატის მჟავათი დაშლის ხარისხი ძლიერ მერყეობს სხვადასხვა სახადოდან მიღებული კონცენტრატებისთვის და 90%-დან 99%-ს შეადგენს.

ვოლფრამიტური და შეყვლიტური კონცენტრატების გადამუშავების შედეგად მიღებული ხსნარები ერთი და იგივე სახის მინარევებს შეიცავს. განსხვავება მხოლოდ რაოდენობაშია და ამიტომ ხსნარების გასუფთავების მეთოდები თითქმის ანალოგიურია.

ხსნარის გასუფთავება სილიციუმის მჟავასგან, რომელიც ნატრიუმის სილიკატის სახითაა ხსნარში, ჰიდროლიზს ეწყობება. ხსნარის მარილმჟავათი შემკვევისას 8–9 pH-მდე ჰიდროლიზი ვითარდება და ნატრიუმის სილიკატი იშლება სილიციუმის მჟავას გელის წარმოქმნით:



ნატრიუმის ვოლფრამატის ჰიდროლიზი, რის შედეგადაც H_2WO_4 -ის ნალექი წარმოიქმნება, იწყება მხოლოდ მაშინ, როდესაც pH-ის მაჩვენებელი დაახლოებით 2-ის ტოლია. ვოლფრამატის ცაცხლებულ ხსნარში მარილმჟავას წვრილი ნაკადის ჩასხმით, ხსნარის ენერგიული არეუთა და მისი შემდეგში ხანგრძლივი დაწოდებით სილიციუმის მჟავას ნალექი წარმოიქმნება (ნალექი ფილტრაციას განიცდის).

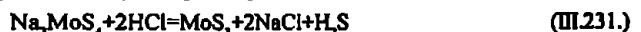
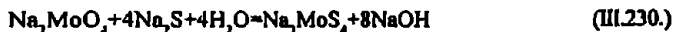
დარიშხანისა და ფოსფორის განდევნა დარიშხანის და ფოსფორის მჟავების ძველად ხსნად მკენიუმანი მარილების წარმოქმნას ეუფნება. დალევის წინ არსენიტი ნატრიუმის ჰიპოქლორიტით იფანება და არსენატიში გადადის:



ამის შემდეგ ხსნარს ემატება ქლორიანი მკენიუმი და ხსნარის 3–4-საათიანი დუღილის შედეგად წარმოიქმნის ნალექი გაფილტრებას ექვემდებარება. ნალექი $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ -ისა და $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2$ -ისგან შედგება.

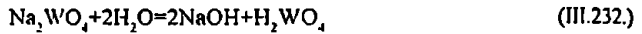
დარიშხანისა და ფოსფორისგან უფრო სრული გასუფთავების მიზნით, ხსნარში ერთდროულად შეჰეთ ამიაკი და ამონიუმის მარილი; ამ შემთხვევაში, ხსნარის ხანგრძლივი დაყოვნებით ნალექში გადადის $\text{NH}_4\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$ -ისა და $\text{NH}_4\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2$ -ის კიდევ უფრო ნაკლებად ხსნადი ორმკვი მარილები.

მოლიბდენასგან გასუფთავებას მიზნით, ხსნარს ნატრიუმის სულფიდი ემატება. სულფიდის დამატებით მოლიბდენი ვოლფრამზე წინ იკრება ხსნად თიოზარიოტან. შემდეგ კი ხსნარის მარილმჟავათი შემკვევის შედეგად მოლიბდენი MoS_3 -ის სახით გამოილეკება.



ვოლფრამის დანაკარგის შემცირება ნატრიუმის ზუსტი დოზირებით ხდება.

ხსნარის მინარევებისგან გასუფთავებას შემდეგ ხსნაროდან ვოლფრამის მჟავას გამოლეკვა ხდება. ნატრიუმის ვოლფრამატის ხსნარის შემკვევებით ტუტე ნიტრატილიზაციას განიცდის და Na_2WO_4 -ის ჰიდროლიზის შედეგად ვოლფრამის მჟავა ყვითელი ნალექის სახით გამოიყოფა:



ცივი ხსნარებიდან ვოლფრამის მჟავა თეთრი კოლოიდური ნალექის სახით გამოიყოფა. ამ სახით ნალექის ფილტრაცია და გარეცხვა გართულებულია. ამიტომ H_2WO_4 -ის ყვითელი ნალექის სახით მიღების მიზნით, ვოლფრამატის ხსნარი ირევა მდლარე მარილმჟავაში, რომელიც მცირე რაოდენობით აზოტმჟავასა და გვარჯილას შეიცავს. აზოტმჟავა აფერხებს ვოლფრამის ნაწილობრივ აღდგენას ზუთვალენტან ვოლფრამამდე, რომელიც დალექვის პირობებში ხსნადი ნაერთია.

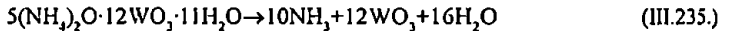
დალექვის პროცესი გუმირებულ მექანიკურ შემრევში ტარდება. ნალექი 6-8-ჯერ ირეცხება დეკანტაციით და ყოველი გარეცხვის წინ 10 საათის განმავლობაში დაწვლამას ექვემდებარება.

უშუალოდ ვოლფრამატის ხსნარიდან გამოლექილი ვოლფრამის მჟავა ტექნიკური სისუფთავისა და იგი დამატებით გასუფთავებას საჭიროებს. მხოლოდ ერთეულ შემთხვევაში საგულდაგულოდ გასუფთავებული მჟავა აკმაყოფილებს სალი შენადნობების მრეწველობის მოთხოვნებს და ამიტომ იგი დამატებითი გასუფთავების გარეშე მომხმარებელთან იგზავნება.

გასუფთავების მიზნით, ვოლფრამის მჟავა ამიაკში იხსნება და ამონიუმის ვოლფრამატში გადადის, ხოლო რკინის, მანგანუმის, ალუმინისა და სილიციუმის მჟავას ბინარეები რჩება ნალექში, რომელიც იფრება. ამონიუმის ვოლფრამატის ხსნარის შემთავებით, ხსნარიდან ისევე ვოლფრამის მჟავა გამოილექება. უფრო სრული გასუფთავება მაშინ ხდება, როდესაც პარავოლფრამატის - $5(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ მსხვილი კრისტალები გამოიყოფა ხსნარებიდან.

პარავოლფრამატი ხსნარში მჟავას ფრთხილი შეტანის ან ამიაკის ნაწილის გამოორთქელის დროს $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ -ის ნაწილობრივი ჰიდროლიზის შედეგად წარმოიქმნება. ამონიუმის პარავოლფრამატის ხსნადა წყალში 70°C -ზე შეადგენს 79,4 გ/ლ, ხოლო 17°C -ზე-0,64 გ/ლ. ყველაზე მსხვილი კრისტალები ხსნარის ნელი გაცივებით მიიღება.

პარავოლფრამატის გაეარეარებით ვოლფრამის ანჰიდრიდი მიიღება:



ზოგჯერ, პარავოლფრამატი ჯერ მარილმჟავაში იხსნება და შედეგად ვოლფრამის მჟავა გამოილექება. ვოლფრამის ანჰიდრიდის მიღების მიზნით, ვოლფრამის მჟავა ან ამონიუმის პარავოლფრამატი მუფელან ელექტროლუმულში გაეარეარებას ექვემდებარება. გაეარეარების ტემპერატურის ($500-800^\circ\text{C}$ -ის ფარგლებში) შერჩევით სასურველი სისხოს პროდუქტის მიღება შეიძლება.

11.2. ლითონური ვოლფრამის მიღება

ფხენილისები ვოლფრამი, ვოლფრამის ანჰიდრიდის წყალბადით ან ნახშირბადით აღდგენის შედეგად მიიღება.

წყალბადით აღდგენას პროცესი განირევა სამი თანამდევრული სტადიით, რომელთა გამოსახვა შეიძლება შემდეგი რეაქციებით:

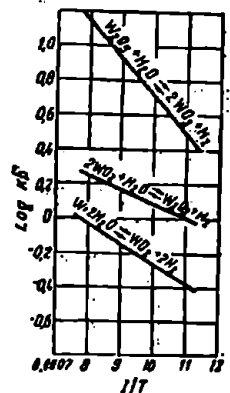


თითოეული რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა გამოსახება ფარდობით:

$$K_p = \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{III.239.})$$

აღდგენის სხვადასხვა სტადიების შესაბამისი წონასწორობის მრუდეები მოყვანილია III.108. სურათზე. აღდგენის ყოველი მომდევნო სტადია უფრო დიდ ტემპერატურასა და აირის ნარევეში წყალბადის უფრო მაღალ შემცველობას საჭიროებს, ვიდრე წინა სტადია.

წარმოებაში ვოლფრამის ანჰიდრიდის აღდგენა მილისებრ ღუმელებში ხდება (სურ. III.109.). ასეთი ღუმელის ფოლადის მილი, რომლის სიგრძე დასალოებით ორი მეტრია, ხოლო დიამეტრი — 50–100 მმ, ელდენით ან აირით ხურდება. ნიკელის ნაეი, რომელშიც ვოლფრამის ანჰიდრიდი მოთავსებული, წყალბადის შემხვედრი ნაკადისკენ თანდათანობით გადაადგილებას განიცდის. გადაადგილების შედეგად ნაეი უფრო მაღალი ტემპერატურებისა და უფრო მშრალი წყალბადის ზონებში ხდება. ამის შემდეგ ნაეი თანდათან ცივდება. ნაეი საბოლოოდ ცივდება მაციურში, რომელიც მილის გადმოსატყირთი ბოლოს წინ არის განლაგებული. ყველაზე ცხელ ზონაში ტემპერატურა 850–870°C-ს შეადგენს.



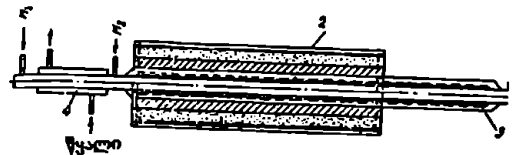
სურ. III. 109. ვოლფრამის წყალბადით აღდგენის წონასწორობის მრუდეები

აღდგენისთვის საჭირო წყალბადის მიღება წყლის ელექტროლიზით ხორციელდება რკინიანი ან ნიკელიანი ანოდების აბაზანაში. ელექტროლიტად გამოიყენება მწკვეტ ტუტე ხსნარი. ღუმელში შესვლამდე წყალბადი, საიონების გაფარვარებულ ბაღეში გაელით, უანგბადისგან სუფთავდება. ღუმელიდან გამოსული წყალბადი, წყლის ორთქლისგან გასუფთავების შემდეგ, ხელშორედ გამოიყენება აღდგენის პროცესში.

ღუმელის მწარმოებლობა დამოკიდებულია გამოყენებული ნაეების ტყელობასა და მათი გადაადგილების სიჩქარეზე. სწრაფი გადაადგილებით ფხენილის უფრო მსხვილი მარცვლები მიიღება.

აღდგენა ორჯერად ტარდება: ყვერ 720°C-ზე WO_3 -მდე, ხოლო შემდეგ ორჯანგი ვოლფრამის ანჰიდრიდის ახალ პორციასთან ერთად ირევა და ნარევის დამუშავება 860°C-ზე შეორდება. როგორც წესი, ნაეის ტყელობა 50–180 გ შეადგენს, ხოლო მისი გადაადგილების სიჩქარე 50–180 მმ/სთ. ზღერებშია.

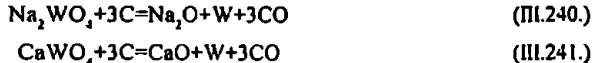
ვოლფრამის ანჰიდრიდის ნახშირბადით აღდგენა 1300–1400°C-ზე ტარდება; აღმდგენის სახით ლამპის მური ან შაქრის კოქსი გამოიყენება; ვოლფრამის ნაერთი გატუჭყიანების თაეიდან აცილების მიზნით სხვა ნახშირბადოეანი აღმდგენი არ გამოიყენება.



სურ. III. 100. ვოლფრამის ანჰიდრიდის წყალბადით აღდგენის მილისებრი ღუმელი. 1. მილი; 2. ღუმელის ვარსაცმა; 3. ნაქრობის ხაზურბელება; 4. მაცივარი.

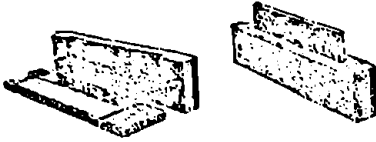
წარმოებაში ეს პროცესი ტარდება მილისებრ ელექტროღუმელში, რომელშიც გრაფიტის მილია ჩასმული. გრაფიტის მილი შენადრობების წარმოებაში გამოიყენება.

ლითონური ვოლფრამის ფხენილის მიღება უშუალოდ ნატრიუმის ან კალციუმის ვოლფრამატიდანც შეიძლება ამ მარილების ნახშირბადით აღდგენის გზით:



ამ ხერხით მიღებული ფხენილისებრი ვოლფრამი გამოიყენება მხოლოდ ფოლადების ლეგირებისთვის და ტექნიკური შენადრობების დასამზადებლად, ეინაიდან მის შემადგენლობაში ვოლფრამის კარბიდი შედის. ჭედადი ვოლფრამი, რომელიც მათეულია და თუნუკის დასამზადებლად გამოიყენება, მხოლოდ წყალბადით აღდგენილი ფხენილისებრი ვოლფრამისგან მიიღება. საწვის ფხენილში მინარეეების შემცველობა 0,05%-ს არ უნდა აღემატებოდეს, ხოლო მისი ნაწილაკების სასხო საშუალოდ 2–3 მკ-ის ზღვარს არ უნდა სცილდებოდეს.

ჭედადი ვოლფრამის მიღებას პირველ ეტაზე ფხენილიდან შტაბიკები იწუნება. წნეხის დროს ურიოერთადადგილებით ფხენილის ნაწილაკები მჭიდროდ ლაედება პრესფორმაში (სურ. III.110.). ნაწილაკების ურიოერთხეხების დიდი ზედაპირი ნაშხალის მაღალ სიმტკიცეს უზრუნველყოფს. პრესფორმის ცდლებსა და ფხენილს შორის ხახუნის შემცირების მიზნით, წნეხის წინ ფხენილი სპირტისა და გლიცირინის ნარეით სველდება.

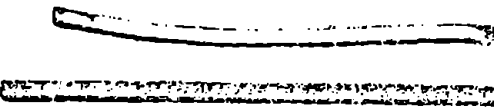


სურ. III. 10. ვოლფრამის შტაბიკის მასაღები პრესტირება.

1300°C-ზე წინასწარი შეცხოების დროს ფხვნილის ნაწილაკების ზედაპირზე წარმოქმნილი ოქსიდური ფენების აღდგენა, შტაბიკის რამდენადმე შეკლება და ვოლფრამის მარცვლების გაზრდა ხდება. მესამე ოპერაცია, რომელიც შედუღების სახელწოდებით არის ცნობილი, ითვალისწინებს შტაბიკის გახურებას ვოლფრამის დნობის წერტილთან მიახლოებულ ტემპერატურამდე, ანუ 3000–3100°C-მდე. შტაბიკი მასში ელდენის გატარებით ხურდება. შტაბიკი შესადუღებელი აპარატის წყლით საცივებელი საილენძის ორ კონტაქტს შორის ჩაჭერას ექვემდებარება (სურ. III.111.). აპარატი აწყობილია ფოლადის ფილაზე, რომელიც პერიოდულ იზოლირებულია ხუფით. ხუფს წყლით საცივებელი ორმაგი კედელი გააჩნია. ხუფის ქვეშ სივრცე წყალბადით ივსება. შედუღების აპარატის კონტაქტებთან მიყვანილია ცვალებადი დენის ძაბვა (10–15 ვოლ.).

შედუღების რეჟიმში ცდების გზით შეირჩევა. პირველად განისაზღვრება გადადნობის დენი ანუ დენი, რომელიც შტაბიკის შედნობას იწვევს. ამის შემდეგ შტაბიკის გახურება ამპერმეტრის მაჩვენებლით კონტროლდება და 6–10 წუთის განმავლობაში დენის აწყვეთ დენის ძალას „გადადნობის დენის“ 89%-მდე ზრდის. ამ დენის ზედაღების ქვეშ შტაბიკი 10 წუთით ყოფნდება. შემდეგი კი დენის ძალა სწრაფ ზრდას განიცდის გადადნობის დენის 90%-მდე. ამ მდგომარეობაში შტაბიკი 12 წუთით ყოფნდება. ბოლო 1–2 წუთის განმავლობაში დენი თანდათან კლებულობს და ბოლოს ითიშება.

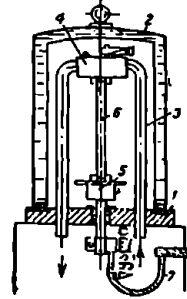
შედუღებული შტაბიკის (სურ. III.112.) სიმკვრივე 17,5–18,5 გ/სმ³ შეადგენს, ხოლო მისი ფორანობა 10–15%-მდეა. შედუღებული ვოლფრამის შტაბიკები მტკიცეა, მაგრამ – მყიფეა; მათი ჭედვა შესაძლებელია მხოლოდ ცხელ მდგომარეობაში, 1200–1300°C-ზე. შტაბიკის ჭედისთვის გამოიყენება სპეციალური საჭედი მანქანა.



სურ. III. 112. ვოლფრამის შედუღებული შტაბიკი

ფორმით შტაბიკი წესიერი სწორკუთხა პრიზმა. მისი ფუძის გვერდი 10 მმ-ს შეადგენს, ხოლო სიგრძე დაახლოებით 600 მმ-ის ტოლია. შტაბიკი 2,5–3 ტ/სმ³ წნევის ქვეშ იწნეხება.

შემდგომი განმტკიცების მიზნით, შტაბიკი წინასწარ შეცხოვას განიცდის: იგი წყალბადის ატმოსფეროში ჯერ 20 წუთის განმავლობაში 850–900°C-ზე ხურდება, ხოლო შემდეგ გახურება გრძელდება 40 წუთის განმავლობაში



სურ. III. 111. შტაბიკის შესადუღებელი აპარატი

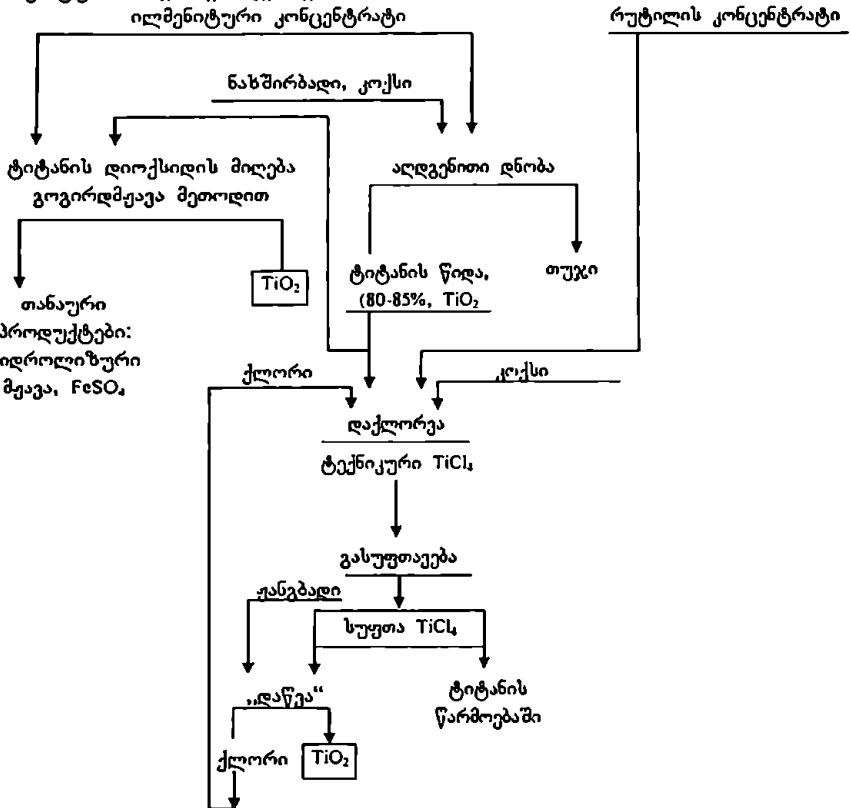
1. ფოლადის ფილა; 2. ფოლადის ხუფი; 3. დენისა და წყლის მარყუანის სიბლენძის მილები; 4.5. კონტაქტები; 6. შტაბიკი; 7. მაქსიმალური დენის მაჩვენებელი საღებავი.

თავი 12. ტიტანის მშენებლობა

ტიტანი (titan – ბერძნულ მითოლოგიაში ღმერთების ოჯახის გიგანტური წევრი) ძირითადად სალი და ზესალი შენადნობების დასამზადებლად გამოიყენება. უშუალოდ სუფთა ტიტანის გამოყენება შეზღუდულია და იგი მკირე მასშტაბით იწარმოება. გასუფთავებული ქიმიური ნაერთებიდან ლითონური ტიტანის აღდგენა ძალზე გართულებულია. სირთულეები ძირითადად დაკავშირებულია ტიტანის ყანგბადთან დიდ ნათესაურ კავშირთან (როგორც სხვა მრავალი იმეათი ლითონის) და მეტალურგიაში გავრცელებული აღმდგენებით ოქსიდთან მის აღდგენასთან.

ელემენტების გავრცელების მწკრივში ტიტანი მე-9 ადგილზეა. იგი ერთ-ერთ ყველაზე მეტად გავრცელებულ ლითონებს განეკუთვნება. მას წინ უსწრებს მხოლოდ ალუმინი, რკინა და მაგნიუმი. ტიტანი შედის ყველა ამოფრქვეულ და ნალექ ქანებში, ნიადაგში, ტორფში, ქვანახშირში, სისხლში და ცხოველების ძვლებში.

მიწის წიაღში ტიტანი დიოქსიდისა და ტიტანის მჟავა მარილების – ტიტანატების სახით მოიპოვება. ტიტანი კომპლექსური ანიონების წარმოქმნისადმი მიდრეკილებით გამოირჩევა და, გარდა მარტივი ტიტანატებისა, რთული ტიტანანოზატების, სილიკოტიტანატებისა და სხვა ნაერთების სახითაც მოიპოვება. ცნობილია ტიტანის დაახლოებით 70 მინერალი. აქედან სამრეწველო მნიშვნელობისაა მხოლოდ 9 მინერალი. ყველაზე გაერეცელებულ მინერალს წარმოადგენს ილმენიტი ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$); მასში TiO_2 -ის შემცველობა 52,6% შეადგენს. მინერალი მურა ან მურა-შავი ფერისაა. მისი სიმკვრივე 4,56–5,21 გ/სმ³ შეადგენს. რუტილი (TiO_2), რომელიც 90–98% TiO_2 -ს შეიცავს, გამჭვირვალე მინერალია. იგი წითელ-მოყავისფრო, ზოგჯერ მოყვითალო, მოლურჯო, მოიისფრო ან შავი ფერისაა. მისი სიმკვრივე 4,18–4,28 გ/სმ³-ის ტოლია. რუტილის კონცენტრატში TiO_2 -ის შემცველობა 90–95%-ს აღწევს. მრეწველობაში გამოიყენება მადნები, რომლებშიც TiO_2 -ის შემცველობა 6–35%-ის ფარგლებშია. წინასწარი მონაცემებით ტიტანის მადნები საქართველოს ტერიტორიაზეცაა თავმოყრილი. მეტალურგიული გადაამუშავების წინ ტიტანის მადანი, როგორც წესი, გამოიდრებას ექვემდებარება. ილმენიტების ქვიშების გამდიდრების დროს, ქვიშებიდან ჯერ მძიმე მინერალები (მაგნეტიტი, ილმენიტი, რუტილი, ცირკონი და სხვა) ანუ ე.წ. შლიხები ამოიღება. ამ ეტაპზე გრავიტაციული გამდიდრების მეთოდები (სველი დალექვა, ხრახნული სეპარატორი, კონცენტრაციული მაგიდა და სხვა) გამოიყენება. შლისების დასაყოფად ელექტროსტატიკური და ელექტრომაგნიტური სეპარაციის მეთოდები გამოიყენება. მაგნიტური სეპარაციით მაგნეტიტი ცალკეედება ილმენიტისგან, ხოლო ილმენიტი – რუტილისა და არამაგნიტური მძიმე მინერალებისგან.



სურ. III. 13. ილმენიტური და რუტილის კონცენტრატებიდან ტეტრაქლორიდისა და ტიტანის დიოქსიდის წარმოების პრინციპული სქემა.

უშუალოდ ტიტანის კონცენტრატების გადამუშავების შედეგად სამი პროდუქტი მიიღება: ოთხქლორიანი ტიტანი, ტიტანის დიოქსიდი და ფეროტიტანი.

ტიტანისა და აგრეთვე ტიტანის დიოქსიდის (ტიტანის თეთრა) მისაღებად საჭიროა მაღალი სისუფთავის ქლორიდი. ამიტომ ტიტანის ნედლეულის დაქლორვით მიღებული ტიტანის ტექნიკური ქლორიდი მინარევებისგან გასუფთავებას ექვემდებარება. გასუფთავებული ტიტანის ქლორიდი უფრო გამჭვირვალე სითხეა. ტიტანის ტეტრაქლორიდისა და ტიტანის დიოქსიდის ილმენიტისა და რუტილის კონცენტრატებიდან მიღების სქემა ნაწიწებია III.113. სურათზე.

როგორც სქემიდან ჩანს, ტიტანის ტეტრაქლორიდი მიიღება ტიტანის წიღის (ტიტანის წიდა ილმენიტური კონცენტრატის დნობის შედეგად მიიღება) ან უშუალოდ რუტილის კონცენტრატის დაქლორვით. ტიტანის დიოქსიდის მიღება ორი გზით შეიძლება: უშუალოდ ილმენიტური კონცენტრატის (ან ტიტანის წიღის) გოგირდმჟავით დაშლით და გოგირდმჟავა ხსნარიდან მეტატიტანატის მჟავას შესვლით გამოყოფით ან ოთხქლორიანი ტიტანის ჟანგბადში „დაწვით“ და ამასთან ქლორის რეგენერაციით.

12.1. ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიღება

რუტილის კონცენტრატისგან განსხვავებით, რომელიც ძირითადად TiO_2 -ს შეიცავს, ტიტანის წიდა (ილმენიტური კონცენტრატის აღდგენითი დნობის შედეგად მიიღება) ტიტანის ოქსიდებისგან (TiO_2 , Ti_2O_3 , TiO) შემდგარი მექანიკური ნარევეა, ხსნა ელემენტების ოქსიდების (FeO , MgO , CaO , Al_2O_3 , SiO_2) მინარევებით.

ტიტანის დიოქსიდი ქლორთან ურთიერთქმედებს ენდოთერმული რეაქციით:



რეაქცია $800-1000^\circ C$ -ზეც კი ძალზე დაბალი სიჩქარით მიმდინარეობს.

ნახშირბადის დამატებით ქლორისა და ტიტანის ურთიერთქმედების თერმოდინამიკური მახასიათებლები მკვეთრად იცვლება; ჟანგბადი ურთიერთქმედებს ნახშირბადთან და შედეგად CO_2 , და CO წარმოიქმნება. ამ შემთხვევაში TiO_2 -ის დაქლორვის რეაქციები შემდგენიერად გამოისახება:



რეაქცია (III.245.) ეგზოთერმულია და ჯიბის ენერჯის დიდი კლებით მიმდინარეობს ($\Delta G_{1000}^\circ = -273$ კკკულ/მოლ). ქლორის დაბალი წონასწორული წნევები მოწმობს, რომ ტიტანის დიოქსიდის დაქლორვის რეაქცია ნახშირბადთან ერთად $500-900^\circ C$ -ის ზღვრებში პრაქტიკულად შეუქცევადია. წონასწორული აირის ნარევი $CO:CO_2$ ფარდობა ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად იზრდება; $700^\circ C$ -ზე ზევით CO ჭარბობს.

ნახშირბადის როლი მარტო ჟანგბადის შეკვრით არ განისაზღვრება. დაქლორვის პროცესში ნახშირბადი (კოქსის ან ხის ნახშირის სახით) კატალიზატორის როლსაც თამაშობს.

ტიტანის ოქსიდების გარდა, დაქლორვის მასალა ამა თუ იმ რაოდენობით რკინის, მანგანუმის, კალციუმის, მაგნიუმის, ალუმინის, სილიციუმის, ვანადიუმისა და სხვა ზოგიერთი ელემენტის ჟანგბადიან ნაერთს შეიცავს. დაქლორვის პროცესში რკინა, ალუმინი, სილიციუმი, ვანადიუმი, ქრომი, ტანტალი და ნიობიუმი აქროლად ქლორიდებს წარმოქმნის.

ქლორთან ურთიერთქმედების კლებადი უნარიანობის მიხედვით ოქსიდები რიგში ასე ლაგდება: $K_2O > Na_2O > CaO > (MnO, FeO, MnO) > TiO_2 > Al_2O_3 > SiO_2$.

ბუნებრივია, რომ TiO_2 -მდე რიგში განლაგებული ოქსიდები დაქლორვის დროს სრულად გადაე ქლორიდდებიან, ხოლო Al_2O_3 და, განსაკუთრებით, SiO_2 ნაწილობრივ განიცდის დაქლორვას. დაქლორვის პროცესში შესაძლებელია განითარდეს ქლორიდებსა და ოქსიდებს შორის შეორაღი რეაქციები. მაგალითად, $TiCl_4$ -ით დაქლორვას დაექვემდებარება ოქსიდები, რომლებიც დაქლორვის რიგში TiO_2 -მდეა განლაგებული, ხოლო $AlCl_3$ და $SiCl_4$, NiO_2 -ის დაქლორვაში მიიღებს მონაწილეობას.

ნაწარმოო პრაქტიკაში ტიტანუმეცვლედი მასალის დაქლორვის მიზნით გამოიყენება სამი ხერხი: დაბრიკტებული კაზმის დაქლორვა, მარილების ნაღსობის დაქლორვა და მასალის დაქლორვა მდულარე ფენაში.

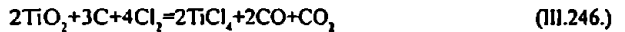
ბრიკეტების დაქლორვა ბრასკეტების უძრავ და უწყვეტად მოძრავ ფენებში ხორციელდება, შესაბამისად, ელექტრომასტურ და ჩვეულებრივ მასტურ ლუმელებში.

ბრიკეტების მომზადების ეტაპი შედგება კაზმის კომპონენტების დაქუცმაცების, შერევის, ბრიკეტებისა და ბრიკეტების გაეარვარების ოპერაციებისგან.

კაზმში შესატანი ნახშირბადის რაოდენობა დამოკიდებულია დაქლორვაზე შემოსული მასალის შემადგენლობასა და პროცესების ტემპერატურაზე.

გამძლე ბრიკეტების მიღების მიზნით, კაზმის ნარევი შემკვერელი ემატება. შემკვერელის სახით გამოიყენება სულფიტურ-ცელულოზის თუთქი, ქვის სქელფისი, ფისი და სხვა მასალები.

უძრავი ფენის ქლორატორია (ფართოდ გამოიყენება აშშ-ში) მასტური ტიპის ელექტროლუმელს წარმოადგენს (სურ. III. 114.). ლუმელში ჯერ თავსდება ნახშირბადიანი წინაღობის კუბურები, რომლებიც ლუმელის გვერდის კედლებიდან შემოყვანილი გრაფიტის ელექტროდებით ხურდება (ქველზე მოთავსებული კუბურების მასა ლუმელის მოცულობის ორ მეხუთედს იკავებს). შემდეგ კუბურებზე კაზმისგან მომზადებული შემცხვარი ბრიკეტები (აგლომერატი) იყრება. ბრიკეტების ჩატკირთვა ლუმელის მკვებათი კამერად ხდება. კამერა პერმეტულად იხურება. კუბურებისა და ბრიკეტების ფენების სიღრმე, დაახლოებით, ერთმანეთის ტოლია (თითოეული ფენის სიღრმე 2,45 მ-ია). არაძლიერ ლუმელის ქვედა ნაწილიდან შედის არსადენი მძლვის მეშვეობით. სარეაქციო ზონაში შესვლაძლე ქლორი წინაღობის კუბურების გახურებულ ფენაში ხდება და წინასწარ ხურდება. გახურებული ქლორის კაზმთან ურთიერთქმედების შედეგად არაძლიერ (ორთქლი) ტიტანის ტეტრაქლორიდი წარმოიქმნება:



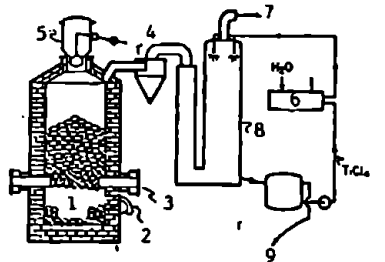
ტეტრაქლორიდთან ერთად რეაქციის შედეგად ნახშირბადის მონო და დიოქსიდი, აგრეთვე არარეაგირებული ჭარბი ქლორი გამოიყოფა.

ნახშირბადის კუბურების ელექტროწინაღობისა და დაქლორვის ეფთხიერებული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე სარეაქციო ზონაში 800-1000°C ვითარდება. ელექტროწინაღობით გამოყოფილი სითბო სარეაქციო ტემპერატურის შეკავებასა და სითბოს დანაკარგების აღდგენაზე იხარჯება.

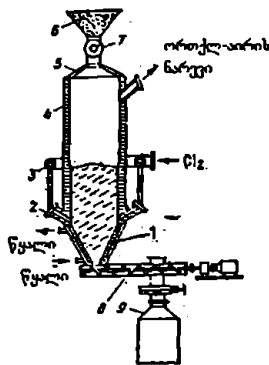
ლუმელის (ქლორატორის) ცილინდრული ფორმის ფოლადის გარსაკში შიგნიდან ცენტრგამძლე აგურითაა ამოვსებული. ლუმელის სიმაღლე 6 მ-ია, ხოლო დიამეტრი - 4 მ. ლუმელის მწარმოებლობა ქვედის 1 მ-ზე 450-550 კვ/სთ ტიტანის ტეტრაქლორიდია. ლუმელიდან

არჩებთან ერთად წარმავალი ტიტანის ტეტრაქლორიდის ორთქლი (ტიტანის ტეტრაქლორიდის დულილის ტემპერატურა 136°C-ია) მტერის დამჭერ კოლექტორში შედის და არჩებთ წატაცებული მტერისგან სუფთაივდება. გასუფთავების შემდეგ $TiCl_4$ -ის ორთქლი კოლექტორიდან კონდენსატორში გადადის. კონდენსატორი ვერტიკალურ კონუს წარმოადგენს. კონდენსატორის შიგნით იფრქვევა ცივი, თხევადი ტიტანის ტეტრაქლორიდი, რომელიც ქლორატორიდან შემოსულ ტიტანის ტეტრაქლორიდის ორთქლს აცივებს. ორთქლის გაცივების შედეგად ტიტანის ტეტრაქლორიდის წვეთები წარმოიქმნება. ტეტრაქლორიდის წვეთები გადაედინება დაწვდომის კუბში, სადაც სითხიდან $TiCl_4$ -ის მყარი ნაწილაკები ილექება. დაქლორვის შედეგად მიიღება დაუხალასებელი ტიტანის ტეტრაქლორიდი, რომელიც შემდეგ ეტაპზე გასუფთავებას ექვემდებარება.

ქლორატორი პერიოდულად იცვება ბრიკეტებით და პერიოდულად სუფთაივდება მის ძირზე დავოვილი სხეულისგან ნარჩენებისგან.



სურ. III. 114. ტიტანის ოქსიდის უძრავ ფენაში დაქლორვის ქლორატორია.
1 წინაღობის ძარა 2 ქლორის შესახველკოლა; 3. ელექტროდი; 4. მტერის კოლექტორი ა მკვებათი კამერა; 5. საცივარო; 7. წარმავალი არჩება; 8. საცივდენსაკო კომპა; 9. დაუხალასებელი ბრიკეტა



სურ. III. ს. უწყვეტი მოქმედების მახტური ტიპის დაქლორვის ლუმელი
 1. წყლით საცოვებელი კონსლი;
 2. ქსანი; 3. ქლორის კოლექტორი;
 4. კორპუსი; 5. წყლით საცოვებელი კამარა; 6. ბუნკერი; 7. მკეთთარანი შევ-
 ბაჯი; 8. განმტყარითი შესვლი; 9. დაქ-
 ლორვის ნარჩენების შეგროვება.

იზრდება. დაბრიკეტებული კაზმის ფენიდან აირის ნაკადით წატაცებული ბრიკეტების დაუქლორავი ნაწილაკების ნარჩენი ქლორატორის ზედა ნაწილში აღის და იქ უსველივათხვევადებულ ფენას წარმოქმნის, ხოლო უფრო წყრილი ნაწილაკები მტვერდამჭერ სისტემაში გადადის.

მასტურ ლუმელეში ბრიკეტების დაქლორვის დროს წარმავალ აირებში $CO:CO_2$ ყარდობა 7:9 შეადგენს. აირებში CO_2 -ს სიჭარბე ბუღუარის რეაქციის (წარმოქმნილი ნახშირბადის დიოქსიდი ურთიერთ-ქმედებს ბრიკეტების ზედა ფენასთან, რომელიც ნახშირბადს შეიცავს) განვითარების შესაძლებლობას ქმნის.

ტიტანმემცველი მასალის მახტურ ლუმელეში (ქლორატორებში) დაქლორვის ნაკლოვან მხარეებს განკუთვრება:

- ბრიკეტების დამზადების აუცილებლობა, რაც ტიტანის ტეტრაქლორიდის თვითღირებულებას 10%-ით ზრდის;
- უწყვეტ რეჟიმში ბრიკეტების დაქლორვის შეუძლებლობა იმ შემთხვევაში, თუ ნედლეულში $CO_2 + MgO$ 4-5%-ს აჭარბებს (ბრიკეტების შეცხოების გამო მათი გადაადგილება რთულდება);
- ნახშირბადის მონოქსიდის სიჭარბის გამო აირების ფეთქებადსამიშროება.

ნაღნობში დაქლორვის ხერხი ტიტანის წილების გადასამუშავებლად გამოიყენება. დაქლორვა ტუტედა ტუტემიწა ლითონების გამდარი ქლორიდებისგან შემდგარ აბაზანაში ტარდება (სურ. III. 116.).

ნაღნობის სახით გამოიყენება მაგნიუმის ელექტროლიზორების ნამუშევარი ელექტროლიტი. ელექტროლიტში შედის შემდეგი კომპონენტები, %: KCl 50-80; $NaCl$ 5-10; $CaCl_2$ 8-10; $MgCl_2$ 4-5. ნაღნობში TiO_2 -ის კონცენტრაცია 1,5-5% ზღერებშია შენარჩუნებული, ხოლო ნახშირბადის - 2-5% ფარგლებში.

კაზმი ნაღნობის ზედაირხე იტვირთება მსეკის მეშვეობით, ქლორი კი ქლორატორის ქვედა ნაწილში განლაგებული ქსინებიდან შედის ქლორატორში. ნაღნობის ფენის სიმაღლე 3,5-4 მ-ს შეადგენს.

ტიტანის წილის ას რუტილის დაქლორვა ინტენსიურად მიმდინარეობს 750-800°C-ზე. ტიტანის ქლორიდი ორთქლის სახით საკონდენსაციო სისტემაში გადადის, ხოლო არააქროლადი ქლორიდები ნაღნობში რჩება. ტიტანის წილის ან რუტილის დაქლორვის პროცესში ნაღნობის შემადგენლობა იცვლება. მასში გროვდება რკინის ქლორიდები ($FeCl_2$ და $FeCl_3$), $CaCl_2$, $MgCl_2$. კაემიწის დაქლორვის დაბალი სიჩქარის გამო (750-800°C ტემპერატურების პირობებში) იგი ტიტივიარის სახით გროვდება ნაღნობში.

ბრიკეტების დაქლორვის უწყვეტი მოქმედების ლუმელის (ამ ტიპის ლუმელი ფართოდ გამოიყენება რუსეთში) მასტი 10 მ-ის სიმაღლისაა, მისი დიამეტრი 1,8 მ-ს შეადგენს. შიგნიდან ლუმელი დინასისა და მჭიდრო შამოტის აგურებითაა ამოვებული. სარეაქციო ზონის შიგა მოპირკეთებისთვის ხშირად დიბაზის ფილები გამოიყენება. ლუმელის (ქლორატორის) სქემა ნაჩვენებია III. 115. სურათზე. ბუნკერიდან ბრიკეტები მკეთთარანი მკებავის მეშვეობით ლუმელში ჩადის; ნარჩენი, მსეკის ან მკეთთარანი მოწყობილობის საშუალებით გადმოიტვირთება. ქლორის მიმწოდო ქსინები გად-
 მოსატვირთი მოწყობილობიდან 2 მ-ის სიმაღლეზე განლაგებუ-
 ლი. დაქლორვა 950-1000°C-ზე ტარდება.

პროცესის დასაწყისში მასტი ფრქვევანათი ხურდება და ლუმელში 500-600°C-მდე გახურებული ბრიკეტები იტვირთება. ლუმელში ქლორის შემდგენი შემდეგ კი პროცესი დაქლორვის რეაქციის ეგზოთერმული სითბოს ხარჯზე წარამართება. ლუმელის კუთრი მწარმოებლობა, დაახლოებით, 20-25 ტ/სთ-ია ტიტანის ტეტრაქლორიდის სარეაქციო ზონის 1 მ³-ზე. მწარმოებლობა ქლორის ხარჯით განისაზღვრება. ქლორის რაოდენობის გაზრდა პროცესის ტემპერატურით არის შეზღუდული. სარეაქციო ტემპერატურაზე (950-1000°C) უფრო მაღალი ტემპერატურა ამონავის ამოჭმას იწვევს. გარდა ამისა, აირების მოცულობის გაზრდით ნაცრის ნარჩენის ორთქლ-აირების ნარევით გატანა

კალციუმის ქლორიდის (CaCl_2) მაღალი კონცენტრაციის დროს იცვლება ნაღობის ფიზიკური თვისებები: იზრდება ნაღობის სიბლანტე და ზედაპირული დაჭიმულობა, უარესდება ტიტანის ოქსიდისა და კოქსის ნაღობით დასველების ხარისხი, რაც პროცესის სიჩქარეს ამცირებს. უარყოფითად მოქმედებს აგრეთვე არასწინადი ნაერთების ნაწილაკების ტივტივარების წარმოქმნის რაოდენობით (20–30% მასის მიხედვით) დაგროვება. ტივტივარები ნაღობის თხელდენადობას ამცირებს. ამიტომ ნაღობის ნაწილი პერიოდულად გამოშვებას ექვემდებარება ქლორატორიდან, ხოლო დანაკლისი ახალი პირცით ივსება. ნამუშევარ ნაღობში გადასული ტიტანის დანაკარგი 0,4–0,5%-ს შეადგენს.

დაქლორვის სარეაქციო ტემპერატურის შენარჩუნება ენთალპიური რეაქციების შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე ხდება. ჭარბი სითბო აირინება გრაფიტის ფილებისგან დამზადებული საცივებელი კოსონებით, რომელიც ქლორატორის კედლებშია ჩადგმული.

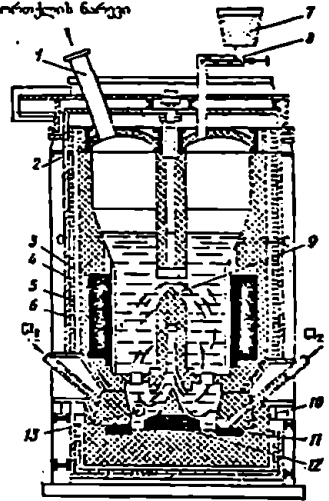
განსხვავებით დაბრიკტებული კაზმის დაქლორვისგან, ნაღობის დაქლორვის ქლორატორებში წარმოქმნილი ორთქლისა და აირის ნარევი CO_2 -ის სიჭარბით გამოირჩევა [მოცულობითი ფარდობა - $\text{CO}_2:\text{CO} = (10 \pm 20):1$]. აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ დაქლორვის პირველადი რეაქციით წარმოქმნილი CO_2 , რომელიც ნაღობიდან განიდევნება, მხოლოდ უმნიშვნელოდ ურთიერთქმედებს კოქსის ნაწილაკებთან. აირად ფაზაში CO_2 -ის სიჭარბე იმით აიხსნება, რომ კოქსის ნაწილაკების ნაღობით ბლოკირების გამო CO_2 -ის ურთიერთქმედება ნახშირბადთან იზღუდება.

ისევე, როგორც ბრიკტების დაქლორვის დროს, ნაღობში დაქლორვის დროსაც ნახშირბადოვანი მასალა ორ ფუნქციას ასრულებს: აღმდგენისა (თანგადი CO -სა და CO_2 -თანაა შეკრული) და კატალიზატორის (ქლორის აღსორბცით წარმოიქმნება ელემენტური ქლორი და ქლორნახშირბადიანი კომპლექსები, რომლებიც ნაღობით გადაიტანება ოქსიდის ზედაპირზე, რომელიც დაქლორვას ექვემდებარება).

ვინაიდან ნაღობში ოქსიდების დაქლორვის სიჩქარე უფრო მეტია, ვიდრე ხისტემაში, მყარი კაზმი – ქლორი, საუარაუდოდ, მარილების ნაღობი დაქლორვის პროცესში მონაწილე ნოტიოებების სარეაქციო ზედაპირებისკენ გადატანასა და ამ ზედაპირებიდან რეაქციის პროდუქტების აირინებას აჩქარებს. ქლორატორის ნაღობში ქმნიებიდან შეხერილი აირადი ქლორი ქუცმაცდება წერილ ბუშტულებად, რომლებიც თანაბრად ნაწილდება სარეაქციო ზონაში.

განსხვავებით ბრიკტების დაქლორვისგან, ნაღობში დაქლორვის დროს ნახშირბადიანი მასალის ახსარბცოული უნარი არ წარმაადგენს დაქლორვის სიჩქარის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს მოცუულ ტემპერატურაზე. ნაღობში დაქლორვის დროს არსებითი მნიშვნელობა მასალის სიმკვრივესა და მის ნაღობით დასველებას ენიჭება. აირი – მყარი ნახშირბადოვანი მასალების სისტემაში დაქლორვის დროს, დაქლორვის კლებადი სიჩქარის მიხედვით რიგში ლაგდება: ხის ნახშირი, ნაუთობის კოქსი, გრაფიტი, ხოლო ნაღობში დაქლორვის დროს რიგი შებრუნებულია. ხის ნახშირი ქიზურად ყველაზე აქტიურია, ნაღობიდან ამოტივტივებისა და წარმაადი აირებით წატაკების გამო იგი ყველაზე კულ მღვს იძლევა გრაფიტი, რომელიც ქიზურად ნაკლებად აქტიურია, კარგად სველება ნაღობით და მაღალი სიმკვრივით განირჩევა, რაც ნაღობში ნახშირბადის მაღალი კონცენტრაციის შექმნისა და სარეაქციო მოცულობაში მის თანაბრად განაწილების საშუალებას იძლევა. ამიტომ გრაფიტის გამოყენების დროს ნაღობში

აირის და ორთქლის ნარევი



სურ. III. 116. მარილების ნაღობში დაქლორვის ქლორატორი.

1. ამონაქალი; 2. კამარა; 3. გრაფიტის ელექტროდი; 4. განდამარე წყლით სითბოს ამინებას ფორადის მღვება; 5. ქლორატორის ვარსაცმა; 6. მამოტის ამონაგი; 7. ბუსკერ კაზმით; 8. უწყური მკვება; 9. ნაღობის ცარკულაყის შესაქმნელი ტიხარა; 10. ქმნა; 11. ფსკერული გრაფიტის ელექტროდება; 12. ნაღობის ქვედა გადასაშვება.

დაჭირება და ისევე ქლორატორში ბრუნდება. გაციელებული საბრუნო მტვრით სითბოს ნაწილი აირინება, რაც ხელს უწყობს ტემპერატურული რეჟიმის სტაბილიზაციას.

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ რუტილის კონცენტრატი, რომელიც დიდი რაოდენობით შეიცავს კაემიწას, წარმატებით შეიძლება გადაამუშავეს მდულარე ფენის ქლორატორში 900°C-ის ქვემოთ ტიტანის დიოქსიდის სელექტიური დაქლორებით. ამ პირობებში კაემიწა (SiO_2) მხოლოდ ნაწილობრივ დაქლორებას განიცდის. ასეთი შემადგენლობის კონცენტრატების დაქლორება მარილის ნაღწობებში არ შეიძლება.

კალციუმისა და მაგნიუმის ოქსიდების მაღალი შემცველობა ტიტანის წილებში ართულებს წილების დაქლორებას მდულარე ფენაში, ვინაიდან ადვილად დნობადი ქლორიდები, რომლებიც დაქლორების პროცესში წარმოიქმნება, ფენის ნაწილაკების შეწებებასა და მათ ვარდნას იწვევს. ამ მოვლენის თავიდან აცილება მხოლოდ ტემპერატურის 600°C-მდე დაწევით შეიძლება. ტემპერატურის დაწვევა კი მკვეთრად ამცირებს ქლორატორის მწარმოებლობას. ამიტომ ტიტანის წილების მდულარე ფენაში დაქლორების დროს უფრო მიზანშეწონილია გრანულირებული კაზმის გამოყენება. ამ შემთხვევაში კაზმში ჭარბი რაოდენობით უნდა შედიოდეს კოქსი.

კოქსის სიჭარბე დაქლორების პროცესის ბოლომდე უზრუნველყოფს ნახშირბადოვანი ჩონჩხის შენარჩუნებას. კაზმის გრანულაცია ტარდება ჯამური ტიპის გრანულატორებში. შექცევლის სახით სულფიდურ-ციკლულოზის თოქოქი გამოიყენება. შრობის შემდეგ გრანულები 800-900°C-ზე გაეაგრავენას („კოქსირებას“) განიცდის.

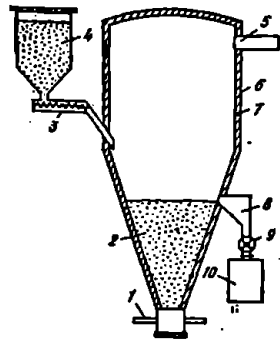
ქლორატორში, რომლის სიგრძეშიც ტემპერატურა 430-დან 770°C-მდე იცვლება და აირის სიჭარბე მდულარე ფენის სიგრძეში 1,1-დან 0,2 მ³/მ-ის ტოლია, ტიტანის ამოღება ტექნიკურ ტეტრაქლორიდში 93,5%-ს შეადგენს. ქლორატორის ნარჩენებთან ერთად ტიტანის დანაკარგი 3,8%-ის ტოლია. მტვერგატანა (კაზმის ჩატვირთვის დროს) 1,2%-ია. ქლორის ხარჯი ერთ ტონა წილზე 0,8 ტ-ს შეადგენს, კუთრი მწარმოებლობა ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიხედვით 8,1 ტ/მ³-ია (დღე-ღამეში). წარმატალ აირებში CO_2 : CO ფარდობა 1-დან 2-მდე მერყეობს. პროცესის ნაკლოვან მხარეს წარმოადგენს გრანულების დაშლადებასთან დაკავშირებული გაზრდილი კაპიტალური დაბანდებანი და საამქროს გაიღებებული დანახარჯები და, აქედან გამომდინარე, ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაღალი თეითლირებულება.

როგორც ზემოთ განხილული მეთოდებიდან ჩანს, ტიტანის ნედლეულის (განსაკუთრებით — ტიტანის წილის) მარილების ნაღწობაში დაქლორება მნიშვნელოვანი უპირატესობებით განირჩევა.

ნაღწობაში დაქლორება რთული მოსამზადებელი ოპერაციების (ბრიკტირება, გრანულირება) ჩატარებას არ საჭიროებს; დაქლორებას ექვემდებარება ტიტანის ნედლეული, რომელიც დიდი რაოდენობით შეიცავს ტუტემწიწა და ტუტე ლითონების ოქსიდებს; აირებში ჭარბობს CO_2 , რაც აირების ფეთქებადსაშიშროებას გამოიყენებს; ქლორატორის მწარმოებლობა საკმაოდ მაღალია.

12.2. ტიტანის ტეტრაქლორიდის გასუფთავება

ტიტანის ნედლეულის დაქლორების შედეგად მიღებული ტექნიკური სისუფთავის ტიტანის ტეტრაქლორიდი, რომელიც ლითონური ტიტანის მიღების საწყის ნედლეულს წარმოადგენს, ვასუფთავებს საჭიროებს. ტეტრაქლორიდში მინარევები, როგორც გახსნილი კომპონენტების, ასევე წმინდა მუქანიკური ტიუტიარების სახითაა თავმოყრილი. ტეტრაქლორიდის ხსნარი შეიცავს აირებს (N_2 , Cl_2) და მთელი რიგი ელემენტების ქლორიდულ ($SiCl_4$, $SnCl_4$, $VOCl_3$, CrO_2Cl_2 , $AlCl_3$, Si_2OCl_2 , $TiOCl_2$, $NbCl_5$, $TaCl_5$, $SOCl_2$) მინარევებს. მუქანიკური მინარევების სახით ტიტანის ქლორიდში შედის რკინის ქლორიდი, ტიტანის ორფანგი და ნახშირის წმინდა ნაწილაკები.



სურ. III. 117. მდულარე ფენის ქლორატორი.

1. ქსიზება 2. მდულარე ფენა 3. შექცერი შევებაი 4. კაზმის მუქეირა 5. აირ-ორთი შევებაი 6. კაზმის მუქეირა 7. აირ-ორთი შევებაი 8. ნაწილის გადამოსატყორთო საღწობარი 9. შევებაი 10. ნაწილის შევებაი 11. ნაწილის შევებაი

გასუფთავებულ ტიტანის ტეტრაქლორიდს განსაკუთრებული მოთხოვნები წაყენება. გასუფთავების შედეგად მიღებულ პროდუქტში $TiCl_4$ -ის შემცველობა 99,97%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. გასუფთავებულ ტიტანის ტეტრაქლორიდში მინარევების დასაშვები კონცენტრაცია, %: V, Si, N, CH_4 $5 \cdot 10^{-4}$; ვანგბადი ($TiOCl_2$ -ის შემადგენლობაში) $2 \cdot 10^{-4}$; ვახსნილი ვანგბადი $2 \cdot 10^{-4}$; Fe $2 \cdot 10^{-4}$; Al 10^{-3} ; Mo, Sn $2 \cdot 10^{-3}$; Cr $5 \cdot 10^{-3}$; ფოსფენისა და ქლორცეტოლქლორიდების ჯამი $2 \cdot 10^{-4}$; Cs, $2 \cdot 10^{-5}$.

ტიტანიური ტიტანის ტეტრაქლორიდის გასუფთავება უმეტესი მინარევებისგან რექტიფიკაციით ხორციელდება. ეინაიდან ვანადიუმის მინარევის განდევნა რექტიფიკაციით გართულებულია, ამიტომ მისი განდევნა წინასწარ ხდება.

ტიტანის ტეტრაქლორიდში ვანადიუმი $VOCl_3$ -ის სახით შედის. ტიტანის ტეტრაქლორიდისა ($TiCl_4$) და $VOCl_3$ -ის დუღილის წერტილების სიახლოვისა და $VOCl_3 - TiCl_4$ -ის ნარევის შედარებით დაბალი აქროლის გამო ვანადიუმის განდევნა რექტიფიკაციით ძნელდება. ამიტომ ერთი მეთოდის მიხედვით, $VOCl_3$ წინასწარი აღდგენით ნაკლებად ხსნად $VOCl_2$ -ში გადადის. აღმდგენის სახით სპილენძის ან ალუმინის ფხვნილი გამოიყენება. ტიტანის ტეტრაქლორიდისა და სპილენძის ფხვნილის ერთმანეთთან შერევით ვანადიუმის ოქსიქლორიდი შემდეგი ჯამური რეაქციით აღდგება:



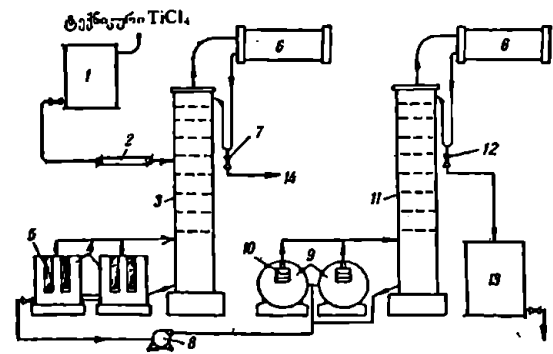
მეთოდის ნაკლი ისაა, რომ აუცილებელი ხდება $TiCl_4$ -ის წინასწარი გასუფთავება $AlCl_3$ -ის მინარევისგან, რომელიც სპილენძის ფხვნილის სწრაფ პასივაციას იწვევს. ალუმინის განდევნის მიზნით, ტიტანის ტეტრაქლორიდს ემატება წყლის დონორული რაოდენობა (მაგალითად, დეტანიანბული სუფრის მარილის სახით), რომელიც ნაკლებად ხსნადი ალუმინის ოქსიქლორიდის წარმოქმნის ექვივალენტურა:



დასაუღეთის ქვევრებში, კერძოდ, აშშ-ში, ვანადიუმის განდევნის მიზნით, აღმდგენად გოგირდწყაბლად გამოიყენება. ვანადიუმის ოქსიქლორიდისა და H_2S -ის ურთიერთქმედებით $VOCl_2$ წარმოიქმნება:



რეაქციის შედეგად მიღებული ნალექი კარგად ილექება და იფილტრება. პროცესი ტარდება რეაქტორში, რომელიც 2000 კგ-მდე $TiCl_4$ -ს იტევს. რეაქტორში H_2S -ის შემება 4-6 საათის განმავლობაში ხდება $90^\circ C$ -ზე.



სურ. III. 118. ტიტანის ტეტრაქლორიდის რექტიფიკაციით გასუფთავების დანადგარის სქემა.

1. დაქსნული ავზი $TiCl_4$ -ით; 2. შემთბობა; 3. დაბალმდულარე ქლორიდების განდევნის კოშკი; 4. საორიენტებელი კუბი; 5. ელექტროგამზურეველი; 6. დეფლევმატორი; 7. მარჯვლირებული სარქველი; 8. ტუმბო; 9. საორიენტებელი კუბი და გაშვებული; 10, 11. $TiCl_4$ -ის აქროლის კოშკი; 12. გამწვანებელი სარქველი; 13. გასუფთავებული $TiCl_4$ -ის შეგროვება.

ტიტანის ტეტრაქლორიდის სა-რექტიფიკაციო გასუფთავების უწყვეტი პროცესი ტარდება უვანგაი ფოლდის კოშკებში (სურ. III.118.). კოშკებში მოთავსებულია ხვევლებიანი თევშები. გასუფთავების პროცესი ორი ეტაპისგან შედგება. პირველ ეტაპზე სილიციუმის ტეტრაქლორიდი და სხვა აქროლადი მინარევები (ცხრილი III.39.) ცალკევედება. არაკონდენსირებული აირები დეფლევმატორიდან ჰიდროსაკეტის მეშვეობით აირსაწმენდ სისტემაში შედის.

კუბის სარჩენი - ტიტანის ტეტრაქლორიდის და მაღალმდულარე ქლორიდებისა და ოქსიქლორიდების სახით მეორე კოშკში გადადის.

პირველ სტადიაში გასუფთავების ძირითადი რეჟიმებია:

- ფულემის რიცხვი:
- კოშკის ამოწურვის ნაწილში, არანაკლებ — 2,0

ქლორიდული ნაერთების დნობისა და დუღილის ტემპერატურები სორმალურ წნევაზე

ნაერთები	ღნ., °C	ღღ., °C	ნაერთები	ღნ., °C	ღღ., °C
TiCl ₄	-23	136,5	FeCl ₂	674	1023
SiCl ₄	-69	57	MnCl ₂	650	1190
VOCl ₃	-77	127	CrCl ₃	ოართ.	945
AlCl ₃	ოართ.	180	CaCl ₂	782	1900
FeCl ₃	304	319	NaCl	800	1405
CrO ₂ Cl ₂	-	117	KCl	772	1407
NbCl ₂	204,7	248,3	COCl ₂	-126	8,2
TaCl ₅	216,5	234	CCL ₄	-23,8	76,8
NbOCl ₃	ოართ.	~400	C ₆ Cl ₆	227	309

კოშკის შემაგრების ნაწილში — 30-45

ტემპერატურა, °C

საწყისი ნარევის კოშკში:

შესასვლელთან — 130-135

ფლევმის — 100-120

ორთქლის — კოშკის ზედა ნაწილში — 132-135

ორთქლის — კოშკის ქვედა ნაწილში — 137-138

ორთქლის ჭარბი წნევა კოშკის ზედა ნაწილში, კას (შპ ვერცხ. სეტ.) — 0,66-4(5-30)

შეირე სტადიის გასუფთავების რეჟიმებია (კოშკიდან გამოხული დისტრილტი გასუფთავებული

ტიტანის ტეტრაქლორიდა):

ფლევმის რიცხვი კოშკის შემაგრების ნაწილში — 0,2-0,3

ტემპერატურა, °C

ფლევმის — 50-100

ორთქლის — კოშკის ზედა ნაწილში — 134-136

ორთქლის — კოშკის ქვედა ნაწილში — 137-138

ორთქლის ჭარბი წნევა კოშკის ზედა ნაწილში, კას (შპ ვერცხ. სეტ.) — 0,66-4(5-30)

კუბის ნარჩენების ალბა, % — კოშკის მწარმოებლობისგან 8-10

კოშკის დამატარი 600 მ-ია, სიგრძე 11,8 მ (სარექტიფიკაციო ნაწილის სიგრძე 8,9 მ-ს შეადგენს).

თეფშის ხერელებიანი ნაწილის კვეთი კოშკის კვეთის 20% შეადგენს. თეფშის მარჯი მოქმედების კოეფიციენტი 30-60%-ია. რექტიფიკაციის ოპტიმალურ რეჟიმში მიიღება გასუფთავებული ტიტანის ტეტრაქლორიდი, რომელიც პროდუქტის სისუფთავეზე მოთხოვნებს აკმაყოფილებს (მინარეების შემცველობის მიხედვით). ტიტანის ტეტრაქლორიდი უფრო ან ოდნავ მოცუთილო ფერისაა.

12.3. ლითონური ტიტანის მიღება

ტიტანის ქიმიური აქტიურობის გამო მისი გამოყოფა ქიმიური ნაერთიდან გართულებულია. ჟანგადის, აზოტის და ნახშირბადის მინარეების ზემოქმედებით ტიტანის სიმტკიცე იზრდება, ხოლო მისი პლასტიკურობა ვარდება. წყალბადის მინარევი ნაკლებად მოქმედებს ტიტანის სიმტკიცეა და სისალეზე; მისი ზემოქმედებით მკეთრად მკირდება ტიტანის სიბლანტე დარტყმისას, რაც ლითონის მარცველების საზღვრებზე ტიტანის პიდრატის გამოყოფით აიხსნება.

ტიტანის ურთიერთქმედება ჟანგბადთან, აზოტთან, ნახშირბადთან, ნახშირბადის ოქსიდებთან და წყლის ორთქლთან ეზიბის ენერგიის დიდი კლებით წარმართება. ამიტომ დასახლებული აირებისა და ნახშირბადის უმნიშვნელო მინარეებები კი ტიტანთან ურთიერთქმედებით ოქსიდებს, კარბიდებს და ნიტრიდებს წარმოქმნის. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ჟანგბადი და აზოტი კარგად იხსნება ტიტანში.

ტიტანის ქცევიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ მეტალურგიული გადამამუყების ყველა ეტაპზე აუცილებელია ტიტანის დაცვა ჟანგადის, აზოტის, წყლის ორთქლის, ნახშირბადისა და ნახშირბადშემცველი

არების ზემოქმედებისგან. ამიტომ ტიტანის ალდგენისა და დნობის პროცესები პერმეტულ აპარატებში, ინერტული აირის ატმოსფეროში (არგონი, ჰელიუმი) ან ვაკუუმში ტარდება. ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პირობა აგრეთვე საწყისი ნაერთებისა და ალდგენის მაღალი სისუფთავე.

ჟანგბადთან დიდი ნათესაური კავშირის გამო, ტიტანი, ძირითადად, უჯანგბადო ნაერთიდან – ქლორიდიდან მიიღება. დიოქსიდის ალდგენით მხოლოდ მცირე რაოდენობის ფხვნილისებრი ტიტანი იწარმოება (ტიტანი 0,2–0,5% ჟანგბადს შეიცავს).

სამრეწველო პრაქტიკაში ლითონური ტიტანის მიღების შემდეგი მეთოდები გამოიყენება:

- ქლორიდის ($TiCl_4$) მაგნიუმით ან ნატრიუმით ალდგენა;
- ოქსიდის (TiO_2) კალციუმით ან კალციუმის ჰიდრიდით ალდგენა;
- ელექტროლიზით მიიღება ან რაფინირება.

ლითონური ტიტანის ამა თუ იმ სახით (ღრუბლისებრი ან ფხვნილის სახით) მიღება ალდგენის ხერხზეა დამოკიდებული. ლითონური ტიტანის კომპაქტური ნამუშალები დნობით ან ფხვნილოვანი მეტალურგიის ხერხით მიიღება.

ტიტანის დიდი ნაწილი ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაგნიუმთერმული ალდგენით (კროლის პროცესი) იწარმოება. ამ ხერხით ღრუბლისებრი ტიტანის ღებულობენ აშშ-ში, იაპონიაში, საბჭოთა კავშირის ყოფილ რესპუბლიკებში; ტიტანის წარმოების პროცესი შეხამებულია მაგნიუმის ელექტროლიტურ მიღებასთან (სურ. III.119.).

საწარმოო პრაქტიკაში ფართოდ გაერცელებულია ალდგენის პერიოდული პროცესი სარეაქციო მასის (ალდგენილი მასის) შედგომა დაშუშვებით. ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაგნიუმით ალდგენის პროცესი ტარდება ინერტული აირით (არგონი, ჰელიუმი) შევსებულ ფოლადის პერმეტულ აპარატში, რომელშიც ტინასწარაა ჩასხმული თხევადი მაგნიუმი. აპარატში რეგულირებადი სიჩქარით ტიტანის თხევადი ტეტრაქლორიდი ჩადის და თხევად და აირად (ორთქლით) მაგნიუმთან ურთიერთქმედებს. ალდგენის პროცესში აპარატი ივსება რეაქციული მასით. მასა შედგება ნარჩენი მაგნიუმის ქლორიდისგან (წარმოქმნილი $MgCl_2$ -ის დიდი ნაწილი პერიოდულად გამოაქვთ რეაქტორიდან) და ღრუბლისებრი ლითონური ტიტანისგან, რომლის ფორები ჭარბი მაგნიუმითაა შევსებული. ღრუბლისებრი ტიტანის გასუფთავება მაგნიუმისა და $MgCl_2$ -ისგან მასის ვაკუუმში აქროლით ზორციელდება.

ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაგნიუმით ალდგენის ჯამური რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:

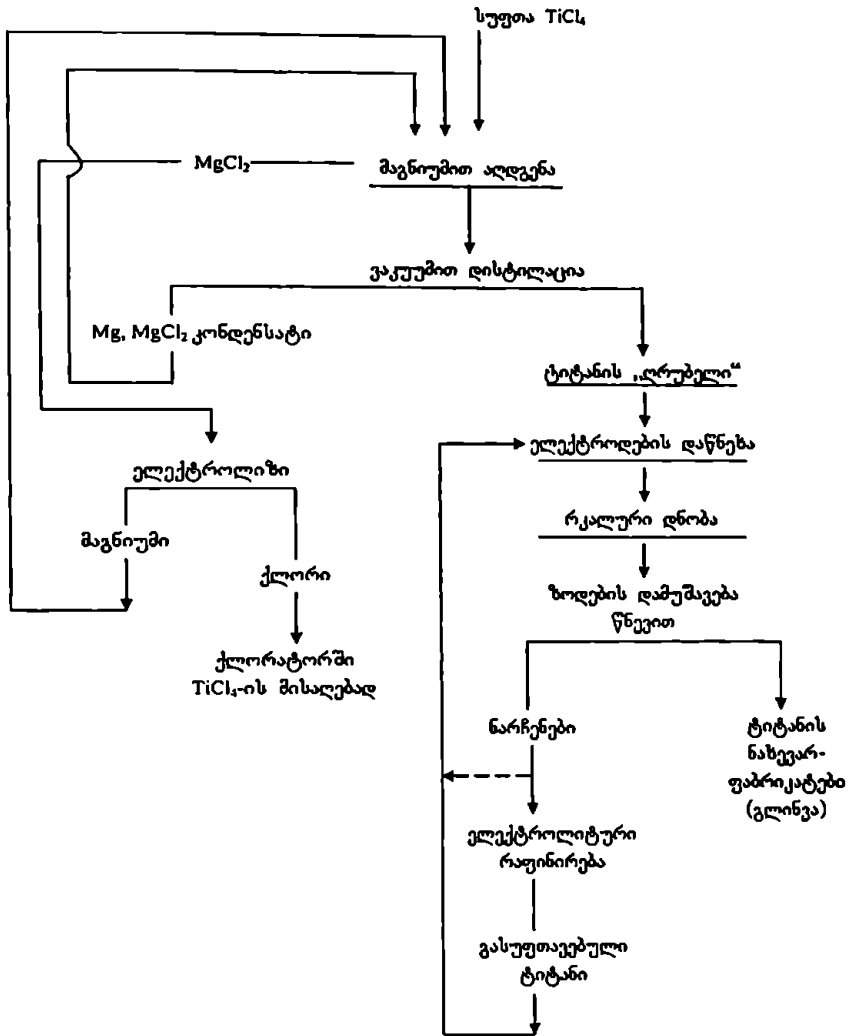


სარეაქციო ტემპერატურაზე მაგნიუმის ნაწილი ორთქლის მდგომარეობაში იმყოფება.

საწარმოო რეაქტორში (აპარატში) ტეტრაქლორიდის ალდგენისა და ღრუბლისებრი ტიტანის ფორმირების შექნისში რთულია. მასში შედის რიგი ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები: მორეაგირე ნივთიერებისა და რეაქციის პროდუქტების აორთქლება და კონდენსაცია, კონდენსირებულ და ორთქლის ფაზებში – დიფუზია, ხსნარებში – ლიკვაცია. არანაკლებ როლს თამაშობს აგრეთვე დასველებისა და კაპილარული აწვეის პროცესები.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე რეაქტორში მიმდინარე პროცესებთან დაკავშირებით შეიძლება შემდეგი დასკვნების გამოტანა: რეაქტორში ჩამავალი თხევადი ტიტანის ტეტრაქლორიდი სარეაქციო ტემპერატურაზე (800–850°C) სწრაფად ორთქლდება. ალდგენა, როგორც ორთქლის, ასევე კონდენსირებულ ფაზაში, მიმდინარეობს საფეხურებისამებრ; ალდგენის პირველი საფეხური ($TiCl_4 \rightarrow TiCl_3$) უპირატესად ორთქლის ფაზაში მიმდინარეობს, ხოლო მეორე – კონდენსირებულ ფაზაში, ვინაიდან ტიტანის დიქლორიდი ($TiCl_3$) თხევად $MgCl_2$ -ში იხსნება, ამიტომ ურთიერთქმედება თხევადი მაგნიუმისა და თხევადი $MgCl_2$ -ის ნაღვბში გახსნილი $TiCl_3$ -ის შორის კონდენსირებულ ფაზაში ხდება. დასაწყის პერიოდში ტიტანის „ღრუბლის“ ზრდა აპარატის კედლებზე (თხევადი მაგნიუმის დონის ზევით) შეინიშნება, ხოლო შემდგომ პერიოდში „ღრუბელი“ თანდათანობით აპარატის ცენტრში და აპარატის ზედა კედლებზე იზრდება. „ღრუბლის“ თავდაპირველად კედლებზე წარმოქმნა იმით აიხსნება, რომ შედარებით პრომოტურითან, პეტროგენული ჩანასახის წარმოქმნის ენერგია უფრო ნაკლებია.

ტიტანის დიქლორიდი ($TiCl_3$), რომელიც $MgCl_2$ -თან ერთად წარმოიქმნება ორთქლის ფაზაში, ნაღვბის ზედაპირზე და წარმოქმნილი ტიტანის ღრუბელზე კონდენსირდება. იგი კონდენსირდება აგრეთვე რეაქტორის კედლებზე, სადაც მაგნიუმთან ურთიერთქმედების შედეგად ალდგენას განიცდის. ამრიგად, ალდგენის

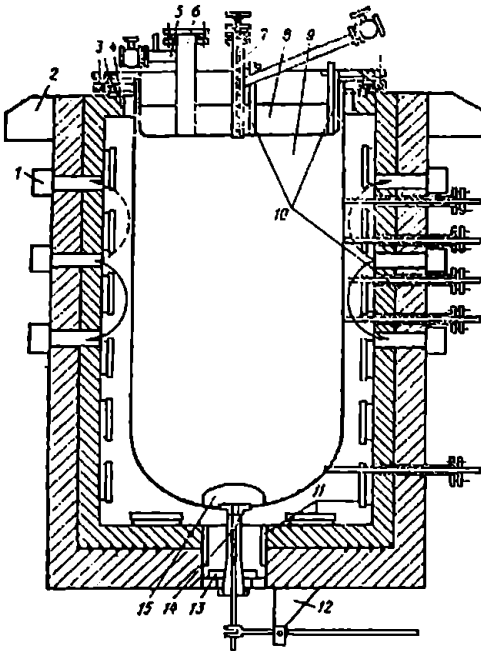


სურ. III.10. ღრუბლისებრი ტიტანის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა მაგნიუმის ელექტროლიტურ მღებასთან შესაბამისად.

შესაჯამებელი ეტაპი კონდენსირებულ ფაზაში მიმდინარეობს, რაც ღრუბლისებრი ტიტანის ბლოკის ფორმირებით აიხსნება.

აღდგენის პროცესში რეაქტორში თხევადი $MgCl_2$ გროვდება (ერთ მოცულობა ტიტანზე 10 მოცულობა მაგნიუმის ქლორიდი ზოდის). პროცესის შენელების თაიდან აცილების მიზნით, მაგნიუმის ქლორიდი პერიოდულად გამოშვებას ექვემდებარება გადმოსაშვები მოწყობილობიდან.

სამრეწველო რეაქტორებში გარნისაჟის ნალექი თანდათან სქედება, აღწევს განსაზღვრულ სისქეს, რეაქტორის კედლიდან წყდება და მის ძირზე ეშვება. გარნისაჟის ჩამოქცევა ტიორდება მაგნიუმის ქლორიდის გადმოშვების დროს. თუ კედლის ტემპერატურა $900^{\circ}C$ -ზე ნაკლებია, მაშინ რეაქტორის კედლებზე გარნისაჟი



სურ. III.120. ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაგნიუმით აღდგენის აპარატი.

1. პათრის მამწივებელი კოლექტორი; 2. დუმპლის ჩამოსაკლდი სისტი სამაგვარს; 3. რეტორტისა და თავსახურის წყლით საცივებელი მოლტურები; 4. დუმპლის ამონავი; 5. გაყუთობის და არგონის მამწივებელი შტუცერი; 6. თსყადი მაგნიუმის ჩასხმის კვანძი; 7. ტეტრაქლორიდის მიწოდების კვანძი; 8. რეტორტის თავსახური; 9. რეტორტის; 10. თავსახურისა და რეტორტის კედლების ტემპერატურის ხაზში საცეცხე; 11. გამსურებლები; 12. ჩამოსასხამი მოწყობილობის საცეცხე სამაგვარი კვანძი; 13. კვანძის საცეცხე; 14. ჩამოსასხამის მოწყობილობის საცეცხე ნემსის კოე; 15. ცრუ ძრვი.

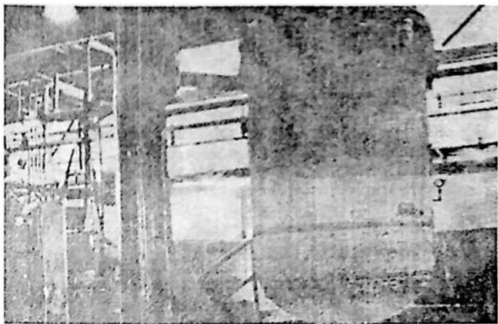
მის ურთიერთქმედების ზონაში ტიტანის უმდაბლესი ქლორიდების წარმოქმნა და მათი რაოდენობის ზრდა შეინიშნება. ეს ქლორიდები $MgCl_2$ -თან ერთად რეაქციული მასის ფორმში შედის, სადაც მაგნიუმის ქლორიდის ნაღობში შემაჯალი მაგნიუმით აღდგენას განიცდის. ქლორიდების აღდგენა, ძირითადად, ფაზების გაყოფის ზედაპირზე მიმდინარეობს, რაც ტიტანის ღრუბლის ბლოკის ტემპერატურის ზრდასა და მის რეკრისტალიზაციასა და შემჭიდროვებას იწვევს. ამიტომ უმდაბლესი ქლორიდების უფრო სრული აღდგენის მიზნით, ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიწოდების სიჩქარე შემცირებას ექვემდებარება. პროცესის ბოლო პერიოდში, როდესაც მაგნიუმის 60–65% უკვე დახარჯულია, $TiCl_4$ -ის მიწოდება წყდება და, უმდაბლესი ქლორიდების აღდგენის მიზნით, რეაქტორი კიდევ 1 საათით ყოფნდება $900^{\circ}C$ -მდე გახურებულ რეაქტორში.

ბოლო წლებში ტიტანის წარმოებაში მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა აპარატურული გაფორმება. თუ აღინიშნავთ რეაქტორის პერმეტულობის უზრუნველყოფა რეაქტორის მილყელითან თავსახურის შედეგებით ხდება, თანამდროვე რეაქტორში, რომლის ერთ-ერთი კონსტრუქცია III. 120. სურათზე ნაჩვენებია, პრემიუმულა წყლით საცივებელ მოლტურებს შორის მოთავსებულ რეზინის შეასადებით ხდება. რეაქტორის დამატერი

ხელახლა წარმოიქმნება. ეს იმით აიხსნება, რომ $850-900^{\circ}C$ -ზე სტეკიოშეტრიული შემაღ-გენლობის ნაღობში ($\sim 60\%TiCl_4+60\%MgCl_2$) $TiCl_4$ -ის შეზღუდული ხსნადობის გამო, მისი ნაწილი კრისტალების სახით რეაქტორის კედელზე კონდენსირდება. დაკონდენსირებული კრისტალები მაგნიუმის ორთქლითან ან ტიტანის „ღრუბლის“ კაპილარებიდან ამოსულ თხევად მაგნიუმთან ურთიერთქმედებს და აღდგენას განიცდის. გარდა ამისა, კედელზე გამოკრისტალებული $TiCl_4$ პროცესის ბოლო სტადიაზე $TiCl_4$ -თან ურთიერთქმედებს და $TiCl_3$ -ში გადადის. გაწინასაყის წარმოქმნა $900^{\circ}C$ -ის ზეით ($930-940^{\circ}C$) აღარ ხდება, რადგანაც ტემპერატურის გაზრდით $TiCl_2-MgCl_2$ -ის ნაღობიდან მყარი $TiCl_3$ არ გამოიყოფა. ამ შემთხვევაში ნაღობი კედლებიდან „ღრუბლის“ ზედაპირზე ხვდება. ამრიგად, რეაქტორის კედლების $930-940^{\circ}C$ -მდე გახურებით შესაძლებელი ხდება გაწინასაყის წარმოქმნის გარეშე პროცესის წარმართვა. გაზრდილი ტემპერატურაზე პროცესის ნატარების დროს აუცილებელია ტემპერატურის მკაცრი კონტროლი, რათა იგი დასაშვებ ზღვარს არ აცდეს.

სამრეწველო აპარატში აღდგენის პროცესი შეიძლება ორ პერიოდად გაიყოს. პირველი პერიოდი – დაწყებიდან Mg -ის 30–38%-ით დახარჯვამდე – ხასიათდება თხევადი მაგნიუმის სარკის ღია ზედაპირის არსებობით, ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიწოდების მაღალი სიჩქარით [~ 300 კგ/(მ².სთ)] და სითბოს კარგი არჩინებით. მეორე პერიოდი – მაგნიუმის სარკიანი ზედაპირის გაქრობის შემდგომი სტადია. მთელი მაგნიუმში ტიტანის ღრუბლის ფორმში იმყოფება და მორეაგირე ზედაპირზე იგი კაპილარული ძალების მოქმედებით ტრანსპორტირდება (ღრუბელი ნაღობიდან გამოშვებია). ამ სტადიაზე მაგნიუმის უქმარისობის გამო, $TiCl_4$ -ისა და მაგნიუმის

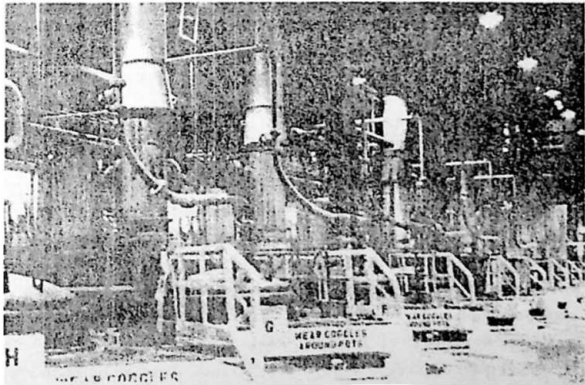
1-დან 2 მ-დეა. ხოლო სიმაღლე — 2-დან 3 მ-დე. აპარატის გარსაცმი დამზადებულია მსურველ-მდევი ქრომი კლანი ფოლადისგან, რომელიც $800-950^{\circ}\text{C}$ -ზე საკმაოდ გამძლე და მკვდრად დაფანგვის მიმართ. რეტორტა $700-800^{\circ}\text{C}$ -ზე ამოღებას ექვემდებარება რეაქტივის ღუმელიდან და პაერის ან წყლის ნაკადით ცივდება (ხურ. III.121.). თავსახური რეტორტაში ჩადრმავებულია და თბოიზოლირებულია (ხურ. III.120.8), რაც რეტორტის ზედა ნაწილში ცივი ზონის წარმოქმნას გამოიწვევს (ცივი ზონაში უმდაბლესი ქლორიდები კონდენსირდება). მაგნიუმის ქლორიდის გამოშვება რეაქტივიდან პერიოდულად ხდება მისი პერფორირებული ცრუ ძირიდან და ქვედა მილაკლიდან, რომელიც საკეტი მოწყობილობითაა აღჭურვილი. ტიტანის ალდენა მწკრივში ჩაყენებულ რამდენიმე აპარატში (რეტორტში) ხორციელდება (ხურ. III.122.).



ხურ. III.121. ღუმელიდან ამოღებული ფაერირებული რეტორტის გაყვება.

ალდენის ციკლი აპარატის პერმეტულობის გასინჯვით იწყება (ამოტუმბვის შემდეგ ჩაგუბების სიქარე კონტროლირდება). მოსამზადებელი რეტორტა ღუმელში თავსდება და არგონით ივსება. რეტორტის $700-750^{\circ}\text{C}$ -მდე გახურების შემდეგ რეტორტში ვაკუუმურ ტივლ-ლოზატორით თხევადი, რაფინირებული მაგნიუმი იხსმება. ამის შემდეგ დაწვევის აუზიკიდან ტიტანის ტეტრაქლორიდის მიწოდება იწყება და ღუმელი გამოირთება, ხოლო სარეაქციო ტემპერატურის ($850-900^{\circ}\text{C}$) შენარჩუნება ტეტრაქლორიდის ხარჯვის რეგულირებით ხორციელდება (ალდენის რეაქციის შედეგად ვე ზოთერმული სითბო გამოიყოფა). აპარატის მწარმოებლობის გაზრდის მიზნით, სითბოს ნაწილი რეტორტასა და ღუმელს შორის არსებულ რგოლურ ღრიქში პაერის შექრევით აირინება. მაგნიუმის ქლორიდის უკეთეს გადმოშვებისა და მაგნიუმისა და მაგნიუმის ქლორიდის სრული ვანშეეებისთვის რეაქტივის ქვედა ნაწილში ტემპერატურა $800-850^{\circ}\text{C}$ -ის ზღვრებშია შეკავებული. ღუმლის ქვედა ზონაში საცივებელი პაერის მოხვედრის აკლენის მიზნით, იგი ვაცივების ზონისგან მამჭიდროვებელი რგოლებით არის განცალკევებული. ალდენის პროცესი ავტომატური სისტემის მეშვეობით კონტროლირდება და რეგულირდება რეაქტივის კვლევის ტემპერატურა, ტეტრაქლორიდის ხარჯვა და წვევა აპარატში.

მთელი პროცესის განმავლობაში არგონის წვევა რეტორტაში ატმოსფერულზე ოდნავ მაღალია, რაც პაერის შეწოვას გამოიწვევს. მაგნიუმის ქლორიდის ყოველი გადმოშვების შემდეგ წვევა მკვეთრად ვარდება, ხოლო შემდეგ ხელახლა იზრდება. ალდენის პროცესის მთელი ციკლის განმავლობაში წარმოქმნილი მაგნიუმის ქლორიდის საერთო რაოდენობის $85-90\%$ რეაქტივიდან ვადმოიხსმება და ელექტროლიზზე იგზავნება (ხურ. III.119.).



ტეტრაქლორიდის (TiCl_4) მიწოდების შეწყვეტისა და რეტორტის 900°C -ზე დაყოვნების შემდეგ აპარატში არგონის დამატებითი რაოდენობის შემება ხდება. ღუმლის გამოთიშვისა და რეაქტივის -800°C -მდე ვაცივების შემდეგ რეტორტა ღუმელიდან ამოიღება და

ხურ. III.122. ტიტანის ტეტრაქლორიდის მაგნიუმით ალდენის აპარატები (რეტორტების გასახურებლად აირით სახურვებელი ღუმელები გამოიყენება).

სპეციალურ სტენდზე წყლის მორწყვით ან ჰაერის გაშრევით 25–40°C-მდე ცივდება (სურ. III.121). აღდგენილ პროდუქტში ანუ რეაქციულ მასაში შედის: 55–60% Ti; 25–35% Mg; 9–12% MgCl₂. ზოგჯერ პროდუქტი ტიტანის უმდაბლეს ქლორიდებსაც შეიცავს (0,01–0,1%).

ტიტანის წარმოების განვითარების პირველ ეტაპზე აღდგენის შედეგად მიღებული რეაქციული მასიდან მაგნიუმისა და მაგნიუმის ქლორიდის განდევნა, ძირითადად, ხორციელდებოდა ჰიდრომეტალურგიული ხერხით, რომელიც იღვასა გამოიყენება ზოგიერთ საწარმოში.



სურ. III.123. რეაქტორის გაციევის შემდეგ რეტორტას თავსასუთი ესდება და ახვეამატური ნაქუჩის დახმარებით დამტკარული რეაქციული მასა რეტორტიდან ამოიღება.

სურ. III.123. რეაქტორის გაციევის შემდეგ რეტორტას თავსასუთი ესდება და ახვეამატური ნაქუჩის დახმარებით დამტკარული რეაქციული მასა რეტორტიდან ამოიღება. ცხება და ვაკუუმში შრობას ექვემდებარება. გამოშვებული ფხვნილი 0,1–0,3% წყალბადსა და 1%-მდე ფანგბადს შეიცავს. ფანგბადის მინარევი ტიტანის წყალხსნართან კონტაქტის დროს ტიტანის დაჟანგვით წარმოიქმნება ვაკუუმ-რკალური დნობის დროს წყალბადის მინარევი სასურველ დონემდე განიღვენება ტიტანიდან, ხოლო ფანგბადის მინარევი რჩება, რის გამოც მიღებული ლითონი ვაზრდილი სისხლით განირჩევა.

ლითონურა ტიტანის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით, მოკვიანებით დამუშავდა რეაქციული მასის ვაკუუმთერმული გადამუშავების ხერხი, რომელიც ამჟამად ფართოდაა გავრცელებული. იგი ტიტანისა და მაგნიუმის და მისი ქლორიდის ორთქლის დრეკაობების სხვაობას ეყარება 850–1000°C-ის ზღვრებში. ამ ტემპურატურებზე მაგნიუმისა და მაგნიუმის ქლორიდის ორთქლის დრეკაობები შეადარებით მაგალითად, ხოლო ტიტანის ორთქლის დრეკაობა დაბალი (~3,7·10⁻⁷ მას, 1000°C-ზე). ამიტომ რეაქციული მასის ვაკუუმში გახურების დროს მაგნიუმი და მისი ქლორიდი აქროლას განიცდის, ხოლო ტიტანის ღრუბელი გახურების ზონაში რჩება.

საწარმოო პრაქტიკაში ტიტანის ტეტრაქლორიდის აღდგენით მიღებული მასის დაბუშვება ვაკუუმში ორი გზით ხორციელდება:

– იმავე რეტორტაში (რეაქციული მასის რეტორტიდან გადმოტყვართის გარეშე), რომელშიც აღდგენა ტარდებოდა;

– რეაქციული მასა პნევმატიკური ლოჯით იმსხვრევა (სურ. III.123.) და დამსხვრეული ნაჭრები იტორთება ფოლადის ხერხელებთან კალათაში, რომელიც სადისტილაციო რეტორტაში თავსდება.

მეორე მეთოდში, რეტორტის სრული შევსებითა და პროცესის ხანგრძლივობის შემცირებით სადისტილაციო აპარატის შწარბეულობა იზრდება. თუმცა, რეაქციული მასის ამოღებისა და კალათში მისი ჩატვირთვის პროცესში MgCl₂ დატენიანებას განიცდის და არააქროლად ოქსიქლორადში (MgO·HCl) გადადის, რის გამოც ტიტანის ღრუბელში ფანგბადის შემცველობა იზრდება. ამიტომ მასის ამოღებისა და ჩატვირთვის ოპერაციების ჩასატარებლად სპეციალური შწარბეულობის სათავსოება საჭირო (ჰაერის ტენიანობა 0,5% არ უნდა აღემატებოდეს). შწარბეულობის სათავსოების შექმნის აუცილებლობა კაპიტალურ დანახარავებს აღიღებს. გარდა ამისა, ასეთ სათავსოებში შრომის პირობები დამძიმებულია.

გაკუთვნილი აქროლად შარველ ხერხში დისტილაციის პროცესი ტეტრაქლორიდის აღდგენის რეტორტაშივე (რეაქციული მასის გადმოტვირთვის გარეშე) ტარდება. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილია

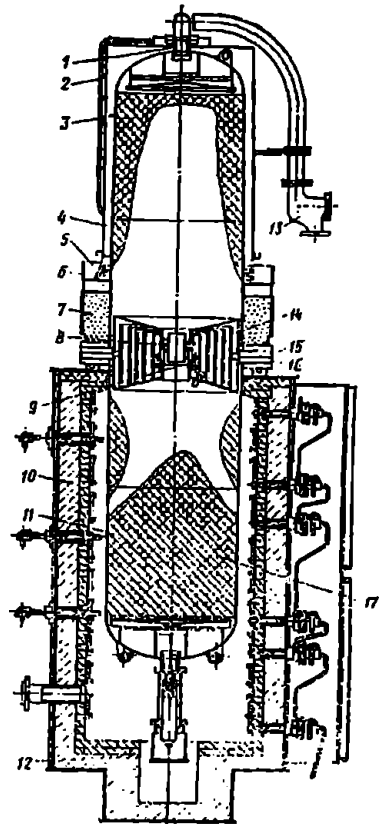
კონდენსატორის მაგივრად მასალისგან განთავისუფლებული ალდგენის რეტორტის შებრუნებულ მდგომარეობაში გამოიყენება. ასეთ აპარატში გამოირჩეულია კონდენსატორიდან კონდენსატის ამოღების და მისი გადატანის შრომატევადი ოპერაციების ჩატარება. პროცესის დაზიანების შემდეგ შებრუნებული რეტორტა — კონდენსატორი (კონდენსატთან ერთად) ცალკეულა და ალდგენის პროცესში როგორც რეაქტორის რეტორტა ისე გამოიყენება.

ამ კონსტრუქციის აპარატში გამოირჩეულია რეაქციული მასის ჰაერთან შეხების შესაძლებლობა. შებრუნებული რეტორტის მონტაჟის წინ ალდგენის რეაქტორის ცენტრალურ მილყელზე სწრაფად მაგრდება მაგნიუმის სახშობი. რეაქტორი საეციკლურ თბოსაიზოლაციო ურთიკაზე თავსდება და მასზე მონტაჟდება თბური ეკრანი და შებრუნებული რეტორტა სარწყავით. შებრუნებულ რეტორტთან აპარატის სქემა ნაჩვენებია III. 124. სურათზე.

დისტალაციის პროცესი სარეაქციო მასის შემცველი რეტორტის 700–800°C-მდე გახურებულ ღუმელში ჩაშვებით იწყება. გარკვეული დროის შემდეგ (2–3 სთ), როდესაც თავსახურების ზონაში ტემპერატურა 650°C-ს მიაღწევს, მაგნიუმის სახშობი დნება და დისტალაციის პროცესი იწყება.

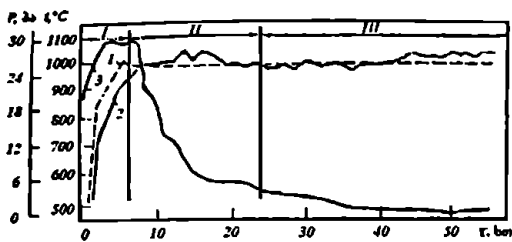
პროცესი სამ პერიოდად შეიძლება დაიყოს (სურ. III. 125.): პერიოდი I — რეტორტის კვლეების 900–950°C-მდე თანაბრი გახურება და აპარატში წნევის გაღივება; პერიოდი II — კვლეების ტემპერატურის 1000–1020°C-მდე გახურება და მაგნიუმისა და ქლორიდული მაგნიუმის სწრაფი აქროლა, აპარატში წნევის თანდათან შემცირება 13,3–66,5 პას-მდე, რასაც თან ახლავს კონდენსატორში 400–500°C-მდე ტემპერატურის გახურება (კონდენსაციის სითბოს ხარჯზე). ორ და სამტონიანი ციკლური მწარმოებლობის რეაქტორებში ეს პერიოდი 12–15 სთ გრძელდება; პერიოდი III — ხანგრძლივი დაყოვნება 1000–1020°C-ზე და აპარატში წნევის თანდათანობით ვარდნა 0,133–1,06 პას-მდე, კონდენსატორში ტემპერატურის 100–200°C-მდე შემცირება. დისტალაციის საერთო ხანგრძლივობა 50–60 სთ შეადგენს. გაციელების შემდეგ აპარატი ღემონტაჟეს ექვემდებარება და რეტორტა მასში ჩარჩენილი ღრუბლისებრი ტიტანით (ღრუბლით) ღრუბლის გადაშუშავების საამქროში იგზავნება.

ვაკუუმური დისტალაციის ძირითადი ნაკლია პროცესის ხანგრძლივობა და ელექტროენერჯის დიდი ხარჯი (6–8 კვტ სთ/კვ ტიტანზე). ამასთან დაკავშირებით, ზოგიერთ საწარმოებში გამოიყენება გასუფთავების კომბინირებული ხერხი, რომელიც ორი საფეხურისგან შედგება. პირველ საფეხურზე ვაკუუმური დისტალაციით მაგნიუმისა და $MdCl_2$ -ის ძირითადი ნაწილი განიღვრება (რაც სეპარაციის 12–15 საათით შემოკლების საშუალებას იძლევა), ხოლო მეორე საფეხურზე, დარჩენილი მინარევების განდგენის მიზნით, ტიტანის ღრუბელი ჰიდრომეტალურციულ გადაშუშავებას ექვემდებარება.



სურ. III. 124. ვაკუუმური სეპარაციის დანადგარი შებრუნებული რეტორტითა და მაგნიუმის სახშობით.

1. ვაკუუმურ სისტემასთან მიერთებული მილყელი; 2. სარწყავი; 3. შებრუნებული რეტორტა-კონდენსატორი; 4. კონდენსატ; 5. წყალსაყრბი; 6. მამქილორეგული; 7. თბოსაიზოლაციო სარწყული; 8. მართებული მილი; 9. მაგნიუმის სახშობი; 10. ელექტროლოქვილი; 11. ალდგენის რეტორტა; 12. სახშობი — მთადლელებელი კუჭი; 13. ვაკუუმ-სადენი; 14. ეკრანი; 15, 16. რეტორტის თავსახურები; 17. რეაქციული მასა.



სურ. III.125. ვაკუუმური დისტალაციის პროცესში ტკჰსეპატურისა (1, 2) და წნევის (3) ცვლილება.

რეაქტორში (დამბურთი - 1,8, ხოლო სიგრძე - 3,6 მ-ს შეადგენს) მიმდინარეობს (ციკლური მწარმოებლობით 5,5 ტ ტიტანი). აღდგენის პროცესის დამთავრების შემდეგ, რომელიც $MgCl_2$ -ის პერიოდული გადმოსხმით ტარდება, რეაქტორში $900-1000^{\circ}C$ -მდე გახურებული ქლორუმის ნეიტრალური აირის შეხერხვა ხდება.

ტიტანის ქლორიდის ($TiCl_4$) მაგნიუმით აღდგენისგან განსხვავებით, ნატრიუმით აღდგენა დიდი სიჩქარით მიმდინარეობს. ამასთან, ნატრიუმის გამოყენების კოეფიციენტი 100%-ს აღწევს. აღდგენის სრული გამოყენებით პროცესი ნატრიუმის ქლორიდის გადმოსხმის გარეშე ტარდება, რაც აპარატების კონსტრუქციასა და მათ მომსახურებას ამარტივებს:

- მაგნიუმის ქლორიდისგან განსხვავებით, ნატრიუმის ქლორიდი ნაკლებად ჰიგროსკოპულია და წყალხსნარში ჰიდროლიზს არ განიცდის. გარდა ამისა, რეაქტიულ მასაში ნატრიუმის უმნიშვნელო რაოდენობა ხდება. ეს გარემოება ტიტანისა და წილის მარტივი და იაფი ხერხით განცალკევების საშუალებას იძლევა - რთული და ენერგოტევადი ვაკუუმური დისტალაციის მაგივრად წყალში გამოტუტვის ხერხი გამოიყენება;

- აღდგენის შედეგად მიღებული ფხვნილისებრი ტიტანი უფრო მისაღებია შენადნობების დასამზადებლად, ვიდრე ღრუბლისებრი ტიტანი; ტიტანის ფხვნილი ადვილად ირევა მალეგირებულ დანამატებთან, რაც შენადნობის ერთგვარობას უზრუნველყოფს;

- ნატრიუმთერმული ტიტანი რკინისა და ნიკელის მინარევებს უფრო ნაკლები რაოდენობით შეიცავს (ნატრიუმით პრაქტიკულად არ ურთიერთქმედებს ფოლადთან), ნაკლებია აზოტის მინარევის შემცველობა, მიღებული პროდუქტი უფრო ერთგვაროვანია, ვიდრე მაგნიუმთერმული ტიტანის ღრუბლისებრი ბლოკი.

ნატრიუმთერმული პროცესის ნაკლოვან მხარეებს განეკუთვნება:

- ქლორიდების უფრო მაღალი შემცველობა (მაგნიუმთერმულთან შედარებით), რაც დნობის დროს აჭროლის რაოდენობას ზრდის;

- ლიბრომეტალურგიული გადამუშავების დროს დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება ქლორიდული ნატრიუმის ხსნარები, რომელთა რეგენერაცია მნიშვნელოვან ხარჯებთან არის დაკავშირებული.

მაგნიუმ ან ნატრიუმთერმული ხერხის შერჩევა, ძირითადად, მაინც დამოკიდებულია მოცემულ კონკრეტულ ქვეყანაში მაგნიუმისა და ნატრიუმის წარმოების რესურსებზე.

ცნობილია აგრეთვე ლათონური ტიტანის მიღების მეთოდი ტიტანის დიოქსიდის კალციუმთერმული აღდგენით. მის სახესხვაობას წარმოადგენს კალციუმის ჰიდრიდით (CaH_2) აღდგენა, (ძირითადი აღმდგენი რეაგენტი კალციუმი და არა წყალბადი). ამ მეთოდით აღდგენილი ტიტანი წერილმარცვლოვანი ფხვნილია, რომელიც ფხვნილოვან მენტალურგიაში გამოიყენება სხვადასხვა სახის ნაშაღის მისაღებად.

კალციუმის ჰიდრიდის მიღება მშრალი წყალბადისა და კალციუმის ურთიერთქმედებით $400-600^{\circ}C$ -ზე ხდება. ჰიდრიდი $800^{\circ}C$ -ზე იშლება კალციუმად და ატომურ წყალბადად, რომელიც წყალბადის მოლეკულად რეკომბინაციას განიცდის. ჰიდრიდები მყიფეა და ადვილად ქუცმაცდება, რაც აღმდგენისა და ტიტანის დიოქსიდის ერთგვაროვანი ნარევის მიღებას უზრუნველყოფს. ჰაერის ტენთან შეხებისას კალციუმის ჰიდრიდი იშლება, ამიტომ მასთან დაკავშირებული ყველა ოპერაცია აუცილებლად მშრალი, ინერტიული აირის ატმოსფეროში უნდა ტარდებოდეს.

კალციუმის ჰიდრიდით ტიტანის დიოქსიდის აღდგენის შედეგად ტიტანის ჰიდრიდის ფხვნილი მიიღება (რაეორც წესი, ტიტანის ჰიდრიდში წყალბადის შემცველობა სტეკომეტრიულზე ნაკლებია). ტიტანის ჰიდრიდი, ტიტანის ფხვნილთან შედარებით, ნაკლებად იფანება კალციუმის ოქსიდის გამოარეცხვის დროს.

ვაკუუმური დისტალაციისგან (სეპარაციისგან) განსხვავებულ მეთოდში, რომელიც ფორმა „ორმენტი“-ის (აშშ) მიერ დამუშავდა, ტიტანის ღრუბლიდან მაგნიუმისა და მაგნიუმის ქლორიდის განდგენა $900-1000^{\circ}C$ -მდე გახურებულ ქლორუმის ნაკადში ხორციელდება. ამ ხერხით აღდგენისა და გასუფთავების პროცესები ერთ აპარატში ტარდება. პირველ საფეხურზე აღდგენის ციკლური პროცესი ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება. აღდგენა პორიზირებულ ტარდება, ხოლო მეორეზე გასუფთავების ციკლი ხორციელდება.

ტიტანის დიოქსიდის კალციუმითა და კალციუმის ჰიდრიდით აღდგენის ჯგუფური რეაქციები შემდგენიარად გამოიხატება:



კალციუმით აღდგენა მსურველტიკე ფოლადის პერმეტულ აპარატში (სურ. III.126.) ტარდება. კაზმის სახით გამოიყენება TiO_2 -ისა და კალციუმის (ბურბუშელას სახით) ნარევისგან დამზადებული ბრიკეტები, რომელიც აპარატში იტვირთება.

აპარატის ამოტუმბვის შემდეგ, იგი არგონით ივსება და ერთი საათის განმავლობაში $1000-1100^\circ\text{C}$ -ზე ზურდება.

აღდგენილი პროდუქტი დაქუცმაცებასა და წყალში დამუშავებას ექვემდებარება [CaO -ის ნაწილის $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის სახით განდგენის მიზნით], ხოლო შემდეგ გაზავებულ HCl -ში მუშავდება, წყლით ირეცხება და ვაკუუმში $400-500^\circ\text{C}$ -ზე შრება.

კალციუმის ჰიდრიდით აღდგენის დროს აპარატში ტიტანის დიოქსიდისა და კალციუმის ჰიდრიდის ნარევისგან დამზადებული ბრიკეტები იტვირთება. რეაქტორის ამოტუმბვის შემდეგ იგი მშრალი წყალბადით ივსება და კაზმი $900-1000^\circ\text{C}$ -ზე ზურდება. პროდუქტი ზემოთ აღწერილი მეთოდით მუშავდება.

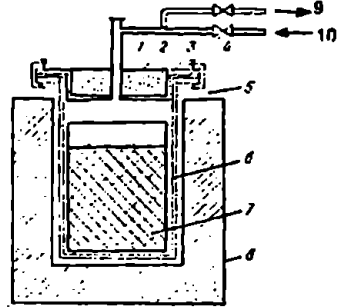
კალციუმით ან კალციუმის ჰიდრიდით აღდგენის დროს შესაძლებელია სხვა ლითონებით (მოლიბდენით, ვანადიუმით და სხვა ლითონებით) ლეგირებული ფუნქციონალური ტიტანის მღება, ამისათვის კაზმში საჭირო ფარდობით მალეგირებული ლითონების ოქსიდები შეაქვთ.

ვიანადაც ტეტრაქლორიდან ლითონთერმული ხერხით ტიტანის წარმოების დროს ელექტროლიზით მიღებული მაგნიუმი ან ნატრიუმი გამოიყენება აღმდგენად, უფრო ეკონომიური და გამართლებულია ნაერთებიდან ტიტანის პირდაპირი ელექტროლიტური აღდგენა. ამ მიმართულებით მრავალი კვლევა ჩატარდა.

პროცესის ყველაზე პერსპექტიული ვარიანტია ელექტროლიზი, რომელშიც ხაწყის ნედლეულად ტეტრაქლორიდი გამოიყენება. თუმცა, ტიტანის ტეტრაქლორიდის ტუტე და ტუტემიწა ლითონების ნაღობებში ადაბალი ხსნადობის გამო პროცესის რეალიზაციის დროს სიძნელები იქმნება. ტეტრაქლორიდის ხსნადობა იზრდება LiCl-KCl-CsCl -ის ქლორიდების მქროვში. ქლორიდების ნაღობებში TiCl_4 -ის ხსნადობა $700-800^\circ\text{C}$ -ზე $0,5-1,5\%$ -ს (მასის მიხედვით) შეადგენს. ტიტანი ნაღობში TiCl_4 კომპლექსის შემადგენლობაში შდება.

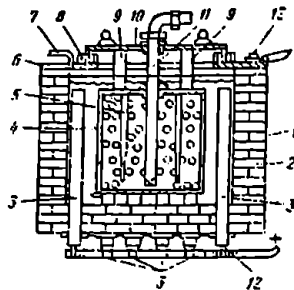
ვინაიდან უმდებლესი ქლორიდები (TiCl_3 , TiCl_2) კარგად იხსნება ქლორიდულ ნაღობებში, მიზანშეწონილია პროცესის ორ ეტაპად ჩატარება: თავდაპირველად კათოლიტში TiCl_4 -ის აღდგენის ხარჯზე (მიწოდებული TiCl_4 -ის ოდენობა $0,5$ მოლ. შეადგენს, ხოლო ღენის სიმჭიდროვე $26,8$ ამ. სთ, რაც TiCl_4 -ის წარმოქმნას შეესაბამება) ელექტროლიტში Ti^{3+} და Ti^{2+} -ის იონებით გაჯერებას ექვემდებარება. შემდეგ კი ღენის ძალის გაღიდების შედეგად ტიტანი კათოდზე გამოლექვას განიცდის. ამასთან, გაჯერებისა და ლითონის გამოყოფის ციკლები მეორდება. კათოლიტისა და ანოლიტის გაყოფა ქლორის იონებისთვის შემლწვეი დიაფრაგმის გამოყენებით ხდება.

ელექტროლიტური პროცესი, რომელიც აშშ-ის ლითონური ტიტანის კორპორაციამ დაამუშავა, ტარდება აბაზანაში, რომელიც სქემატურად ნაჩვენებია III.127. სურათზე. აბაზანის ცენტრში ჩაყენებულია ფოლადის კათოდური კალათი, რომლის გვერდული კედლები პერფორირებულია. კალათის შიგნით მოთავსებულია ოთხი კათოდური ღერი (კათოდური კალათის თავსახური და ძრო არ არის პერფორირებული). კალათის კედლები ისეა პერფორირებული, რომ ღენის $55-70^\circ\text{C}$ კათოდის ღეროებზე შიდას. კათოდური კვანძის დაყენების დროს პერმეტიზაციის უზრუნველყოფა ადვილად დნობადი ლითონების



სურ. III.126. ტიტანის დიოქსიდის კალციუმით ან კალციუმის ჰიდრიდით აღდგენის აპარატია.

1. აპარატის ტუმბოსთან ან არგონის ან წყალბადის წყაროსთან შეერთების მოწყობა
2. თბობიზოლაციური დანაყარი
3. თავსახური
4. შამჭიდროვებელი
5. აპარატის ვარსკაცმი
6. ფოლადის ჭიქა
7. კაზმის ბრიკეტები
8. ელექტროლიტული
9. გაყუბთან
10. არგონი ან წყალბადი



სურ. III.127. ტიტანის მისაღები ელექტროლიზირი.

1 ვარსკცა 2 ცეცხლგამსლე ამონაჯ 3 ანოდები 4 კათოდური კალათი 5 კათოდური ლეროები 6 ელექტროლიზირის თავსახური 7 ქლორის გამოსყვანი მალეკლი 8 ჰიდრაულიკური საყეცა 9 კათოდური კალათის საყეცა 10 კათოდური კვანძის თავსახური 11 ტეტრაჟლორიდის მსწოდების მილი 12 დენის ჩასართავი კლეშები.

(ტყევი, კალა) ჰიდრაულიკური საყეცით ხორციელდება, რაც კათოდის ლითონით შევსების შემდეგ, მისი სწრაფი შეცვლის შესაძლებლობას იძლევა. კათოდის კალათის გარშემო, ელექტროლიტური აბაზანის გვერდული კედლების გასწვრივ განლაგებულია 16 გრაფიტის ანოდი.

კათოლიტში ტიტანის ტეტრაჟლორიდი გრაფიტის მილის მეშვეობით შედის. მილი, თითქმის, კათოდის კალათის ძირამდე ჩაშვებული. თავდაპირველად ელექტროლიტად $KCl-LiCl$ -ის ნარევი გამოიყენებოდა, რაც პროცესის $500^{\circ}C$ -ზე ჩატარების შესაძლებლობას იძლევა. შემდგომში ნარევი უფრო ეკონომიური $NaCl$ -ის ნაღობით შეიცვალა და ელექტროლიზის ტემპერატურა $800-850^{\circ}C$ -მდე გაიზარდა. დენის დაბალი სიმჭიდროვის პირობებში კათოლიტში მიწოდებული $TiCl_4$ -ის წინასწარი დადგენა პერფორირებული კათოდის შიგა ზედაპირზე მიმდინარეობს. აღნაგობით გამოყოფილი წყრილი კრისტალებით კედლის ზერელების „დაეკრანება“ ხდება, თუმცა, მათში ქლორის იონების შეღწევალობა არ იზღუდება. ამის შემდეგ კათოლიტის უმდაბლესი ქლორიდებით გაჯერებისა და კათოდების ლეროებზე ტიტანის შემდგომი დალექვის თანამიმდევრული ციკლები ტარდება ($TiCl_4$ -ის მიწოდების რაოდენობისა და გატარებული დენის სიდიდის შესაბამისი რეგულირებით). კათოდის კალათის შევსების შემდეგ კათოდი ამოიღება და არგონის ატმოსფეროში თავსდება გასაცივებლად. მარილების გამორეზვის შემდეგ კათოდურ ნალექში $\geq 0,8$ მმ ზომის კრისტალები რჩება. ტეტრაჟლორიდის გამოყენების ხარისხი $97,8\%$ -ს შეადგენს.

ნაკლები ელექტრონერჯის ხარჯვის გამო, ელექტროლიტური ტიტანი უფრო დაბალი თვითღირებულებით განირჩევა, ვიდრე მაგნიუმითრებული ტიტანი. პროცესის ნაკლს პერიოდულაობა, დიდ მასშტაბებში ჩატარების სიმძლევები და საკმაოდ დიდი კაპიტალური დაბანდება წარმოადგენს.

12.4. კომპაქტური ლითონური ტიტანის მიღება

ლითონური ტიტანის კომპაქტური ნაშაადების მიღების ძირითად სამრეწველო ხერხს ვაკუუმში რაკალური დნობა წარმოადგენს. ამ ხერხით ტიტანის 3-10 ტ-იანი ნაშაადები მიიღება. დიდი ზოდების გამოსაღობად გამოიყენება რაკალური ლუმელები, რომლებსაც ჩასაშვებამინიანი კრისტალიზატორები გაჩნია. სახარჯი ელექტროდები, როგორც წესი, ლუმელის გარეთ, ჰიდრაულიკურ წნეხში დაქუცმაცებული ($5-70$ მმ) ტიტანის ღრუბლიდან იწნეხება $6-8$ ტ/მ² წნეხის ქვეშ.

ცილინდრული ბრიკეტები შეცხოების პროცესში კონტაქტურ-ტორსული შედუღებით გრძელ ელექტროდად გაერთიანებას ექვემდებარება. ამისათვის რაკალური დნობის ლუმელის ზედა კამერაში ბრიკეტებში ელდნი ტარდება. ვაკუუმში შეცხოების დროს ერთდროულად ბრიკეტების რაფინირებაც ხდება - მაგნიუმის, წყალბადის და სხვა ნარჩენი აქროლადი მინარევები აქროლას განიცდის. ბრიკეტების შედუღება ლუმელის გარეთ არგონ-ჰელური ხერხითაც შეიძლება.

მსურველშედუღობის გაზრდისა და მექანიკური და კოროზიული თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, რაკალური დნობის დროს ტიტანში რიგი მალეგირებელი ლითონების (Mn, Al, V, Cr-, Mo, Fe, Ni) დანამატები შეაქვთ. ვინაიდან რაკალური დნობის დროს ლითონის მხოლოდ მცირე ნაწილი იმყოფება გამდნარ მდგომარეობაში, შენადნობის ერთგვარონების უზრუნველყოფა გაძნელებულია. ამიტომ მიზანშეწონილია მალეგირებული დანამატების წინასწარი შერევა სახარჯი ელექტროდების დასამზადებელ ტიტანის ღრუბელთან.

ერთგვაროვანი შენადნობის მიღების ნებისმიერ ხერხში საჭირო ხდება განმეორებითი გადადნობა, რომლის დროსაც სახარჯი ელექტროდის სახით ადრე მიღებული ზოდი გამოიყენება.

ფუნქციონირება მეთალურგია კონსტრუქციული დანიშნულების ან მცირე ზომის ტიტანის დეტალების რიგი ნაშაადების (რომლებიც დიდი რაოდენობით მზადდება) წარმოებას ითვალისწინებს. ტიტანის ან

მისი შენადნობების ფხვნილების წნეხა და შემდგომი შეცხობა ან ფხვნილების ცხელი წნეხა, შეცხობილი ნაშაადების შტამპებში ცხელი ჭედვა ან ფხვნილოვანი მეტალურგიის სხვა მეთოდების გამოყენება ტიტანის წარმოებაში გაცილებით ხელსაყრელია და ეკონომიური, ვინაიდან ამ შემთხვევაში მცირდება ლითონის დანაკარგები და ნარჩენები, რომელსაც ადვილი აქვს ფურცლოვანი სხმულის ან ნავლინის ნაშაადების კრითა და შტამპით დეტალების დამზადების დროს.

დეტალების დამზადება ფხვნილების შეცხობისა და წნევით დამუშავების მეთოდებით უფრო იაფი ჯდება, ვიდრე ვაკუუმური დნობა, განსაკუთრებით — შენადნობების ნაშაადებისთვის, რომლებიც ორჯერ გადადნობას საჭიროებს. ფხვნილოვანი მეტალურგიის მეთოდები მაღევირებელი ელემენტების უფრო თანაბარ განაწილებას უზრუნველყოფს. ფხვნილოვან მეტალურგიაში გამოიყენება ფხვნილები, რომლებიც ტიტანის ღრუბლის დაქუცმაცების, ტიტანის ნარჩენების ელექტროლიტური რაფინირების და ტიტანის დიოქსიდის კალციუმით ან კალციუმის ჰიდრიდით აღდგენის შედეგად მიიღება. დაქუცმაცების გაადვილების მიზნით, მიზანშეწონილია ღრუბლის წინასწარი ჰიდრირება 500–600°C-ზე და ტიტანის ჰიდრიდის მიღება. ჰიდრიდის დეჰიდრირება შესაძლებელია ვაკუუმში 700–800°C-ზე.

ტიტანის ან მისი ჰიდრიდის მცირე ზომის ნაშაადები მათი ფხვნილების ფოლადის პრეს-ფორმებში 8-12 ტ/სმ² წნევის ქვეშე დაწნებით მზადდება. მსხვილი ნაშაადები (50–100 კგ-იანი მასით) კი ჰიდროსტატიკური წნეხის მეთოდი მიიღება. შეცხობის პროცესი 1,3.10-2–1,3.10-3 პას (ვაკუუმში) წნევისა და 1280–1400°C-ის პირობებში მიმდინარეობს. შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე (880°C) α – ტიტანის β – ტიტანში გარდაქმნა ატომების მფარადობის გაზრდას ხელს უწყობს, რაც შეცხობის პროცესის ხანგრძლივობის შემცირებას უზრუნველყოფს.

ტიტანის ჰიდრიდის შემცველი ნაშაადების საბოლოო ფორიანობა 12–14%-იანი სიგრძივი კლების დროს, დაახლოებით, 2%-ს შეადგენს. ჰიდრიდული ფხვნილების შეცხობით, დიდი შეკლების გამო, შეუძლებელია ზუსტად მარკუპული ზომების ნაშაადების მიღება. ღრუბლის დაქუცმაცების შედეგად მიღებული უფრო მსხვილმარკუპოვანი ტიტანის ფხვნილის გამოყენების დროს, 1000°C-ზე 15-საათიანი და 1200°C-ზე 4-საათიანი შეცხობის შემდეგ შეინიშნება მხოლოდ 4-5%-იანი სიგრძივი შეკლება.

ტიტანის ფხვნილთა მეტალურგიის თანამედროვე განვითარება, პირველ რიგში, დაკავშირებულია ნარჩენების გადამუშავებასთან. ტიტანისა და მისი შენადნობებისგან წარმოქმნილი ნარჩენების მთლიანი რაოდენობის 50% არაკონდიციურია; უანებადის, აზოტისა და სხვა ბინარეგების მაღალი შემცველობის გამო, დნობის დროს კაზმის კომპონენტებად ნარჩენების გამოყენება არ შეიძლება. გარდა ამისა, ნარჩენებში არსაკონტროლებელი მაღევირებელი ელემენტები (Al, Mn, V და სხვა) შედის. ასეთი ნარჩენების ჰიდრირება და ჰიდრიდების ჰიდრომეტალურგით ან ელექტროლიტით გადამუშავება უფრო ხელსაყრელია.

თავი 13. ურანის მეტალურგია

ურანი [ლათ. Uranium; Uranus თანამედ. ლათ. Uranus — პლანეტა, რომელიც აღმოაჩინა ჰერსელმა 1781 წელს; Uranus — ბერძნულ მითოლოგიაში Gaea-ს (მიწა) შვილი და Kronos (სატურნი) მამა], პლანეტა ურანის პატივსაცემად წოდებული, რომელიც 1789 წელს იქნა აღმოჩენილი, რუხი ფერის მკერძი რადიოაქტიური ლითონია. იგი ატომბულური ენერჯის გამოყოფის უნარიანობით გამოირჩევა და ამიტომ, ძირითადად, ატომური ენერჯის მისაღებად გამოიყენება.

ბირთვული (ატომური) ენერჯის გამოყენებას დიდად შეუწყო ხელი ისტორიული მნიშვნელობის ენშტეინის ცნობილმა განტოლებამ — ფორმულამ ($E=mc^2$), რომელიც 1905 წელს გამოქვეყნდა.

როდესაც 1930 წელს მეცნიერებმა ატომის გაშლის (დაშლის) გზა გამოაჩინეს, აღმოჩნდა, რომ ატომის გაყოფით წარმოქმნილი ნაწილაკების საერთო მასა საწყისის ატომის მასაზე ნაკლებია ანუ ატომის დაშლით ატომის მასის მხოლოდ ნაწილი გარდაიქმნა და მხოლოდ ატომის ნაწილაკებად, რაღაც ნაწილი კი ენერჯად გარდაიქმნა. სწორედ ენშტეინის ფორმულის მეშვეობით შესძლეს მეცნიერებმა ატომის გაყოფით წარმოქმნილი (გათავისუფლებული) ენერჯის რაოდენობის გათვლა.

ენერჯის შექმნის ეს ატომ-გაყოფის მეთოდი საფუძვლად უძევს ატომბულურ ენერჯიას. ტერმინში „ბირთვული“ იგულისხმება ატომური პროცესი, რომელშიც ატომბულის ან ატომის ცენტრალური ნაწილის გამაყენებით ენერჯის გათავისუფლება (გამოყოფა) ხდება.

ატომური ენერჯის გამოყოფის ორა სერხი არსებობს: უმეტესად მძიმე ატომგულების უფრო მსუბუქ ატომგულებად გარდაქმნა (რადიოაქტიური დაშლა და ატომგულების გაყოფა) და უმეტესად მსუბუქ ატომგულისგან უფრო მძიმე ატომგულების შექმნა (ატომგულების სინთეზი).

ატომური ენერჯის გამოყოფის პირველ ხერხში გამოიყენება გაყოფადი U^{235} (შედის ურანის ბუნებრივ იზოტოპებში; ცხრილი III.40.), U^{233} (ხელოვნურად მიიღება) და Pu^{239} (ხელოვნურად მიიღება ბუნებრივ U^{238} -დან; ურანისაგან განსხვავებით პლუტონიუმი ძალიან სამში ტოქსიკური რადიოაქტიური ელემენტია).

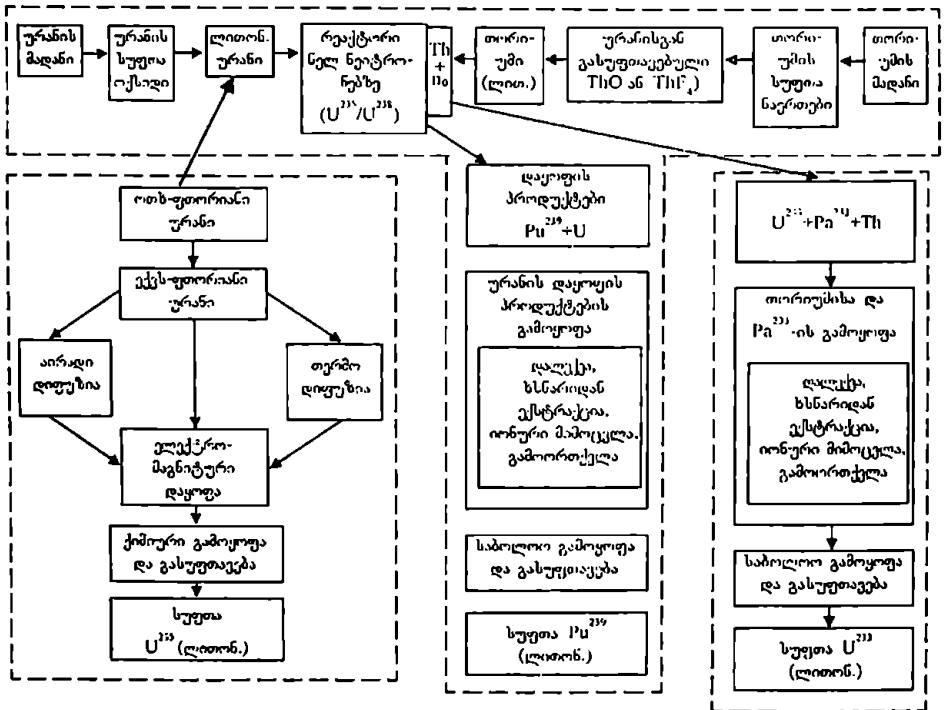
ცხრილი III.40.

ბუნებრივი ურანის იზოტოპური შემადგენლობა

იზოტოპი	შეზღვევლობა ბუნებრივ ნარევეში, %	გარდაქმნის ტიპი	ნახევრად დაშლა, წლები
238 (U1)...	99,28	α.	$4,5 \cdot 10^9$
235 (AcU)...	0,71	α.	$7,1 \cdot 10^8$
234 (U11)...	0,005	α	$2,39 \cdot 10^5$

ურანის როლი გაყოფადი მასალების მიღების საერთო სქემაში ნაჩვენებია III. 128. სურათზე.

ატომის ენერჯის პრაქტიკული გამოყენებისთვის ატომგულური (ძირითადი) რეაქციის ამოქმედება საჭირო, რომელიც თუ დაიწყო, შემდეგ თავისთავად მიმდინარეობს. ასეთი რეაქციები ვაჭვეური რეაქციების სახელწოდებითაა ცნობილი. ვაჭვეური რეაქციის განვითარების სქემა ნეიტრონებით U^{235} -ის ატომგულის გაყოფის დროს ნაჩვენებია III.128¹ სურათზე. ნეიტრონი (n) U^{235} -ის ატომგულს ხედება და მას ორ



სურ. III.128. ურანის როლი გაყოფადი მასალების მიღების საერთო სქემაში - U^{235}_{92} , U^{238}_{92} და U^{239}_{94} მიღების სქემა (ქვედა ინდექსი 92,94 ბირთვული პროტონების რიცხვია (ატომური ნომერი), ხოლო ზედა ინდექსები 235, 238 და 239 - პროტონებისა და ნეიტრონების საერთო რიცხვი (მასის რიცხვი)).

ნაწილად ჰყოფს. ამასთან, ერთდროულად ორი-სამი ნეიტრონის ამოტყორცნა ხდება და ისინი, თავის მხრივ, მონაწილეობას იღებენ ატომგულების გაყოფაში და ა.შ. უნდა აღინიშნოს, რომ U^{233} -ის გაყოფა არა მხოლოდ ნეიტრონების დაშენით ხდება — გაყოფის პროცესი ურანის ატომგულის თვითნებური დაშლის გზითაც ხორციელდება.

ურან 235-ის (აგრეთვე U^{233} -ისა და Pu^{239} -ის) ატომგულის გაყოფის ჯაჭვური პროცესით ერთილოვანობის ნაჭრის ატომგულების დაშლა წამის შემთხვევაში ხდება, რაც მძლავრ აფეთქებას იწვევს. სწორედ ამ პროცესის გამოყენებას ეფუძნება ატომური ბომბი. ბირთვული გაყოფის რეაქციების განსასხორციელებლად ნეიტრონების გარდა გამოიყენება პროტონები, ალფა ნაწილაკები, დეიტრონები და ფოტონები.

ატომური ენერჯის გამოყოფის მეორე ხერხში წყალბადისა და ჰელიუმის ატომგულების სინთეზი ხდება ენერჯის მიღება. მსუბუქი ატომგულების სინთეზის რეაქციები შხისა და ეარსკლავთა ენერჯის ძირითად წყაროს წარმოადგენს. ვინაიდან ეს რეაქციები ძალიან მაღალ ტემპერატურებზე მიმდინარეობს, მათ თერმობირთვულს უწოდებენ.

ბუნებრივი იზოტოპების ნარევისგან შემდგარი ურანი ბირთვული საწვავის სახით გამოიყენება ატომურ (ბირთვულ) რეაქტორში (სურ. III.127²).

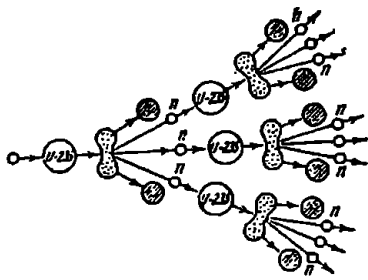
ატომურ რეაქტორებში ურანი (სუფთა ან ლითონებით ლეგირებული) ბლოკების სახით იხმარება. ბლოკები ალუმინის ან სხვა ლითონების (ციროკონიუმის და სხვა) დამცავ გარსშია ჩასმული.

მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე ზოგიერთ ენერჯეტიკულ რეაქტორში U^{235} და თბური ნეიტრონების წატაკების მცირე კვეთის მქონე ლითონებთან (ალუმინი, ციროკონიუმი) შემდგარი ურანი გამოიყენება. ცნობილია აგრეთვე რეაქტორები, რომლებშიც ურანი ოქსიდის ან კარბიდის სახით გამოიყენება.

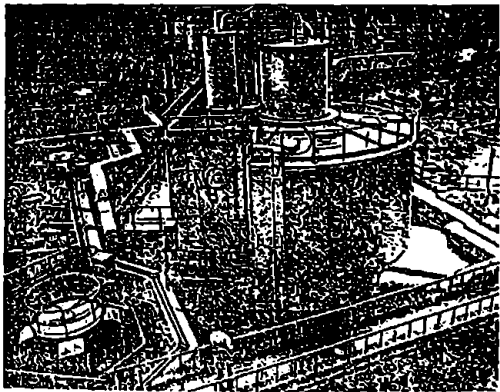
ატომურ ტექნიკაში მხოლოდ მაღალი სისუფთავის ურანი იხმარება. ურანიდან იმ მინარევი ელემენტების განდევნა აუცილებელი, რომელთა თბური ნეიტრონების წატაკების კეთილ მაღალი მაჩვენებლებით განირჩევა. სუფთა ურანის ნაკლი, როგორც თბოაბომყოფი (ბირთვული საწვავი) ელემენტისა (ატომურ რეაქტორებში), მის დაბალ მექანიკურ გამძლეობასა და დაბალ კოროზიულ მდგომარეობაში მდგომარეობს.

ტემპერატურის მკვეთრი რხევებისა და აგრეთვე ნეიტრონული და სხვა სახის დასხიების ზემოქმედების შედეგად, ურანის ბლოკების ზომები და ფორმა მნიშვნელოვნად იცვლება. ამ ნაკლოვანებათა აღმოფხვრის მიზნით, ურანი სხვადასხვა ლითონებით ლეგირებას განიცდის. ლეგირების შედეგად ურანის სიმტკიცე, კოროზიული მდგომარეობა და ცოცხადობის წინააღობა იზრდება.

ატომურ რეაქტორებში გამოიყენება ურანის შენადნობები ციროკონიუმთან, ალუმინთან, ბერილიუმთან, მავნიუმთან, სილიციუმთან, მონობიდენთან, ნიობიუმთან, ქრომთან, ვანადიუმთან, ტიტანთან. გარდა ამისა, თხევად ატომურ სათბობებზე მომუშავე რეაქტორებში იხმარება ურანის შენადნობები ბისმუტთან და ტყვიასთან. ზემოთ დასახელებულ ლითონებთან $Zr, Al, Be, Mg, Si, Bi, Pb$ თბური ნეიტრონების წატაკების მცირე კვეთით განირჩევა და ამიტომ მათი ურანზე დამატება ნებისმიერი საჭირო რაოდენობით შეიძლება. რაც შეეხება ისეთ ლითონებს, როგორიცაა Nb, Cr, Mo, V და Ti , მათი ნეიტრონების წატაკების კვეთი რამდენადმე



სურ. III.128¹. ნეიტრონებით U^{235} -ის ატომგულის გაყოფის ჯაჭვური რეაქციის სქემა.



სურ. III.127¹. ბირთვული რეაქტორის საერთო ხედი.

მეტია და ამიტომ ამ ლითონების ურანზე დამატება რაოდენობრივად შეზღუდულია (შეიძლება მხოლოდ რამდენიმე პროცენტის ოდენობით დამატება).

ურანი მაღალი ქიმიური აქტიურობით განირჩევა. მას დიდი ნათესაური კავშირი გააჩნია ჟანგბადთან და ჰალოგენებთან; იგი რეაგირებს წყალბადთან, წყლის ორთქლთან, აზოტთან, ნახშირბადთან და ნახშირბადშემცველ აირებთან.

ზოგიერთი ელემენტისა და მათი ნაერთების ურანთან ურთიერთქმედების მახასიათებლები წარმოდგენილია III.41. ცხრილში.

ცხრილი III.41.

ზოგიერთ ელემენტთან და ნაერთთან ურანის ურთიერთქმედება

ელემენტი ან ნაერთი	ურთიერთქმედების ტემპერატურა, °C		რეაქციის პროდუქტები
	კომპაქტური ურანი	პიროფორული ურანის ფხვნილი	
O ₂	150-350	100-200	UO ₂ ; U ₂ O ₃
H ₂	250-300	25	UH ₃ , იშვება 432°C-ზე
N ₂	700	500	UN; UN _{1.75} ; UN ₂
C	1800-2400	800-1200	UC; U ₂ C ₃ ; UC ₂
S	500	250-300	US ₂ ; U ₂ S ₃
F ₂	25	-	UF ₆
Cl ₂	500-600	150-180	UCl ₄ ; UCl ₃ ; UCl ₅
Br ₂	650	210	UBr ₄
I ₂	350	260	UI ₃ ; UI ₄
B	ვოლტური რკალის ალში	1550-1750	UB ₃ ; UB ₄
H ₂ O	100	25	UO ₂ ; UH ₃
HF (აირი)	N ₂ -ის ნარეფთან, 250°C	200-400	UF ₄
HCl (აირი)	-	250-00	UCl ₃
NH ₃	700	400	UN _{1.75}
H ₂ S	-	400-500	US; U ₂ S ₃ ; US ₂
CH ₄	-	635-900	UC
CO	750	-	UO ₂ +UC
CO ₂	750	-	UO ₂ +UC

ცნობილია ურანის საში კრისტალური მოდიფიკაცია: α - ურანი, მდგრადია 660°C-მდე, კრისტალირდება რომბულ სისტემაში. შრეული სტრუქტურა დარიშხანის, ანთიმონისა და ბისმუტის სტრუქტურის მსგავსია, ურანის β მოდიფიკაცია 660-760°C ტემპერატურების ინტერვალშია მდგრადი, მისი სტრუქტურა ტეტრაგონალურია, მოდიფიკაცია γ 760°C-დან დნობის ტემპერატურამდე (1133°C) მდგრადი, მას ცენტრირებული სტრუქტურა გააჩნია.

ურანი პლასტიკურია და მუდარებით ადვილად ექვემდებარება წნევით დამუშავებას (ჭედა, გლინვა, გამოწევა). მისი დამუშავება ძირითადად α ან γ მდგომარეობაში ხორციელდება; β მდგომარეობაში ლითონი მაგარია და ძნელად მუშავდება.

ელემენტის ქერქში (ლიტოსფეროში) ურანის საშუალო შემცველობა დაახლოებით 2,6·10⁻⁴ %-ს შეადგენს. ურანის საერთო რაოდენობა 20 კმ-ის სისქის დელამიწის ქერქში, დაახლოებით, 10¹⁴ ტონის ტოლია. ზღვის წყალი 0,36·10⁻⁶ დან 2,3·10⁻⁵ გ/ლ-მდე ურანს შეიცავს. ეინაიდან ურანის ამოღება წიაღისეული წყალქველიდან გართულებულია, რიგ ქვეყნებში (განსაკუთრებით იაპონიაში) მუშავდება და იხვეწება ტექნოლოგიები, რომლებიც ზღვის წყლიდან ურანის ამოღებას ითვალისწინებს. ურანის გეოქიმიკა და მინერალოგია ძალზე რთულია. ურანის გეოქიმიის დამახასიათებელ თავისებურებას მისი ლიტოფილურობა წარმოადგენს.

ბუნებაში ურანი, ძირითადად, ჟანგბადთან ნაერთების სახით მოიპოვება.

ურანის მინერალები ენდოგენური (პირველადი) მინერალჩამოყალიბების ყველა სტადიაზე (მაგმურ, პეგმატიტურ, პიდროთერმულ) წარმოიქმნება.

ბუნებაში ოთხ და ექვსვალენტური ურანია ცნობილი. ოთხვალენტური ურანი ენდოგენურ პირობებში წარმოქმნილი მინერალებისთვისაა დამახასიათებელი, ხოლო ექვსვალენტური ურანი, ძირითადად, დედამიწის ზედაპირის დამუანგველ პირობებში წარმოქმნილ მინერალებში შედის.

ოთხვალენტური ურანი შედის გრანიტებისა და კემაციტების მრავალ აქტესორულ მინერალში, რომლებიც იშვიათი იწვევს ელემენტებს – თორიუმს, ტანტალს, ნიობიუმს, ტიტანს და ცირკონიუმს შეიცავს. ჰიდროთერმულ მარცვლებში ურანის მინერალები (უპირველესად ურანის ფისიანი მადანი) ქსოკოფოლურ ელემენტებთან – სპილენძთან, ნიკელთან, ბისმუტთან, ვერცხლთან, მოლიბდენთან არის ასოცირებული.

ბუნებაში ცნობილი ურანის 15-მდე მინერალი. მინერალები, ძირითადად, წარმოდგენილია ოქსიდებით, სილიკატებით, ტიტანატებით, ტანტალ-ნიობატებით და ტიტან-ტანტალ-ნიობატებით, ფოსფატებით, არსენატებით, ვანადატებით, კარბონატებით, სულფატებით, მოლიბდატებით. მინერალების უმეტესი ნაწილი მეორადი წარმოქმნილია.

ურანის სამრეწველო მადნების მნიშვნელოვანი მინერალებია:

– ურანიტი – UO_2 – პირველადი მინერალი, ძირითადად, გრანიტებში, სიენიტურ პემაციტებში და პემაციტოლიტოპიდროთერმულ საბადოებშია წარმოდგენილი. დაგანვის გამო იგი ყოველთვის შეიცავს UO_2 -ს (დაფთანგვას ხელს უწყობს რადიოაქტიური დაშლა). გარდა ამისა, ურანიტიში რადიოაქტიური დაშლის პროდუქტები – He, Ra, Ac, Po შედის. ტყეის შემცველობა ზოგჯერ 20%-ს აღწევს. ამასთან დაკავშირებით, მინერალის საერთო ფორმულა შემდგენარად გამოისახება: $xUO_2 \cdot yUO_3 \cdot 2PbO$. მინერალი შავი ფერისაა. მისი სიმკვრივე 8–10,6-ია.

– ურანის ფისიანი (ფისა) მადანი (ნასტურანი) – ურანის ოქსიდების ამორფულ სახესხვაობას წარმოადგენს და იგი ურანიტის საერთო ფორმული გამოისახება. ეს მადანი ურანის მღების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. იგი ჰიდროთერმულ მარცვლებში Fe, Cu, Pb, Co, Ni, As, Bi, Ag-ის სულფიდების მინერალებთან და კარბონატებთან და ფლუორიტებთან ერთადაა წარმოდგენილი. ურანიტისაგან განსხვავებით, ურანის ფისიანი მადანი თითქმის არ შეიცავს თორიუმსა და იშვიათი იწვევს ელემენტებს, რაც ამ მინერალების წარმოქმნის განსხვავებულ პირობებზე მიუთითებს. ურანის ფისიანი მადნის მსხვილი საბადოები კანადასა და კონგოში (აფრიკა) განლაგებული.

ურანშემცველი ტიტანატების ჯგუფში შედის:

– დავიდიტი – AO_2 -ის ტიპის რთული ოქსიდია. $A=Ti, Fe, U, Th, V, Ce, La$ და სხვა იშვიათი იწვევს ლითონებს, Pb, Ca და სხვა. შეიცავს კანდიუმის გაზრდილ რაოდენობას. საეარაულო შემადგენლობა: 51% TiO_2 ; 17,3% FeO; 17,8% Fe_2O_3 ; 2,25% UO_3 ; 4,5% (V, Ce, La) $_2O_3$; 0,9% V_2O_5 ; 0,13% ThO_2 ; 1,6% Cr_2O_3 ; 1,2% SiO_2 . დავიდიტი მაღალტემპერატურულ მარცვულ საბადოებში ურანის მადნის ძირითად მინერალს წარმოადგენს (იგი მდიდარია ტიტანით). მინერალი მორუხო-შავი ფერისაა (მისი სიმკვრივე 4,46 შეადგენს).

– ბრანერიტი – ურანის, თორიუმის, იტრიუმის და იშვიათი იწვევს ელემენტების მეტატიტანატი. ჯიბური შემადგენლობა არამუდმივია. მინერალის საეარაულო შემადგენლობა: 31,8–43,8% TiO_2 ; 0,3–8,41% ThO_2 ; კვალი – 29,8% UO_3 ; 11,4–42,36% UO_3 ; 1,1–3,45% CaO; 0,58–4,30% Fe_2O_3 ; 0,0–7,35% იშვიათი იწვევს ელემენტები; 0,35–10,40% H_2O . მინერალი, ძირითადად, წარმოიქმნება ინტრუსიული პროცესის პემაციტოლიტურ და მემკურ სტადიებზე.

ტანტალ-ნიობატებისა და ტიტან-ტანტალ-ნიობატების ჯგუფს განეკუთვნება:

– სამარსკიტი – ურანის, რკინის და იშვიათი იწვევს ელემენტების, უპირატესად, იტრიუმის ქვეჯგუფის (Y, Er, Ce) ($U_4 + Fe^{2+}$) (Nb, Ta) $_2O_6$, ტანტალ-ნიობატი. საეარაულო ჯიბური შემადგენლობა: 21,58–57,54% Nb_2O_5 ; 1,81–41,4% Ta_2O_5 ; კვალი – 4,30% TiO_2 ; 1,88–17,84% UO_2 ; 0,00–11,94% UO_3 ; 0,6–3,64% ThO_2 ; 6,40–17,64% Y_2O_3 ; 3,82–13,37% Er_2O_3 ; 0,37–17,34% La_2O_3 ; 0,32–14,30% FeO; 0,33–4,30% CaO; 0,30–11,14% H_2O . მინერალის ფერი ხავერდოვან-შავია, ფისის ბზინყარებით. მინერალის სიმკვრივეა 4,49–5,69.

– ბეტაფიტი – ურანილის, კალციუმის, რკინის, თორიუმის, იშვიათი იწვევს ელემენტების წყლიანი ტიტან-ტანტალ-ნიობატი – $(Ca, UO_2)_2(Fe, Th, Y, Ce)(Nb, Ta, Ti)_2O_6 \cdot nH_2O$. საეარაულო შემადგენლობა: 30,0–37,36% Nb_2O_5 ; 18,68–28,60 UO_3 ; კვალი – 1,46% Ta_2O_5 ; 3,12–11,61% CaO; 16,20–20,81% TiO_2 ; 2,47–12,50% H_2O . მინერალის სიმკვრივეა 3,7–5. იგი მომწვანო – მურა ფერისაა.

ურანიტის ან ურანის ფისიანი მადნების საბადოების დაყენების ზონაში გავრცელებულია მრავალი მეორადი მინერალი. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია:

- კარნოტიტი - $K_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$ ($n=1-3$) წარმოადგენს კალიუმის ჰიდრატირებულ ურანილ-ვანადატს. იგი შეიცავს ~55% U-სა და 19-20% V_2O_5 , მინერალი კაშკაშა ყვითელი ფერისაა, მისი სიმკვრივე 4,46-ს შეადგენს. სამრეწველო მადნები გავრცელებულია აშშ-ში (კოლორადო) და ავსტრალიაში.

- ტიუამონიტი - კალციუმის ურანილვანადატი - $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot H_2O$ ($n=4-10$) შეიცავს 48-51% U, 18-21% V_2O_5 , კაშკაშა ყვითელი ფერისაა, სიმკვრივე 3,3-4,35.

- ოტნიტი - კალციუმის ურანილფოსფატი - $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$ ($n=8-12$) 45-56% ურანს შეიცავს. გოგირდ-ყვითელი ფერისაა. ზოგჯერ მოშუქანო-ყვითელი ფერი გადაჰკრავს. სიმკვრივე 3-3,2-ს შეადგენს.

- ტორბერნიტი - სილენბის ურანილფოსფატი - $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$ ($n=8-12$). მასში ურანის შემცველობა 47-51%-ია. მწვანე ფერისაა, სიმკვრივე 3,2-3,6-ია.

- ურანოფანი - კალციუმის ურანილსილიკატი - $Ca(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$ 64-67% ურანს შეიცავს, ჩალისფერი-ყვითელი ფერისაა, სიმკვრივე 2-3-ის ტოლია.

- შრეინგერიტი - $Na_2Ca_3(UO_2)(CO_3)(SO_4)F \cdot 10H_2O$. შეიცავს - 29,3-32,7% UO_3 ; 13,4-15,7% CaO; 3,17-10,74% SO_3 ; 17,7-20,4% CaO. მისი ფერი ყვითელი ან მწვანეა. სიმკვრივე 2,47-2,51-ია.

- კაზოლიტი - ურანილისა და ტყვიის წყლიანი სილიკატი - $(Pb(UO_2)_2SiO_4) \cdot H_2O$. მინერალში შედის: 43,2-49,3% UO_3 ; 30-40,5% PbO; 8,6-15,6% SiO_2 ; მინერალი ქარვის, მოკერძო-ყვითელი ფერისაა, სიმკვრივე 2,47-2,51-ის ტოლია.

- ტუხლოტი - ნახშირბადის შენაერთი ურანთან, თორიუმთან, ტყვიასთან, იშვიათი ელემენტებთან. მასში შედის 27,9-61,5% C; 20-40% აქროლადი ნახშირწყალბადები, 7,2-27% ნაცარი; ზოგიერთ ტუხლოტიების ნაცარში 4-დან 40%-მდე U_3O_8 , 14-48% ThO_2 , 15-20% (Y, Ce...) O_2 შედის.

ლითონური ურანის მისაღებად საწყისი ნედლეულის სახით მხოლოდ სუფთა ქიმიური ნაერთები გამოიყენება. სუფთა ქიმიური ნაერთები კი ურანის მადნის ნედლეულის ჰიდრომეტალურგოული გადამუშავებით მიიღება.

მადნის ნედლეულიდან ქიმიური ნაერთების წარმოების ტექნოლოგია ორი სტადიისგან შედგება. პირველ სტადიაზე ტექნიკური (დაუხალასებელი) პროდუქტის (ქიმიური ნაერთის), ანუ „ქიმიური კონცენტრატის“ მიღება ხდება. მეორე სტადიაზე ანუ გასუფთავების სტადიაზე მაღალი სისუფთავის ურანის ქიმიური ნაერთები მიიღება.

პირველი სტადიის ძირითად პროდუქტებს წარმოადგენს ურანის ქვეყანგი - ფანგი U_3O_8 , ნატრიუმის დიურანატი $Na_2U_2O_7$, ან ამონიუმის დიურანატი $(NH_4)_2U_2O_7$.

მეორე სტადიაზე გასუფთავებული ქიმიური ნაერთების სახით მიიღება სუფთა უწყლო ფთორიდი (UF_4) და ურანის ოქსიდები (U_3O_8 ან UO_2), რომლებიც ლითონური ურანის მიღების საწყის ნედლეულს წარმოადგენს.

გასუფთავებული ქიმიური ნაერთებიდან ლითონური ურანი სხვადასხვა პირობებში სერვისით (ლითონთერმული, ალოგენური მარილებიდან ლითონებით აღდგენა, გამდნარი მარილების ელექტროლიზი) მიიღება.

ურანის წიაღისეული ნედლეულის მოპოვება ან მისი შექმნა (ქვეყნისათვის ან ორგანიზაციისთვის) პრობლემას არ წარმოადგენს. სირთულეები დაკავშირებულია ნედლეულის მეტალურგიულ გადამუშავებასთან, რომელიც სუფთა ბუნებრივი ურანის (U^{238}) მიღებას ითვალისწინებს. განსაკუთრებულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული დაყოფად U^{235} -ის გამოყოფა U^{238} -ით მდიდარ სუფთა ურანიდან, რომელშიც U^{235} -ის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია.

ურანის მადნების მექანიკური გამოდირებით იშვიათად მიიღება ურანი მდიდარი კონცენტრატები. ამიტომ ურანის მეტალურგიაში მადნების წინასწარი გამდირების მეთოდების გამოყენება შეზღუდულია. მადნის მინერალოგიური შემადგენლობიდან და მისი მინერალებით ჩაწინწყველის ბუნებიდან გამომდინარე, ურანის მადნების გასამდირებლად გამოიყენება რადიომეტრული დახარისხების, მძიმე სუსპენზიებში დაყოფის, გრავიტაციული და ფლოტაციური გამდირების მეთოდები.

მადნების წინასწარი გამდირებით ურანმცველი მასალა, რომელიც მეტალურგიულ გადამუშავებაზე გადადის, რაოდენობაეად მცირდება. ვინაიდან ურანის მადნები, როგორც წესი, ღარიბია (0,05-0,5%

U_2O_5), გამდიდრების შედეგად მისი 2–4-ჯერ შეკვეცა ხდება. ამით გადამუშავების მომდევნო ეტაპზე აპარატურის რაოდენობა, ხსნარების მოცულობა და რეაგენტების ხარჯვა მცირდება, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიას იძლევა.

ზოგჯერ მექანიკური გამდიდრება ითვალისწინებს იმ თანმდევი მინერალების განდევნას, რომლებიც გამოტუტვის პროცესში რეაგენტების ხარჯვას ადიდებს და ხსნარებს იონებით აჭუჭყიანებს, რაც ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პროცესებს (დალექვა, გაფილტვრა, ხსნარების გასუფთავება) ართულებს. ასეთ მინერალებს განეკუთვნება სულფიდები, კარბონატები, რკინის ოქსიდები, ასტიტი, ქლორიტი (მაგნიუმის წყლიანი სილიკატი) და სხვები.

ზოგიერთ შემთხვევაში მექანიკური გამდიდრება მადნის სხვა სასარგებლო შემადგენლის ამოღების მიზნით ტარდება. პირველ რიგში, ეს ენება კომპლექსურ მადნებს, რომლებიც სამრეწველო მნიშვნელობის სპილენძს, ოქროს, ვერცხლსა და ნიკელს შეიცავს. ზოგჯერ ურანის მადნებში მნიშვნელოვანი რაოდენობით შედის პირიტი და რკინის სხვა სულფიდი. გამდიდრების შედეგად გამოყოფილი სულფიდები გოგირდმავას წარმოებაში გამოიყენება.

13.1. მადნის ნედლეულიდან ურანის ქიმიური ნაერთების მოღება

საწარმოო პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ურანის წიაღისეულის გადამუშავების მხოლოდ ჰიდრომეტალურგიული მეთოდები. ნედლეულის გამოტუტვა მჟავა ან სოდის ხსნარებში ხორციელდება. გამოტუტვის მეთოდის შერჩევა მადნის მინერალოგიურ შემადგენლობაზე დამოკიდებულია.

მჟავა (უფრო ხშირად გოგირდმჟავა) ურანის უმეტესი მინერალების, მათ შორის ძნელად ხსნადი იშვიათიმიწა ლითონების – ტიტან-ტანტალ-ნიობატების (სამარსკიტი, ბეტაფიტი და სხვა) დასამლეულად გამოიყენება (ეს მინერალები სოდის ხსნარებში არ იხსნება). ყველაზე ადვილად ურანი გამოიტუტება მინერალებიდან, რომლებშიც ურანი ექვეალენტური ფორმითაა წარმოდგენილი (მეორადი მინერალები). ოთხვალენტური ურანის შემცველი მინერალებიდან ურანის უფრო სრული ამოღებისთვის გამოტუტვა მჟავების დამატებით ტარდება.

გამოტუტვის ოპერაციებს ხშირად წინ უძღვის გამოწვის მოსამზადებელი პროცესები. მადნის ან კონცენტრატის გამოწვა სუფრის მარილის დამატებით ან მის გარეშე ტარდება.

მადნის უანგეითი გამოწვა, რომელიც 600-800°C-ზე მიმდინარეობს, ნედლეულიდან ორგანული შემადგენლის განდევნას, სულფიდების დაჟანგვას, დარიშხანის განდევნას, კარბონატების ნაწილობრივ ან სრულ დაშლას და რკინის ოქსიდების ქიმიურად პასიურ მდგომარეობაში გადაყვანას, ანუ „პასიურებას“ (გავარკვარებული რკინის ოქსიდები უფრო ნელა იხსნება მჟავებში) ითვალისწინებს. უანგეითი გამოწვის შედეგად მიღებული ნაწიწის გამოტუტვის დროს რკინის ოქსიდების ნაკლებად ხსნადობის გამო, რამდენადმე მცირდება მჟავას ხარჯვა.

პულპის შესქელების და ფილტრაციის პროცესების გაუმჯობესების მიზნით, ურანის თიხოვანი მადნები ზოგჯერ წინასწარ გავარკვარებას განიცდის 500-600°C-ზე.

მჟავითი გამოტუტვის წინ ნატრიუმის ქლორიდის დანამატით გამოწვას ექვემდებარება მადნები, რომლებიც ოქროს და ვერცხლს შეიცავს. გამოწვის შედეგად ოქრო და ვერცხლი ქლორიდულ ნაერთებში გადადის. ოქროს ქლორიდი აქროლავს განიცდის, ხოლო ვერცხლის ქლორიდი მჟავაში არ იხსნება.

ურანის მინერალების სოდის ხსნარებში გამოტუტვა, ექვეალენტური ურანით ნატრიუმის ურანოკარბონატის ტიპის $[Na_2UO_2(CO_3)_2]$ ხსნადი კომპლექსური მარილების წარმოქმნას ეყარება. სოდის ხსნარებში ყველაზე ადვილად იხსნება მეორადი მინერალები, რომლებიც ურანილის მარტივი ან კომპლექსური მარილებისგან (არსენატები, კარბონატები, ფოსფატები, მოლიბდატები, ვანადატები) შედგება. სოდის ხსნარებში პირველადი მინერალების გასახსნელად აუცილებელია სოდის ხსნარში მჟანგავი რეაგენტების შეტანა. მჟანგავი რეაგენტი ოთხვალენტური ურანის დაჟანგვას უზრუნველყოფს. იშვიათიმიწა ლითონების ტიტან-ტანტალ-ნიობატებისგან შემდგარი მინერალები, რომლებიც ჰემატიტურ მადნებშია ხშირად წარმოდგენილი, პრაქტიკულად არ იხსნება სოდის ხსნარებში.

საწარმოო პრაქტიკაში კარბონატული გამოტუტვის (სოდის ხსნარებში გამოტუტვის) საში ვარიანტი გამოიყენება: სუფრის მარილთან ან გოფსთან ერთად წინასწარ გამოწვეარი მადნის გამოტუტვა

(გამოიყენება ურან-ვანადიუმის კარნოტიტური მადნებისთვის); მადნის გამოტუტვა მყანავის გარეშე (გამოიყენება ოქსიდური მადნებისათვის, რომლებიც შერად მინერალებს შეიცავს); მადნის გამოტუტვა მყანავის დამატებით (გამოიყენება ურანიტისა და ფისიანი ურანის შეცველი მადნებისთვის).

მყაეურ მეთოდთან შედარებით, ურანის მადნების სოლის ხსნარში გამოტუტვის უპირატესობა შემდეგში მდგომარეობს:

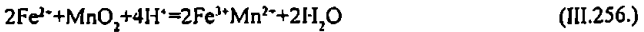
- სოლის ხსნარი სელექტიური (შერჩევითი) გამოტუტვისთვისებით განირჩევა, იგი მხოლოდ რამდენიმე კომპონენტს (ურანს, ვანადიუმს და ზოგიერთ სილიკატს) ხსნის და სხვა მინერალებს ნაკლებად ეხება, რაც მცირე მინარევიანი ხსნარის მიღებას უზრუნველყოფს;
 - სოდა ადვილად ექვემდებარება რეგენერაციას;
 - გამოტუტვა მარტივი კონსტრუქციის იაფფასიანი ფოლადის აპარატურაში ტარდება;
 - სოლის ხსნარებით გამოტუტვა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მადნებისთვის, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავს კირს. კირიანი მადნების მყაეური გამოტუტვა არ არის სარგებლოანი;
 - ურანის გამოყოფა კარბონატული (სოლიანი) ხსნარებიდან უფრო გაადვილებულია.
- სოლის ხსნარებში გამოტუტვას ნაკლოვანი მხარეებიც გააჩნია:
- სოლის ხსნარის შერჩევითი გამოტუტვისთვისებიდან გამომდინარე, აუცილებელია ურანის მინერალების ზედაპირის მაქსიმალური გააქტიურება მადნის წმინდა დაქუცმაცებით (მინუს 200 მეშ-მდე), რაც ძალიან აძვირებს მადნის მომზადების ოპერაციებს;
 - სოლის ხსნარით გამოტუტვის დროს ურანის ამოღების ხარისხი, როგორც წესი, უფრო ნაკლებია, ვიდრე მყაეური გამოტუტვის დროს.
- სოლის ხსნარით გამოტუტვის ნაკლოვანებების გამო, პრაქტიკაში უფრო ფართოდაა გავრცელებული ურანის გადაამუშავების უფრო ჩქარი და იაფი მყაეური გამოტუტვის მეთოდი, რომლითაც ურანშემცველი მადნების 90% გადაამუშავდება.

13.1.1. ურანის ქაშიური ნაერთების მიღება მადნის ნედლეულის მყაეური გამოტუტვით

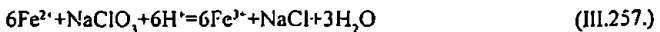
ურანის მრეწველობაში მინერალური მყანაგებიდან ყველაზე ხშირად გოგირდმყაეა გამოიყენება. გოგირდმყაეა სხვა მყაეებზე იაფია და იგი ურანის ამოღების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს. ზოგჯერ გოგირდმყაეას და აზოტმყაეას ნარევი ან მხოლოდ აზოტმყაეა გამოიყენება.

მყაეური გამოტუტვით, როგორც წესი, ურანიტისა (UO₂) და ურანის ფისიანი (U₃O₈) ნედლი და გამოშვარი მადნები გადაამუშავდება. ურანის მადნები, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავს კარბონატებს (კალციტი, მაგნეზიტი, დოლომიტი და სხვა), მყაეას გაზრდილი რაოდენობით ხარჯვის გამო, მყაეურ გამოტუტვას არ ექვემდებარება. ამ სახის ნედლეულის გადასამუშავებლად უფრო მიზანშეწონილია ტუტე მეთოდების გამოყენება ან კარბონატების წინასწარი განდევნა ფლოტაციით. ამ შემთხვევაში, თუ ურანიტი, ფისიანი ურანის მადანი, ან სხვა მინერალი ოთხეულენტიან ურანს შეიცავს, მაშინ გამოტუტვის პროცესი, როგორც ადრე აღინიშნა, მყანაგების დამატებით ტარდება. მყანაგების სახით ფართოდ გამოიყენება MnO₂ (პიროლუზიტი) ან ნატრიუმის ქლორატი (NaClO₃). დადგენილია, რომ ამ მყანაგების მოქმედების ეფექტურობა იზრდება თუ ხსნარში რკინის იონები იმყოფება. რკინის იონები, როგორც წესი, შულის გოგირდმყაეას ტუტებში, რომლებიც რკინის მინერალების გახსნის შედეგად გროვდება ხსნარში. ხსნარში იხსნება აგრეთვე რკინის ნაწილაკები, რომლებიც ფოლადის წისქვილებში მადნის ხეხვის დროს წარმოიქმნება.

ურანის ორფანგის დაჟანგვის მექანიზმი შეიძლება გამოიხატოს შემდეგი რეაქციებით:



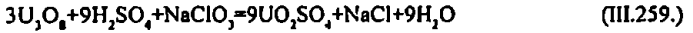
ან



მყანაგების ხარჯვა (MnO₂ ან NaClO₃) დამოკიდებულია საწყის ხსნარში Fe²⁺:F²⁺ იონების კონცენტრაციების ფარობაზე. გადასამუშავებელი მადნების უმეტესობა პრაქტიკულად მთლიანად

ოგანება, როდესაც ფარდობა $Fe^{3+} : Fe^{2+} \geq 1$. მანგანუმის ორჟანგის ხარჯი პრაქტიკულად, დაახლოებით, 4,5 კგ-ია ტონა მადანზე, ხოლო ნატრიუმის ქლორიტის - 1-1,2,5 კგ ტონა მადანზე.

გოგირდმჟავას ხარჯი გადასამუშავებელი მადნის შემადგენლობასა და გამოტუტვის რეჟიმზეა დამოკიდებული. ფისიანი ურანის ან ურანიტის მადნების მინერალების გამოტუტვისთვის გოგირდმჟავას საჭირო რაოდენობა განისაზღვრება შემდეგი რეაქციებით:



გარდა ამისა, მჟავა რეაგირებს მადნის სხვადასხვა მინერალთან - სულფიდებთან, კარბონატებთან, სილიკატებთან, რაც მისი ხარჯვის გაზრდას იწვევს. მადნის წინასწარი გამოწვა მნიშვნელოვნად ამცირებს მჟავას ხარჯს. გამოტუტვის აპარატურის შერჩევის საკითხი კრიტიკული არ არის და ამიტომ ნედლეულის გამოტუტვის დროს სხვადასხვა ტიპის დანადგარ-მოწყობილობები წარმატებით გამოიყენება. ფართოდ არის გავრცელებული რეზინით ამოვსებული ან ხის მასალისგან დამზადებული პარუკა კოდები; მათი სტანდარტული ზომებია: სიმაღლე - 13-14 მ და დიამეტრი - 6 მ. კოდში პულკის არევა შეეკმშული ჰაერის მეშვეობით ხორციელდება. ჰაერით შემრევი კოდებში მასალის გადაშეშვება უფრო იაფი ვდება, ვიდრე მექანიკურ შემრევი კოდებში. თუმცა, სარგებლობენ როგორც ნელი ($1/3$ ბრ/წთ), ასევე მაღალი სიჩქარის (65 ბრ/წთ) მექანიკური შემრევი კოდებით. დაბალი სიჩქარით არევა შეეკმშული ჰაერის დახმარებით სასქელებელ კოდებში გამოიყენება. მაღალი სიჩქარით მექანიკური არევა კოდში ჩამაგრებული ტურბულენტური ტიპის შემრევით ხორციელდება. მაღალი სიჩქარით არევა შედარებით მომსხო მარცვლებიანი (20 მეში) მასალის გამოსატუტად გამოიყენება. გამოტუტვის პროცესში ნედლეულის ნაწილაკები შეტოვრებულ მდგომარეობაშია ხსნარში. ტიპური კოდი (ზომებით 7,3x4,3 მ) აღჭურვილია ერთმანეთისგან ტოლი მანძილით დამორიებული სამი შემრევით (თითოეული მათგანის დიამეტრია 1,35 მ). ათ ასეთ კოდში დღე-ღამეში 1500-1800 ტ მადნის გამოტუტვა შეიძლება.

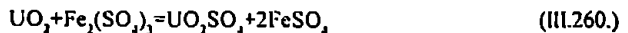
გამოტუტვის პროცესი როგორც პერიოდულ, ასევე უწყვეტ რეჟიმში შეიძლება ჩატარდეს. უწყვეტი პროცესი ნაკლებ კაპიტალდაბანდებას და ექსპლუატაციურ ხარჯებს საჭიროებს.

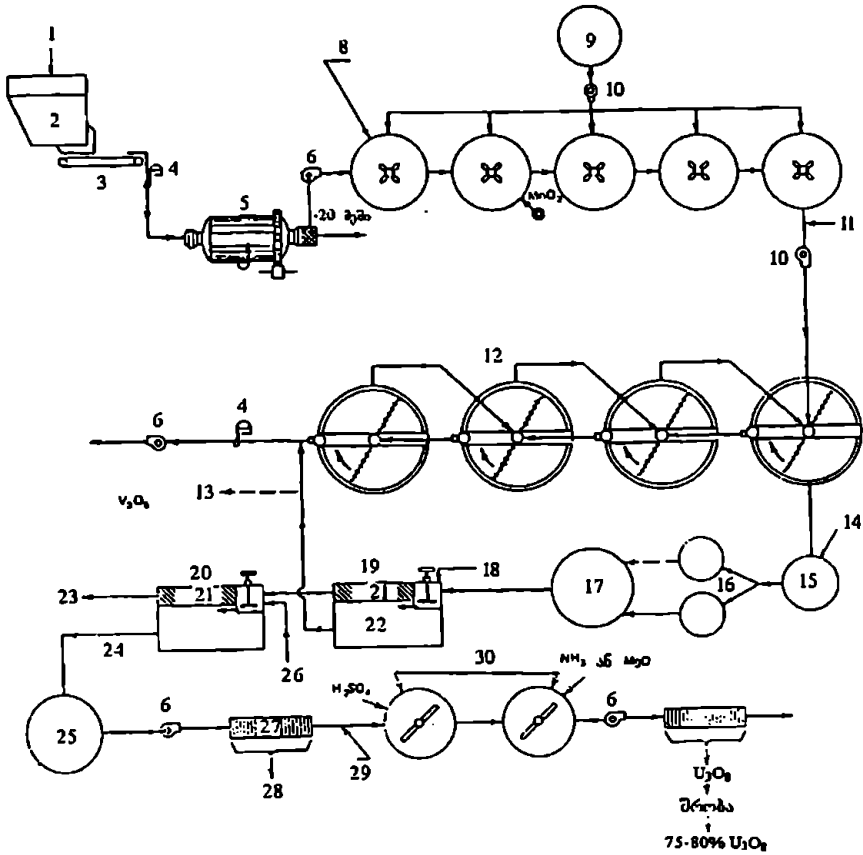
ურანის უმეტეს ქარხნებში ტექნოლოგიურ ჯაჭვში თანამიმდევრულად ჩართულია 4-დან 14 კოდამდე (სურ. III.129.), რომელთა დადგენილი ზომებია: დიამეტრი - 5 და სიღრმე 5 მ. პულკა თვითღონებით გადადის კოდიდან კოდში. საუქვაეი უბნიდან პულკა კოდებში გადაიტუმბება. მყარის შემცველობა პულკაში 45-დან 65%-მდე იცვლება. საწყის კოდებში გოგირდმჟავას პერიოდული დამატებით pH-ის მაჩვენებელი 1,5-0,5-მდე დაიყვანება. გოგირდმჟავას ხარჯი ფართო დიაპაზონში იცვლება და ერთ ტონა მადანზე 23-182 კგ-ს შეადგენს. გამოტუტვის ხანგრძლივობა 10-15 საათია. კოდის ძირი მჟავაგამბმულ აგურით არის ამოვსებული, ხოლო მისი შიგა ნაწილები და შემრევი მოწყობილობები რეზინითაა დაფარული.

მადნის გამოტუტვის დროს ურანის გამოსავლიანობა 95%-ზე მეტია.

ვინაიდან გამოტუტვის სპირად ღარიბი მადნები (0,1-0,3% U_3O_8) ექვემდებარება, გამოტუტვის შედეგად ძალზე გაზავებული დედახსნარები (0,8-1,5კგ/ლ U_3O_8) მიიღება. ხსნარის გაკამკამების პროცესი ციკლონების, სასქელებლების და ვაკუუმ-ფილტრების კომბინირებულ სისტემაში ხორციელდება. ზოგჯერ, უხსნადი ნაწილაკების დალევის დაჩქარების მიზნით, ხსნარს ფლოკულაციის (მდროთაღმართი მინერალების ნაწილაკების ფლოკულაცია ანუ ქულდება შერთვა) რეაგენტები ემატება (მაგალითად, სეპარინი). გაკამკამებული დედახსნარი კონცენტრაციისა და გამოლევის სააპკროზო გადაიტუმბება, ხოლო უხსნადი ნარჩენი კოდების საყარში თავსდება.

დაბალი ხარისხის ურანის მადნების [მაგალითად, ბრანერიტი - $[(CaFeTh)Y]_2Ti_2O_{16}$] გამოტუტვა ზოგჯერ გოგირდისა და რკინის მჟანგევი ბაქტერიების დახმარებით ტარდება. თვით ბაქტერია უშუალოდ არ მონაწილეობს მადნიდან ურანის გამოტუტვაში. იგი მხოლოდ რკინას ფანავს სამვალენტიანი რკინის სულფატამდე (რეაქცია II.23.), ხოლო სამვალენტიანი რკინის სულფატი მჟავასთან ერთად მადნიდან ურანს გამოტუტავს:





სურ. III.129. ურანის გოგირდმჟავითი გამოტუტვისა და მისი ოსევალი ექსტრაქციით კონცენტრირებისა და გამოლეკვის აბარატულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1 შადანს 2. დამსხვრეული შადნის ტუქერო; 3. დეველურა შევებაჲ; 4. ავტომატური სინჯის ამღება; 5. დეროიანს წისქვილი; 6. ტუმბო; 7. მსხვილი მარცვლები; 8. ღია ტამის დაბალსიქარაანი შემრევი კოდა; 9. გოგირდმჟავას საცავი კოდა; 10. შევება ტუმბო; 11. ფინილისებრი რკინა; 12. წინაღობიანი ნაკადების სადეკანტაციო სასქელბელი კოდემა და დიაფრაგმული შევამედევი ტუმბოები; 13. V_2O_5 -ის გამოყოფა; 14. ფოლადის ბურბუშელი; 15. რკინის აღდგენა; 16. ქიმიზის ფოლტრები; 17. გაკაჟამებული დელახსნარის საცავი; 18. გამხსნელი; 19. ექსტრაქცია; 20. ურანის ამოღება ექსტრაქტადან; 21. გამხსნელი; 22. ხსნარი; 23. ექსტრაქტის რევერცია; 24. კარბონატული დელახსნარი; 25. საცავი; 26. სოღის ხსნარი; 27. პრეს-ფოლტრი; 28. საყრდისი ნარჩენი; 29. შემრევი კოდემა; 30. გადარიბებული ფოლტრატა.

მადნის შემადგენლობაში შემაველი პირიტის (FeS_2) მინარევიდან წარმოქმნილ სამეალენტან რკინის ნერთთან ურთიერთქმედებით ოთხვალენტანი ურანი U^{4+} იგანება ექსვალენტან ურანამდე U^{6+} , რომელიც კარგად იხსნება სამეალენტანი რკინის სულფატის შემცველ შევამედევი ხსნარში.

ურანის ღარიბი მადნების გადამამუშავებლად მადნის ლექუქებული გროვისა და ადგილზე გამოტუტვის მეთოდები გამოიყენება.

გროვის გამოტუტვა ტარდება სატეილურ ბაქანზე (დაახლოებით 2000 მ² მიწის ფართობზე) რომელიც, ხსნარის გაფონის თაიდან აცილების მიზნით, პლასტმასის ფურცლებითაა (ფურცლის

სისქე 6-8 მმ-ს შეადგენს) მოპირკეთებული. ბაქანი 4,5 მ სიმაღლის მადნის ფენით იტვირთება. მადნის ფენის ზედაპირზე მომზადებული კვადრატული ფორმის (სიგრძით დაახლოებით 10 მ-ის ტოლია) ღრმულები ქარხნიდან გადმოტუმბული გამოშტუტაჟი ხსნარით იტბორება (ხსნარის დასხურების სიჩქარე 12 ლ/წთ შეადგენს). მადნის ფენაში გაფისეთი ხსნარი გროვის ძირში ჩადის და პლასტმასის საგებიდან პერფორირებული პლასტმასის მილის (მილის დიამეტრი 1 მ-ის ტოლია) მეშვეობით შეიკრებში ჩაედინება. შემკრებიდან ხსნარი რეციკულაციას ექვემდებარება და ისევ გროვის ზედაპირზე გადაიტუმბება. ხსნარის რეციკულაცია გრძელდება იქამდე, სანამ მასში S_2O_8 -ის რაოდენობა 0,5 გ/ლ არ მიაღწევს. ამ კონცენტრაციის ხსნარი, შემდგომი გადამუშავების მიზნით, ქარხანაში გადაიტუმბება. გროვის გამოშტუტებით მადნიდან 75% S_2O_8 ამოიღება. ღარიბი მადნების გამოშტუტვის ეს მეთოდი ვაიომინგის (აშშ) ურანის ქარხანაში გამოიყენება.

ადგილზე გამოშტუტვის მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილია ურანის ღრმა საბადოების (90-200 მ) ძალზე ღარიბი მადნების გადასამუშავებლად. ურანის ასეთი საბადოების მადნების ჩვეულებრივი მეთოდებით (მოპოვება და მიწის ზედაპირზე გადამუშავება) გადამუშავება ეკონომიკურად გაუმართლებელია.

ამ მეთოდით ურანის მადნების გადამუშავება აშშ-ში (ტეხასის შტატი) 1975 წელს დაიწყო. გამოშტუტავად გამოიყენება ნატრიუმის ან ამონიუმის კარბონატის და ბიკარბონატის ვაზეველი ხსნარი, რომელიც 2000 გ/წთ სიჩქარით ცირკულაციას განიცდის საბადოს ზონაში, 1,5 კექტარზე განლაგებულ 6 დაჭირხნისა და 46 ამომღებ ჭაბურღილში.

ჭაბურღილებში ჰიდრაულიკური გრადიენტის უზრუნველსაყოფად, ჭაბურღილიდან ამოტუმბული ხსნარის რაოდენობა ჭაბურღილში დაჭირხნულ ხსნარის რაოდენობაზე უფრო მეტი უნდა იყოს. ურანის მადნის მიწერალის სრული გახსნის მიზნით, მჟანგაჟი რეაგენტის სახით, ხსნარს წყალბადის ზეჟანგი ემატება.

გამოშტუტვის შედეგად ჭაბურღილებიდან მიღებული ურანშემცველი დედახსნარი გაკამკამების (გაკამკამება აქტიური ნახშირის გამოყენებით ტარდება) შემდეგ კონცენტრირების უბანზე გადადის, სადაც იონმიმოცვლის მეთოდით გადამუშავებას ექვემდებარება. დედახსნარიდან ურანის ამოღების შემდეგ, გალარებებული ხსნარი ჭაბურღილებში გამოშტუტვის პროცესს უბრუნდება.

შახტებში მადნის ადგილზე გამოშტუტვის ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავების წინ აუცილებელია გამოშტუტვის არეში მიწისქვეშა წყლების შესწავლა და ხსნარის გაპარვის წინააღმდეგ ზომების მიღება. დაბალი ხარისხის ურანის მადნების მჟაუერი გამოშტუტვით მიღებული ღარიბი ხსნარებიდან ურანშემცველი ნაერთის გამოლექვის წინ აუცილებელია ხსნარების ურანით გამდიდრება ანუ კონცენტრირების პროცესების ჩატარება. კონცენტრირების პროცესში თხევადი ექსტრაქციის ან იონმიმოცვლის მეთოდი გამოიყენება. რაც შეეხება მდიდარ კონცენტრატებს (ურანის 10-50%-ის შემცველობით), მათი გამოშტუტვა მაღალი კონცენტრაციის გოგირდმჟავა ან აზოტმჟავა ხსნარში ხორციელდება. მდიდარი კონცენტრატების გამოშტუტვის შედეგად მიღებული ურანშემცველი დედახსნარები კონცენტრირების გარეშე პირდაპირ გამოლექვაზე მიემართება.

ურანილის სულფატის (UO_2SO_4) ხსნარი, რომელიც დაბალი ხარისხის ურანის ოქსიდური მადნების გოგირდმჟავა ხსნარში გამოშტუტვის შედეგად მიიღება, გამოლექვამდე თხევადი ექსტრაქციით ან იონმიმოცვლის მეთოდით კონცენტრირებას (ერთდროულად გასუფთავებასაც) ექვემდებარება.

თხევადი ექსტრაქციის ანუ გამოსხელოთ ექსტრაქციის მეთოდ ფართოდ გამოიყენება ურანის ღარიბი მადნების მჟავა გამოშტუტვის შედეგად მიღებული დედახსნარების გადასამუშავებლად (ურანის კონცენტრირების მიზნით) და იგი ხსნარების გამოლექვამდე იხმარება.

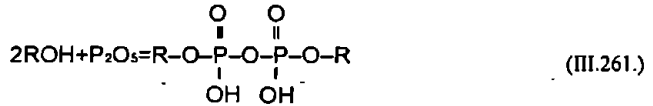
ექსტრაქციის დადებით მხარეს განეკუთვნება: გადასამუშავებელი ხსნარების შემადგენლობის ფართო დიაპაზონი, მაღალი სელექტიურობა და ექსტრაქტის ადვილი რეგენერაცია, ტექნოლოგიური პროცესის უწყვეტ რეჟიმში ჩატარების სიმარტივე და შედარებით დაბალი ღირებულება.

მჟავა ხსნარებში შემავალი ურანის ფვქტურ ორგანულ გამოსხელოს ანუ ექსტრაქტის განეკუთვნება ფოსფორმჟავას ზოგერთი რთული ეთერები და ალკილები.

ნახშირბადიანი რადიკალით ჩანაცვლებული წყალბადის ატომების რიცხვებიდან გამოზინარე, ფოსფორმჟავას ეთერები დაყოფილია პირველად, მეორად და მესამეულ ეთერებად. მჟავა ხსნარებისთვის ფოსფორმჟავას ზოგიერთი მონო და დიალკილებია გამოსადეგი. დიალკილების ეთერებიდან გამოიყენება

ფოსფორმჟავას დიეთილჰექსილი. ორგანული ფაზა, როგორც წესი, ნაეთით ზაელება. მასში ეთერის კონცენტრაცია 2-დან 5%-მდეა.

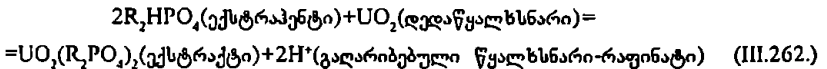
მონო და დიალკილფოსფატები ადილად მიიღება შეტივტივებულ ნაეთში შესაბამისი სპირტისა და ფოსფორის ანჰიდრიდის ურთიერთქმედებით:



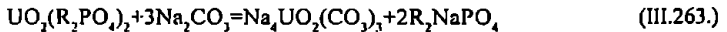
სადაც R - დიეთილჰექსელის ჯგუფია.

ეს რეაქცია ეგზოთერმულია. გამოყოფილი სითბოს ნაწილი ნაეთით შთანთქმება.

ურანშემცველი მჟავა წყალხსნარის (დედაწყალხსნარის) ნაეთთან მონო და დიალკილფოსფატის ხსნარებთან შეხებისას ვითარდება რეაქცია, რომლის შედეგად ურანი დედახსნარიდან გადადის ორგანულ ფაზაში - ექსტრაქტში:



ექსტრაქციის შედეგად მიღებული ურანშემცველი ორგანული ფაზიდან (ექსტრაქტიდან) ურანის ამოღება (რეექსტრაცია) ანუ ჩამორეცხვა კონცენტრირებული მჟავეებით (მაგალითად, მარილმჟავათი) ან ნატრიუმის კარბონატისა და ამონიუმის ხსნარებით შეიძლება. ბოლო შემთხვევაში მიიღება ნატრიუმის ან ამონიუმის ალკილფოსფატების მარილები (რომლებიც ნაეთის ფაზაში რჩება) და წყლიანი ხსნარი, რომელშიც ურანის კარბონატული კომპლექსი შედის:



ალკილფოსფატებთან შედარებით, ალკილამინები ექსტრაქციის უფრო დიდი შერჩევითი უნარით ხასიათდება ურანის მიმართ. ამასთან, ალკილამინები ნაკლითაც განირჩევა. ალკილამინები გამოუსადეგარია ნაკლებად გაკამკამებული ხსნარებისა და ჰულპის ექსტრაქციისთვის, რაც მყარ ნაწილაკებზე მათი აღსორბციის უნარიდან გამომდინარეობს (ასეთი ხსნარებისა და ჰულპის ალკილამინებით ექსტრაქციის დროს ექსტრაქტის დიდი რაოდენობა იკარგება), მაშინ, როდესაც ალკილფოსფატებით ჰულპის ექსტრაქცია მიზანშეწონილია. გარდა ამისა, ალკილამინებით ექსტრაქცია გამოუსადეგარია ისეთი ხსნარებისთვისაც, რომლებიც ქლორიდებსა და ნიტრატებს შეიცავს. ალკილფოსფატების გამოყენება ამ შემთხვევაში შეიძლება, რაც მნიშვნელოვანია, მაგალითად, ხსნარებისთვის, რომლებიც ნატრიუმის ქლორიდთან ერთად გამოშვარი მადნების გამოტუტვის შედეგადაა მიღებული.

გამოტუტვის შედეგად მიღებული დედაწყალხსნარი, რომელიც ექსტრაქციას ექვემდებარება, ჯერ დაწოლმას განიცდის სალექარში, ხოლო შემდეგ კი იფილტრება. გაკამკამებული დედაწყალხსნარი, რომელიც 0,8-დან 1,5 გ/ლ-მდე U_3O_8 -ს შეიცავს, გადაიტუმბება ექსტრაქციის სააპეროში, სადაც იგი ექსტრაქტთან (ორგანულ გამხსნელთან) თანხებაში შედის. ურთიერთქმედების შედეგად (რეაქცია III.262.) ექსტრაქტთან დიდი ნათესაური კავშირის გამო ურანი დედაწყალხსნარიდან ექსტრაქტში გადადის. ეინაიდან ექსტრაქტი ან ექსტრაქტი (ურანშემცველი ექსტრაქტი) წყალხსნარზე უფრო მსუბუქია და მასში არ იხსნება, ცალკეედება გალარიბებული მჟავა წყალხსნარისგან ანუ ე.წ. რაფინატისგან.

ფეფტური ექსტრაქციისთვის ურანშემცველი დედაწყალხსნარსა და ექსტრაქტის ფაზებს შორის დიდი საკონტაქტო ზედაპირის უზრუნველყოფა და ფაზების შემდგომი დაყოფა საჭიროა. ამისთვის გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის სვეტები (სვეტები საცმით ან პერფორირებული თოფებით, მფუტკარი სვეტები და ა.შ) ან ექსტრაქტორები ფაზების მექანიკური შემრევით (შემრევი-საწლოში, ტუმბო-შემრევი ტიპის ექსტრაქტორები და სხვა).

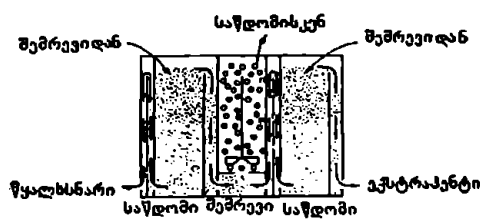
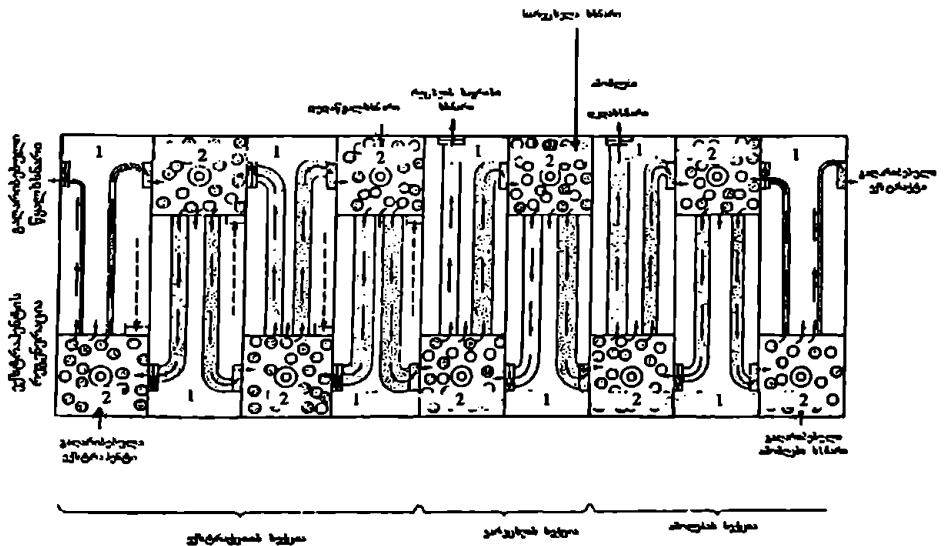
საექსტრაქციო სვეტები, ძირითადად, საგულდაგულოდ გაკამკამებული ხსნარებისთვის გამოიყენება.

მადნის ნედლეულის გადამამუშავების პროცესებში მიღებული ხსნარებიდან ურანის ექსტრაქციისთვის ფართოდ გამოიყენება სითხეების მექანიკური შერევის ექსტრაქტორები, რომლებსაც

შემრევი და საწვდომი კამერები გააჩნია. ტიპური საექსტრაქციო შემრევი-საწვდომი სისტემა სტემატურად წარმოდგენილია III.130. სურათზე. წყალხსნარისა და ექსტრაქტის ფაზები ირევა შემრევი კამერაში, რომელიც საწვდომ კამერასთანაა დაკავშირებული. ხსნარების გადასაშუშებლად, როგორც წესი, შემრევი და საწვდომი კამერებისგან შედგარი ჯაჭვური სისტემა გამოიყენება.

საწარმოო პრაქტიკაში ექსტრაქცია ხის მასალისგან ან ბეტონისგან (ამოგებულია მინაბოჭკოვანი მასალით) დამზადებულ, მრგვალ, სწორკუთხა ფორმის განყოფილებითაა კოდაში ტარდება. კოდის დიამეტრი 6-დან 8 მ-მდეა, ხოლო სიღრმე 2,7 მ-ს შეადგენს. კოდი, როგორც წესი, დაყოფილია სამ შემრევი და სამ საწვდომ (სალექარ) კამერად. შემრევი კამერები აღჭურვილია უთანგავი ფოლადის აბრევიებით, რომლებიც ელექტროძრავის მეშვეობით ბრუნავს. შემრევი-საწვდომი კამერების ჯაჭვში ურანშემდეგელი ხსნარისა და ექსტრაქტის სითხეთა დინებები წინააღმდეგაა – წყალხსნარი ერთი მიმართულებით მიედინება, ხოლო ექსტრაქტის დინება საწინააღმდეგო მიმართულებითაა. ურან-შემრეველი დედახსნარი საწყისი შემრევი კამერიდან საწვდომ კამერაში გადადის, საწვდომი კამერიდან კი – მეორე შემრევი კამერაში და ა.შ. – კოდის ყველა კამერის ხსნარის გადაადგილება თვითდინებითა და მგავამდეგი ტუმბოების საშუალებით ხორციელდება. აეროლიფტებისა და ტუმბოების კომბინაციით ან მტუმბავი ტურბინის მეშვეობით ექსტრაქტის განიცილის რეციკულაციას – საწვდომი კამერიდან მომდინარე შემრევი კამერაში ბრუნდება. ექსტრაქციის ციკლი 4-6 საუფურისგან შედგება.

ექსტრაქციის პროცესის ჩასატარებლად სხვადასხვა შემადგენლობის ექსტრაქტის გამოყენება შეიძლება. ხშირად გამოიყენება დიეთილჰექსილ ფოსფორმეცას (3,5%), იზოდეკანოლისა (2%) და ნავთის (94,5%) ნარევი ან ალაზინის (5%), იზოდეკანოლის (2,5%), ნავთის (92,5%) ნარევი და



სურ. III.130. ტიპური საექსტრაქციო შემრევი-საწვდომი სისტემა. 1 საწვდომი; 2 შემრევი.

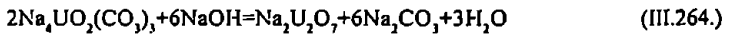
სხვა. ხსნარების გადაშეფების დროს ექსტრაქტის დანაკარგები უმნიშვნელოა. მისი ხარჯი 4550ლ ღელახსნარზე 1,4ლ-ს შეადგენს.

ექსტრაქციის შედეგად მიღებული გაღარიბებული გამოშტუტაჟი ხსნარი ანუ რაფინატი 0% U_2O_8 -ს შეიცავს; იგი საყრისი ხსნარების შემკრებში გადაიტუმბება, ექსტრაქტი კი, რომელიც 2,5-დან 6 გ/ლ-მდე U_2O_8 -ს შეიცავს, ამოღების ანუ რეექსტრაქციის სექციის შემკრებში გადადის (სურ. III.130.), სადაც 10%-იანი ნატრიუმის კარბონატის ხსნართან ირევა და მასთან ურთიერთქმედებს (რეაქცია III.263.). ვინაიდან ურანი ნატრიუმის კარბონატთან უფრო ღირს ნათესაურ კავშირშია ვიდრე ექსტრაქტთან, იგი რეაქციის შედეგად ექსტრაქტიდან ნატრიუმის კარბონატის ხსნარში გადადის. შემკრებიდან ნარევი სითხე გადაიტუმბება საწლომ კოდში, სადაც გაღარიბებული ექსტრაქტი, რომელიც კარბონატულ ხსნარზე მსუბუქია, ზევით ადის და ქვემოთ ღარჩენილი ურანშემცველი კარბონატული ხსნარის ფენისგან ცალკედება. გაღარიბებული ორგანული გამოსნული (ექსტრაქტი) ექსტრაქციის პროცესს უბრუნდება და ექსტრაქტის სახით ხელმოკრედ გამოიყენება.

ამოღების (რეექსტრაქციის) სექცია სამი შემკრევისა და სამი საწლომის სისტემისგან შედგება. შემკრევი კოდები (დიამეტრით - 1 მ და სიღრმით 2 მ) აღჭურვილია ვერტიკალური ტიპის ტურბინული ამრევეებით. საწლომი (სალექარი) კოდების (დიამეტრი - 2,5 მ) ძირი კონუსური ფორმისაა. ფოლადისგან დამზადებული ორივე კოდი (შემკრევი და საწლომი) შოგნიდან პლასტიკატითაა ამოვებული. ექსტრაქტი (ურანშემცველი ექსტრაქტი) თვითღინებით გადაედინება მომდევნო საფეხურზე, ხოლო ამომღები კარბონატული ხსნარი აერალოფტის მეშვეობით წინაღონებით მიედინება დამუშავების მომდევნო საფეხურზე. გაღარიბებული ექსტრაქტის ნარჩენი შემკრებ კოდში გადაიტუმბება, სადაც შესაბამისი ორგანული ნივთიერებებით შევსებას განიცდის, რის შემდეგაც ისევ ექსტრაქციის პროცესს უბრუნდება.

ექსტრაქციისა და რეექსტრაქციის პროცესების შედეგად მიღებული ნატრიუმის კარბონატული ხსნარი, რომელიც საწყის გამოშტუტაჟ მყავა დედაწყალხსნართან შედარებით მოცულობით 50-ჯერ ნაკლებია და ნაწილობრივ არის გასუფთავებული, 35-40 გ/ლ U_2O_8 -ს შეიცავს. ურანშემცველი კარბონატული ხსნარი დალექვის საამქროში იგზავნება.

დალექვამდე ხსნარი გადაიტუმბება კოდში, რომელიც 54-71°C-მდე ხურდება კოდში შემცველი ორთქლით. გახურებული კოდიდან ხსნარი გადაიტუმბება სალექ კოდში, სადაც ნელა მგრუნავი ამრევეებით ირევა. ზოგჯერ, pH-ის მაჩვენებლის 2,5-3-მდე შემცირების, კარბონატის დაშლისა და CO_2 -ის განდევნის მიზნით, თავდაპირველად ხსნარს H_2SO_4 ემატება. ნებისმიერ შემთხვევაში, ხსნარს ნატრიუმის პიდროოქსიდი (ან მაგნიუმის პიდროოქსიდი) ემატება, რის შედეგადაც pH7-მდე იზრდება და ხსნარიდან ყვითელი კეკის (გამოწურული ნალექი) სახით გამოილელება ნატრიუმის (ან მაგნიუმის) დიურანატი ($Na_2U_2O_7$), რომელიც 75-დან 85%-მდე U_2O_8 -ს შეიცავს (იხ. ურანის მყავური გამოშტუტვის საერთო სქემა III.129. სურათზე) გამოლექვის რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:



ხსნადი მინარეების განდევნის მიზნით, ურანშემცველი კეკი იფილტრება (ცაკუქ-ფილტრში) და ირეცება, ხოლო შემდეგ იგი შრობას ექვემდებარება. გამომშრალი ყვითელი კეკი რაფინირების საამქროში ან ქარხანაში იგზავნება.

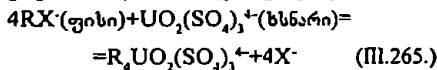
სონმამოცედა კიდევ ერთი მეთოდია, რომელიც ხშირად გამოიყენება გოგირდმყავა გამოშტუტაჟი ხსნარიდან ურანის ამოსაღებად. იგი გამოიყენება, როგორც წინაღონიანი დეკანტაციისა და ფოლტრაციის შედეგად მიღებული გაკამქამებული ხსნარების, ასევე პულპის (პულპა 4-დან 8%-მდე - 350 მეზან მყარ ნაწილაკებს უნდა შეიცავდეს) გადასამუშავებლად. პულპის იონმიმოცვლით გადაამუშავების პროცესი „ფისიანი პულპის“ სახელწოდებით არის ცნობილი.

მეთოდი ეყარება ურანის გოგირდმყავა-ანიონური კომპლექსების, ძლიერტუტე ანიონმიმოცვლის ფისებზე აღსაბრტყისა და შემდეგ ამ დესაბრტყის, რომელიც მარილების შემყავებული ხსნარებით ურანის იონების ჩამორეცხვის (ელუირების) გზით ხორციელდება. ამასთან ურანი სუფთავდება მთელი რიგი მინარეებისგან. ოთხვალენტური ვანადიუმი (ხუთვალენტური ვანადიუმი წინასწარ აღდგენას ექვემდებარება ოთხვალენტური ვანადიუმამდე) ალუმინის, მანგანუმის, ორვალენტური რკინის, ტუტე და ტუტემიწა ლითონების იონები გოგირდმყავა ხსნარებიდან არ შთაინთქმება ფისებით.

კობალტის კომპლექსური ციანიდები, პოლითიონების მეკეების ანიონები, მოლიბდენის (პოლიმოლიბდატების ანიონების სახით) და სილიციუმმეკეას მინარეები შთანთქმება ანიონითი, რაც მის მუშა ტევალობას ურანის მიმართ ამცირებს. ამიტომ, დროდადრო აუცილებელია ფისის გასუფთავება ამ მინარეებისგან სხვადასხვა ხსნარებში (ძლიერ ჩატე, Na_2S -ის ან თიოციანატების ხსნარებში) მისი ჩატეცხვით.

ურანის ეფექტურ ამომღებ ანიონიტებს განეკუთვნება ძლიერტუტე ფისები, რომლებიც მეთხეული ამონიუმის ფუნქციური ჯგუფებისგან შედგება. ასეთი ფისები ქლორმეთილირებულ სტიროლდიენილბენზოლის თანაპოლიმერის ამინირებით მიიღება.

გოკირდმაკეა ხსნარებში ურანი წარმოდგენილია არადისოცირებული ურანილის სულფიტის (UO_2SO_4), UO_2^{2+} იონების, $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ და $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$ კომპლექსური იონების სახით. როდესაც ასეთ ხსნარსა და ფისის კათიონის აქტიურ ზედაპირს შორის კონტაქტი მყარდება, მათი იონების მიმოცვლის პროცესი (რომელიც წინასწორობის დამყარებამდე გრძელდება) იწყება, რის შედეგადაც ურანი აღსორბირდება ფისებზე:

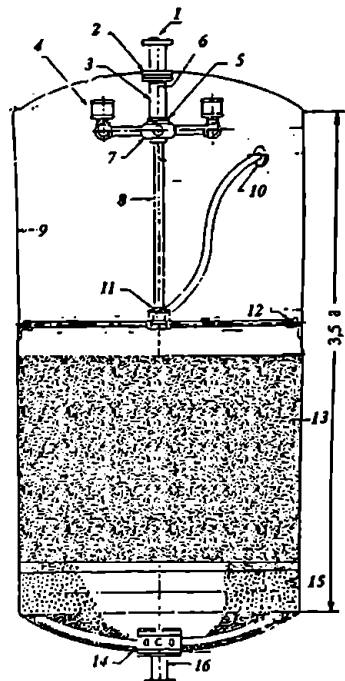


სადაც R - ფისის კათიონია, ხოლო X^-Cl^- ან NO_3^- ანიონი.

იონმიმოცვლით გადასაშუალებელი ხსნარები, როგორც წესი, 1-2 გ/ლ U_3O_8 შეიცავს. განსაკუთრებულ შემთხვევაში გადაშუალებას ექვემდებარება ხსნარები, რომლებიც 0,2 გ/ლ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ -ს შეიცავს. ურანით ასეთი ღარიბი ხსნარები ურანშემცველი ოქროს ნედლეულის გადაშუაების პროცესში თანაურად გამოიყოფა. ეინაიდან ამ შემთხვევაში ურანიც იმ მანძიდან ამოიღება, საიდანაც ოქრო, მადნის მოპოვებასა და მის დაქუტყვებაზე განეწეული ზარეები ოქროსა და ურანს შორის ნაწილდება და ამიტომაც ღარიბი ხსნარებიდან იონმიმოცვლით ურანის ამოღება ეკონომიკურად გამართლებულია.

იონმიმოცვლითი პროცესი ზორციელდება ცილინდრული ფორმის ფოლადის სვეტებში გამოზნეილი ბოლოებით (სურ. III.131.), რომელიც უმოძრაო ანიონიტის ფენაში კარგად გაკამაგებული ურანშემცველი ხსნარის გატარება ზდება, ან გამოიყენება ე.წ. „კონტინერული“ ან „არაფილტრაციული“ მეთოდი, რომელიც ბოძრავი მსხვილმარცვლიანი ანიონიტის უშუალოდ პულაში შეტანას ითვალისწინებს.

გაკამაგებული ხსნარების იონმიმოცვლის სვეტი (სურ. III.131.) შიგნიდან რეზინით არის ამოგებული. სვეტის დიამეტრი დაახლოებით 2 მ-ს შეადგენს, ხოლო მისი სიმაღლე 3,5 მ-ს აღწევს. სვეტის და ცილინდრის ძირი მოფენილია კვარცის ზრებით. ფენის სიმაღლე 37,5 სმ-ს შეადგენს, ხოლო კვარცის მარცვლების სისხო 2,5 სმ-ს. ფენის თავში განლაგებული კვარცი ზეშეშა ქიმიისგან შედგება. ზრემის ფენის ქვეშ განლაგებულია საწრეტი. სვეტის ქვედა ნახევარსფეროს ძირში

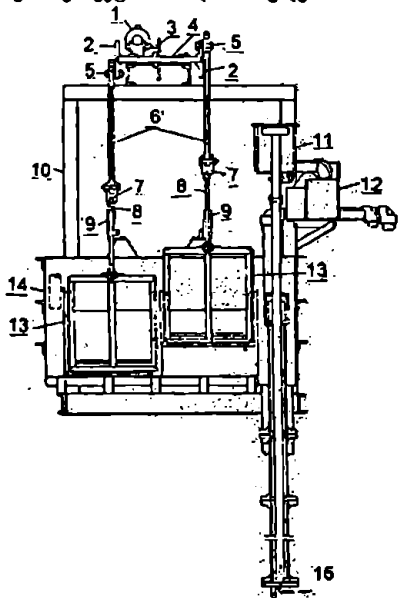


სურ. III.131. ურანის ამოსაღები იონმიმოცვლის სვეტი

1. დედახსნარისა და წყლის შესაშვები და უკურარეცხვის ხსნარის გაშოსაშვები; 2. მარტეხელი მილტუნი; 3. მანაწილბელების მილი; 4. მანაწილბელები; 5. მანაწილბელები მუხა; 6. სავეტილიატი ზრელები; 7. მანაწილბელების მილისა; 8. უფანავი ფოლადის გრძელი მილი; 9. რეზინის ამონავი; 10. ელუატის შესაშვები მილის მარტეხელი მილტუნი; 11. მარტეხელი მილტუნი; 12. მარტეხელი ცალული; 13. ფისი; 14. საწრეტი სისტემა; 15. კვარცის ზრემის ფენები მარცვლებს სხვადასხვა ზომებით; 16. ელუატის და გადარბეული ხსნარის გაშოსაშვები და უკურარეცხვის ხსნარის შესაშვები

ჩაყენებულია გამოსაშვები მილი. ხრეშის ფენის თავზე განლაგებულია ფისის 1,3 მ-ის სიმაღლის ფენა. ფისის ფენის ზედა სივრცეში ჩამონტაჟებულია შემავალი ხსნარების მანაწილებელი სისტემა, რომელიც შესაშვებ მილთანაა მიერთებული. იმ შემთხვევაში, როდესაც გაღარიბებული ხსნარი და ელუატი სვეტის ძირში ჩაყენებული გამოსაშვებიდან გამოვლინება, როგორც იონიზმოცვლა, ასევე ელუირება, ხსნარების დადამავალ ნაკადში ტარდება, ხოლო ჩარეცხვის ოპერაციები ხსნარების საწინააღმდეგო (ქვევიდან ზევით) ნაკადში ხორციელდება.

იონიზმოცვლისა და ელუირების პროცესები მწკრივში ჩაყენებულ სამ ან ოთხ სვეტში ტარდება. როდესაც ერთ სვეტში ელუირების პროცესი მიმდინარეობს, დანარჩენ სვეტებში ფისებსა და მკაეა ურანმშეცვლელ ხსნარებს შორის იონიზმოცვლის პროცესი ხორციელდება. ელუირების სვეტის ფისის ფენიდან ურანის ამოღებისა და ფისების რეაქტივაციის შემდეგ იგი სვეტების რიგში სათადარიგო სვეტის ადგილს იკავებს. ამასთან, მწკრივში ჩაყენებული სვეტებიდან ნომერ პირველ სვეტში ფისების ურანით გაჯერება მთავრდება და ელუირების (ფისების ჩარეცხვის) პროცესი იწყება. პირველ სვეტში ფისები გაჯერებულად ითვლება მაშინ, როდესაც მწკრივში ჩაყენებული სვეტებიდან გამოძვეალი გაღარიბებული ხსნარების ნაკადში ურანის შემცველობა მკეცხავ ხსნარებში ურანის საწყისი რაოდენობის 1%-ის ტოლი გახდება. ამრიგად, პირველ სვეტში გაჯერების პროცესის დამთავრებისა და ელუირების დაწყების შემდეგ მის მაგიერობას მწკრივის მეორე სვეტი ეწევა ანუ მეორე სვეტი პირველი სვეტი ხდება, მესამე სვეტი – მეორე და მეოთხე სვეტი მესამე სვეტის მაგიერობას ეწევა, ხოლო ასლად ჩარეცხილი (ელუირებული) და რექატივირებული სათადარიგო სვეტი კი სვეტების ჯაჭვში ბოლო, მეოთხე სვეტის როლს ასრულებს.



სურ. III.12. იონიზმოცვლის აბაზანა ორი კალათით.

1 ძრავა კბლა გადაცემით; 2 კვსენტროცია 3. ჯაჭვიური გადაცემის კბილა; 4. მბრუნავი ლილვა; 5. მრუდხანის თითი 6. წამბასტეკელი ღერი; 7. ხსნარის 8. ბარბაცია; 9. მილისა; 10. საყრდენი ჩარჩო; 11. აეროლიფტის 12. მანაწილებელი კოლოფი; 13. კალათები; 14. აბაზანა; 15. პერი აეროლიფტისთვის.

საწარმოო პრაქტიკაში, როგორც წესი, სვეტები რამდენიმე პარალელურ მწკრივშია განლაგებული და მათი საერთო რიცხვი 12-ს სჭარბობს. უწყვეტ რეჟიმში მომუშავე სვეტებისა და მათთან მიერთებული მილებისა და ტუმბოების ერთობლიობა ლაბირინთებს ქმნის საამქროში.

სვეტებში იონიზმოცვლის პროცესი იქამდე გრძელდება, სანამ 0,280 მ ფისის ბურთულები 1360 გ U_3O_8 -ით არ დაიტვირთება, რისთვისაც, დაახლოებით, 5 საათია საჭირო (ხსნარის ნაკადის ღინება ამ დროს 273 ლ/წთ შეადგენს).

ფისის ბურთულებიდან ურანის ჩამორეცხვის ანუ ელუირების ციკლი სამი საფეხურისგან შედგება. ჩამორეცხვის შედეგად ელუატში 10-დან 20 გ/ლ ურანი გროვდება. ამ შემადგენლობის ელუატი გამოლექვის საამქროში იგზავნება. სამსაფეხურიანი გამოლექვის ოპერაციების ჩატარების შემდეგ გაღარიბებული ელუატი გამოლექვის საამქროდან გადაიტუმბება შემდეგ კოდებში, სადაც იგი ნატრიუმის ქლორიდით (ან ამონიუმის ნიტრატით) შევსებას განიცდის. განახლებული ელუატი იონიზმოცვლის საამქროში ბრუნდება და ელუირების პროცესში ხელმეორედ გამოიყენება.

ფისების ჩამრეცხი ქლორიდის (ან ნიტრატის) ელუატი არამარტო აბსორბირებულ ურანს აცლის ფისის ფენას, არამედ იონიზმოცვლის პროცესში (ფისებით ურანის აბსორბაციის დროს) განდევნილ Cl^- -ის (ან NO_3^- -ის) იონების ფისებში ჩანაცვლებით მათ რეაქტივაციასაც უზრუნველყოფს.

ნიტრატის ჩამრეცხი ელუატის ხსნარი ნაკლებად კოროზიულია და ამასთან 3-ჯერ უფრო ეფექტიურია,

ვიღერ ქლორიდის ხსნარი, თუმცა, იგი შედარებით ძვირი რეაგენტია და ამიტომ მისი რეგენერაცია და ხელშეორედ გამოყენება აუცილებელია.

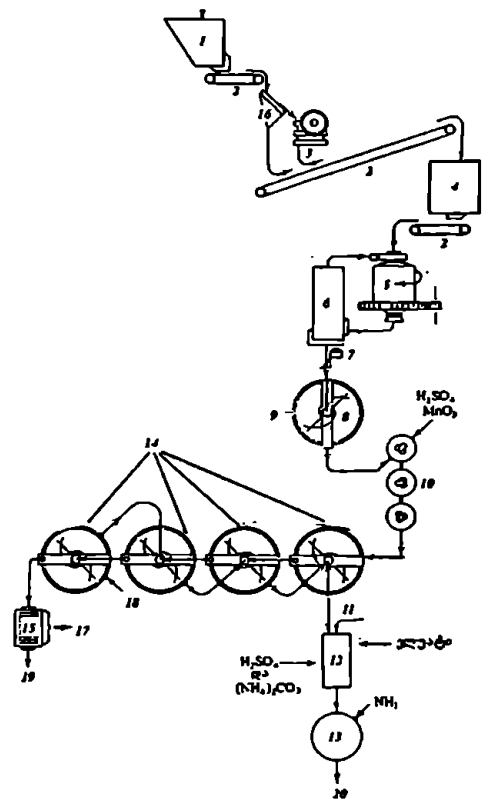
ელუატიდან ურანის გამოლეკვა ხსნარის pH-ის მაჩვენებლის 6,5-7-მდე გაზრდით ხორციელდება. ელუატის ხსნარში დანამატის სახით ამიაკი (ნატრიუმის ჰიდროქსიდი, მაგნიუმის ოქსიდი) შეაქვთ. ელუატის ხსნარიდან გამოილეკება დიურანატი (NH_4)₂U₂O₇ - ყუთელი კეტი, რომელიც 50-დან 80%-მდე U₃O₈-ს შეიცავს. კეკის გაფილტვრისა და შრობის შემდეგ იგი რაფინირებაზე იგზავნება.

პულაში ორნიმოცულის („კონტინერული“ მეთოდი, ანუ „ფისი პულაში“) პროცესი იმით გამოირჩევა, რომ ფოლადის მეთულისგან მოქსოვილ კალათებში მოთავსებული ფისები უშუალოდ ურანშემცველ პულაში შეაქვთ (სურ. III.132.). კალათები ვერტიკალური მიმართულებით უწყვეტით-წინხელით მოძრაობას ასრულებს აბაზანაში, რომელიც ურანშემცველი მყავა ღედახსნართაა შევსებული. ამ მეთოდით გადაშეშვებას ექვემდებარება ურანშემცველი ღედა-ხსნარები, რომლებიც 10%-მდე მყარ ნაწილაკებს (-325 მეში) შეიცავს, რაც ფილტრაციისა და ჩარეცხვის ექვემდებარება და ძვირადღირებული ოპერაციების თაიდან აცილების საშუალებას იძლევა.

ურანშემცველ ხსნარიდან აბაზანაში კონტინერის (ფისებიანი კალათის) ჩაძირვისას (ქვეითკენ გადაადგილებისას) კალათაში მყოფი ფისები შეტივტივებულ მდგომარეობაში გადადის და გაფაშრებას განიცდის, უკუმოდრაობის დროს კი ფისების შემჭიდროება ხდება (კალათიდან მონაევი ხსნარი ისევ აბაზანაში ჩაედინება). აბაზანები ბატარეებადაა (ჯგუფებად) გაერთიანებული. თითო ჯგუფში 12-დან 14-მდე აბაზანა შედის. კალათაში ჩატვირთული ფისების ფენის სიმაღლე 45 სმ-ს შეადგენს. პულადან ფისებით შთანთქმული ურანის ხსნარით ჩამორეცხვისა (ელუირების) და ხსნარიდან ურანის გამოლეკვის პროცესები ანალოგიურია სვეტებში ორნიმოცულის შედეგად მიღებული ხსნარების გადაშეშვების პროცესებისა.

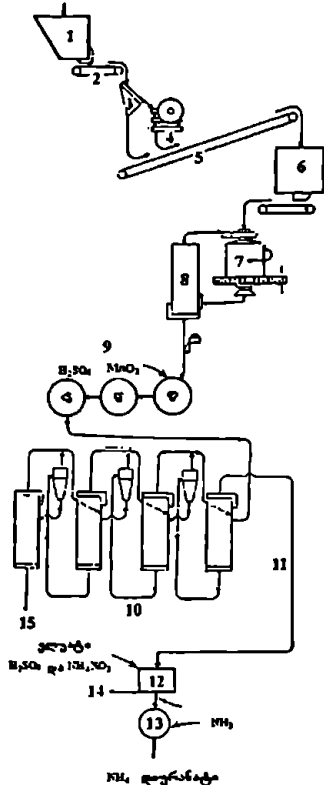
იმ დროს, როდესაც ჯგუფის 9 აბაზანაში ორნიმოცულის პროცესი მიმდინარეობს, დანარჩენ ხუთ აბაზანაში ფისებიდან ურანის ჩამორეცხვის (ელუირების) პროცესი ხორციელდება. ხსნარების აბაზანებში (14-ე აბაზანაში) დეაფინების ხანგრძლივობა 100 წთ-ს არ აღემატება.

აბაზანაში (პულაში) და სვეტში (გაკამებულ ხსნარში) ორნიმოცულის დროს ერთი და იგივე რაოდენობის ურანი შთანთქმება ფისებით, განსხვავება მხოლოდ პროცესების ხანგრძლივობაშია. აბაზანაში მიმდინარე პროცესების ხანგრძლივობა (1,5 საათი) სვეტში მიმდინარე პროცესის (5 საათი) ხანგრძლივობაზე გაცილებით ნაკლებია.



სურ. III.132 ურანის ნედლეულს მყავერი გამოტუტვისა და გაკამებული ხსნარების სვეტებში ორნიმოცულის ტექნოლოგიური სქემა.

- 1 მადნის ბუნჯერა 2 მადნის შევება 3 სამსხრევლოა
- 4 მადნის ბუნჯერა 5 ბუნჯერებიდან წისქვილი 6 კლანდო-კატორა
- 7 ხანჯის ამკობა 8 ხანჯლებელი 9 ეადონანსაში
- 10 შემრევი 11 ურანშემცველი ღედახსნარა 12 ორნი-მოცულის სვეტი 13 სალექი კოდი 14 სასქვლებელი
- 15 ფილტრია 16 ცხავა 17 საყრისი კეკი 18 ჩამორეცხა წყავალი 19 საყრისი ნარეცხა 20 დიურანატი



ჩვენ აღწერა

სურ. III.134. ურანის ნედლეულის მექანიკური გამოტუტვისა და პულპის აბაზანებში იონიზირებული ტექნოლოგიური სქემა.

1. მადნის ბუნებრივი; 2. მადნის შევება; 3. ცხელი; 4. ხამსხვეველი; 5. კონვეიერი; 6. მადნის ბუნებრივი; 7. ბურთულეობის წისქვილი; 8. კლასიფიკატორი; 9. შემწვევი; 10. ციკლონებისანი კლასიფიკატორები; 11. პულპისანი ურანშემცველი დედაბანარა; 12. იონიზირების ფისების კალათები; 13. ნარევის ხსნარი; 14. საყრდისი შლახი და ხსნარი; 15. საყრდისი ქვიშა.

მინერალები, მაგალითად: ტუიამენიტი, ოტენიტი, ტორბერნიტი და სხვა. ურანის შემცველობა აშშ-ის (კოლორადოს პლატო) კარნოტიტის მადნებში იცვლება, დაახლოებით, 0,2-დან 1,2%-მდე (U_3O_8 -ზე გაღატოლი), ხოლო V_2O_5 -ის — 0,8-დან 1,2%-მდე. მარდულ მინერალებს შორის მადანში ხშირად წარმოდგენილია კვარცი, კალციტი, ზანდაზან თაბაშირი. მადნების უმრავლესობა ნახშირბადოვანი ნივთიერებების რაღაც რაოდენობას შეიცავს.

კარნოტიტის მადნების სოდის ხსნარში პირდაპირი (წინასწარი გამოწვის გარეშე) გამოტუტვის დროს, ხსნარში ურანის ამოღების ხარისხი მაღალია, ხოლო ვანადიუმი არასაკმარისი ხარისხით ამოიღება.

ვინაიდან მინერალი კარნოტიტი ადვილად იხსნება სოდის ხსნარში, ვანადიუმის დაბალი ამოღება კარნოტიტის მადნიდან ვანადიუმის სხვა მინერალის (სოდის ხსნარში ძნელად ხსნად

ურანის მადნის ნედლეულის მექანიკური გამოტუტვისა და გაკამკამებული ხსნარების სეცტებში და პულპის აბაზანებში იონიზირებული ტექნოლოგიური სქემები შესაბამისად წარმოდგენილია III.133. და III.134. სურათებზე.

ამაზანიდან ურანშემცველი ელუატი გადაიტუმება სალექ კოლში, სადაც ხსნარზე (ელუატზე) ამიკის დამატებით (სამსაუხურისანი დამატების შედეგად pH-ის მანქანებელი 7-ის ტოლი ხდება) ხსნარიდან გამოილეება ამონიუმის დიურანატი, $(NH_4)_2U_2O_7$ (ყვითელი კეკი), რომელიც 75-80% U_3O_8 -ს შეიცავს. კეკის $500^{\circ}C$ -ზე გახურებით კეკიდან კრისტალოზაციის წყალი და ამიკი განიღვრება, როგორც იონიზირებული, ასევე გამოლევის პროცესებში ურანის ამოღება 99%-ს შეადგენს. დამუშავებული კეკი რაფინირებაზე იგზავნება.

პრაქტიკაში გამოიყენება ურანშემცველი ხსნარების იონიზირების სხვა მეთოდებიც, როგორცაა უწყვეტი წინაღობისანი პროცესი, რომელიც ანტიპროტონ კონტაქტორებში ტარდება და „პულსირებად“ ფისის ფენაში უწყვეტი იონიზირების პროცესი.

13.1.2. ურანის ქიმიური ნაერთების მიღება მადნის ნედლეულის სოდის ხსნარში გამოტუტვით

ურან-ვანადიუმის კარნოტიტის მადნების გადამუშავების დროს ტექნოლოგიური პროცესი არა მარტო ურანის, არამედ ვანადიუმის მაქსიმალურ ამოღებასაც უნდა ითვალისწინებდეს.

ამ ტიპის მადნებში ვანადიუმის შემცველობა ხშირად მეტია ურანის შემცველობაზე, რაც არ შეესაბამება კარნოტიტის მინერალის — $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ -ის შესაბამის შემადგენლობას. ვანადიუმის სიჭარბე მადანში ვანადიუმის სხვა მინერალების არსებობით აიხსნება. მაგალითად, მადანი შეიძლება შეიცავდეს როსკოელიტს (ან ვანადიუმის ქარსაკს), რომლის საგარაულო შემადგენლობაა $3(Al, V)_2O_3 \cdot K_2O \cdot 18SiO_2 \cdot 2H_2O$.

კარნოტიტის გარდა, მადნის შემადგენლობაში შეიძლება შედიოდეს ურანის სხვა ოქსიდური მინერალები, მაგალითად: ტუიამენიტი, ოტენიტი, ტორბერნიტი და სხვა. ურანის შემცველობა აშშ-ის (კოლორადოს პლატო) კარნოტიტის მადნებში იცვლება, დაახლოებით, 0,2-დან 1,2%-მდე (U_3O_8 -ზე გაღატოლი), ხოლო V_2O_5 -ის — 0,8-დან 1,2%-მდე. მარდულ მინერალებს შორის მადანში ხშირად წარმოდგენილია კვარცი, კალციტი, ზანდაზან თაბაშირი. მადნების უმრავლესობა ნახშირბადოვანი ნივთიერებების რაღაც რაოდენობას შეიცავს.

კარნოტიტის მადნების სოდის ხსნარში პირდაპირი (წინასწარი გამოწვის გარეშე) გამოტუტვის დროს, ხსნარში ურანის ამოღების ხარისხი მაღალია, ხოლო ვანადიუმი არასაკმარისი ხარისხით ამოიღება.

ვინაიდან მინერალი კარნოტიტი ადვილად იხსნება სოდის ხსნარში, ვანადიუმის დაბალი ამოღება კარნოტიტის მადნიდან ვანადიუმის სხვა მინერალის (სოდის ხსნარში ძნელად ხსნად

მინერალის) არსებობით აიხსნება. მაგნიდან ვანადიუმის ამოღების მაღალი ხარისხის მისაღწევად, როგორც წესი, წინასწარი მეტალურგიული ოპერაციები ტარდება. საწარმოო პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია მაგნიუმის გამოწევა სუფრის მარილთან ერთად. გამოწევის მთავრე ვარიანტში, სუფრის მარილის მაგივრად დანამატის სახით, კალციუმის სულფატი გამოიყენება.

მაგნიის წინასწარი პირომეტალურგიული გადაამუშავების დროს, განსაკუთრებული მნიშვნელობა გამოწევის ოპტიმალური პირობების დაკვირვებას ენიჭება. ოპტიმალური რეჟიმთან გადახრა ურანის ამოღების ხარისხის მკვეთრ შემცირებას იწვევს.

კარნოტიტის მაგნიუმის გამოწევა სუფრის მარილთან ერთად 750-850°C-ის ტემპერატურების ფარგლებში ტარდება (სურ. III.135.).

ამ ტემპერატურებზე ვანადიუმის მინერალები NaCl-თან ურთიერთქმედებს და ნატრიუმის ვანადატებს (NaVO_3 , Na_2VO_4) წარმოქმნის. ვანადატებისა და ურანის მინერალების ურთიერთქმედების შედეგად კი მიიღება ნატრიუმის ურანილვანადატები, რომლებიც Na_2CO_3 - NaHCO_3 -ის გამოიმტუტავ სხნარებში იხსნება.

კარნოტიტის მაგნიის მარილთან ერთად გამოწევა 350-600°C-ის ტემპერატურულ ინტერვალში მკვეთრად ამცირებს სხნარებში ურანის ამოღებას, რაც კარნოტიტის დეჰიდრატაციითა და სოლის სხნარებში ძველად ხსნადი უწყლო მარილის წარმოქმნითა განპირობებული. მაგნიის 850°C-ზე ზევით გამოწევის დროსაც ურანისა და ვანადიუმის სოლის სხნარებში ამოღება მკვეთრად მცირდება (სურ. III.135.), რაც ურანილვანადატებისა და ნატრიუმის ვანადატების დაშლით ან კაჟმინასთან რეაგირების შედეგად სოდა-ბიკარბონატის სხნარებში ძველად ხსნადი ნაერთების წარმოქმნით აიხსნება.

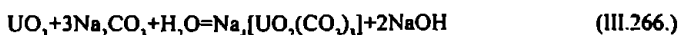
ამრიგად, ურანისა და ვანადიუმის ამოღების მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მაგნიის გამოწევის ტემპერატურის შეკავება ვიწრო (750-850°C) დიაპაზონში.

გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ სოლის სხნარში ადვილად ხსნად ნაერთს ნატრიუმის კომპლექსური ურანილვანადატი წარმოადგენს. თუ მაგანში ვანადიუმი იმ რაოდენობაზე ნაკლებია, რომელიც კომპლექსის წარმოქმნისათვისაა აუცილებელი, მაშინ NaCl-თან ერთად მაგნიის გამოწევა სხნარში ურანის ამოღების ხარისხი შეიძლება შეამციროს. ამასთან დაკავშირებით, ზოგიერთ საწარმოში გამოწევაზე მაგანს ემატება V_2O_5 -ის ის რაოდენობა, რომელიც აკლავს მას კომპლექსის წარმოსაქმნელად.

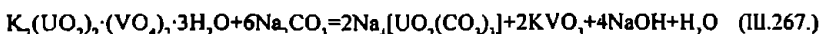
დადგენილია, რომ გამოწევის პროდუქტის ნული გაცივების პერიოდში, სხნარში ურანის ამოღება (გამოტუტვის დროს) გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე პროდუქტის სწრაფი გაცივებისას, რაც ნატრიუმის ურანილვანადატის წარმოქმნის რეაქციის შექცევადობით შეიძლება აიხსნას. ამიტომ რეკომენდებულია გამომწეარი მაგნიის ღუმელდანი პირდაპირ ცივ სხნარებში ჩატვირთვა (წრობის ჩატარება).

სოლის გამოიმტუტავ სხნარებში კარბონატული კომპლექსური იონები უპირატესად $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{4-}$ -სა და $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2-}$ -ის იონების სახითაა წარმოდგენილი. ვინაიდან მათ შორის პირველი უფრო მდგრადია (მდგრადობის კოეფიციენტი 10^4 -ჯერ მეტია) და სხნარში უპირატესადაა წარმოდგენილი, შემდგომში ყველა ქიმიური რეაქცია სამკარბონატინი კომპლექსის მონაწილეობით განიხილება.

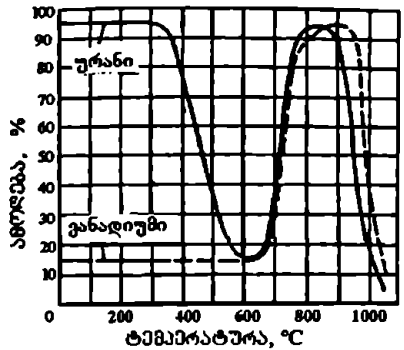
სოლის სხნარში ურანის სამკარბონატიანი გაცხნის რეაქცია შემდეგნაირად გამოიხსნება:



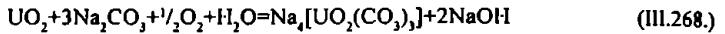
კარნოტიტის ტიპის მეორადი მინერალის გაცხნის დროს მიმდინარეობს რეაქცია:



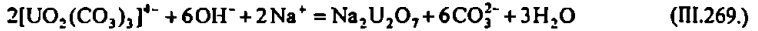
ოთხვალენტინი ურანის შემცველი მინერალების გამოიმტუტავ მკანგავის დამატებით ხორციელდება:



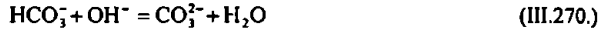
სურ. III.135. კარნოტიტის მაგნიუმის სუფრის მარილთან ერთად გამოწევის ტემპერატურის გავლენა Na_2CO_3 -ისა და NaHCO_3 -ის შემცველ სხნარებში ურანის ამოღებაზე.



როგორც ზემოთმოყვანილი რეაქციებიდან ჩანს, სოდასთან ურთიერთქმედების შედეგად ხსნარებში გროვდება ტუტე, რამაც შეიძლება ნატრიუმის დიურანატის გამოლექვა გამოიწვიოს:

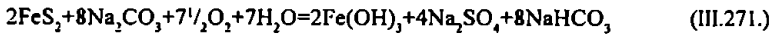


გამოყოფილი ტუტის განეიტრალების მიზნით, გამოტუტვის პროცესი სოდასა და ნატრიუმის ბიკარბონატის ნარევი ტარდება:



პრაქტიკაში გამოიყენება გამოტუტვითი ხსნარები, რომლებიც 5-10% Na_2CO_3 -სა და 1-დან 7%-მდე NaHCO_3 -ს შეიცავს.

მდინარეში შემავალი სულფიდური მინერალები (უმაზრესად, პირიტი) სოდასთან ურთიერთქმედებით სულფატებსა და ნატრიუმის ბიკარბონატს წარმოქმნის:



ნატრიუმის ბიკარბონატის წარმოქმნა სასარგებლოა. თუმცა, მდინარეში 1%-ზე მეტი პირიტი სოდას ხარვეჯავს ზრდის (ნატრიუმის სულფიტის წარმოქმნის გამო).

მდინარეში თაბაშირის შემცველობის დროს, სოდას ხარვეჯვა იზრდება შემდეგი რეაქციის განვითარების გამო:



ნედლეულში გამოიწვეარი კირის შემცველობა არასასურველია, რადგანაც სოდას კალსტოფიკაციის (შენეგე ნატრიუმის – NaOH -ის მიღების პროცესი) რეაქცია შეიძლება განვითარდეს:



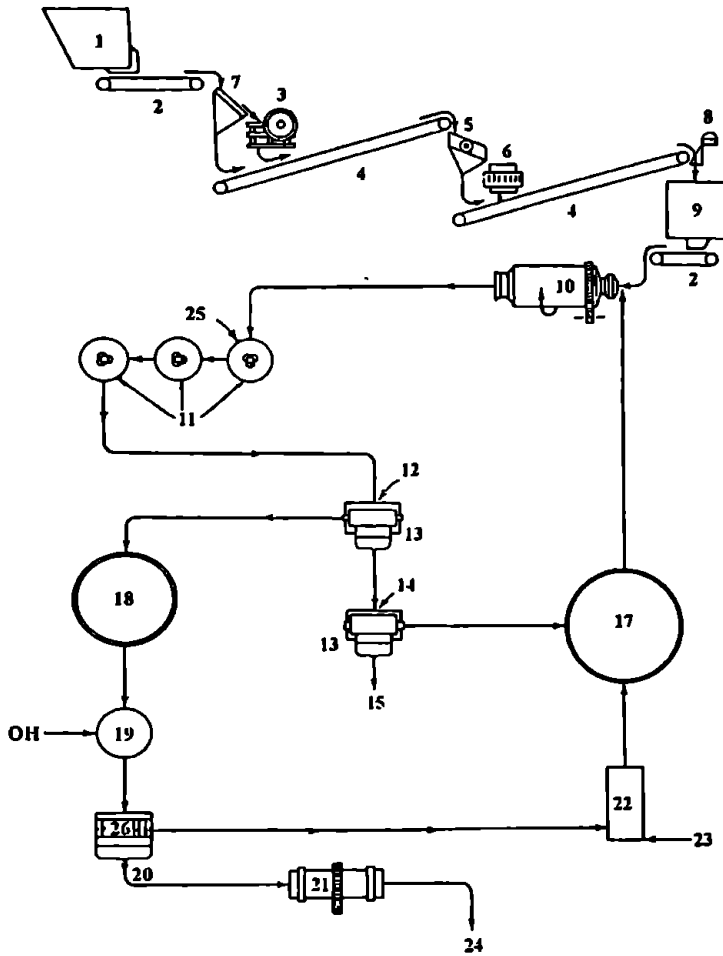
ამიტომ მდინები, რომლებიც კალციუმის კარბონატს შეიცავს, სოდაში გამოტუტვის წინ გამოწვას არ ექვემდებარება.

მეანგვის სახით უმაზრესად პერი ან ჟანგბადით გამოიღებულ პერი გამოიყენება. დადგენილია, რომ საიონების იონების კატალიზური ზეგავლენით პერი ურანის დაჟანგვის პროცესი ჩქარდება.

სოდას ხსნარებით ურანის მდინების გამოტუტვა ატმოსფერულ წნევაზე მექანიკური შერევისა და პერი შესარევი ჰაერის ტიპის აპარატებში ტარდება. მდინის დაქუცმაცების ხარისხი, ძირითადად, 100 მეტის ტოლია. მხოლოდ ზოგიერთი ძველად შლადი მდინე ექვემდებარება უფრო წმინდა დაქუცმაცებას.

აღილად შლადი, მეორადი მინერალების შემცველი მდინე ეფექტურად გამოიტუტება ატმოსფერულ წნევაზე 70-90°C-ის ფარგლებში. ამ ტიპის მდინის სოდას ხსნარით გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.136. სურათზე.

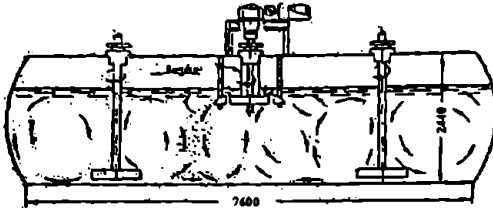
რაც შეეხება პირველადი მინერალების შემცველ მდინებს (რომლებშიც ურანი ოთხვალენტანია) და შერეული ტიპის მდინებს, მათი გამოტუტვა ატმოსფერულ წნევაზე ძალზე დაბალი სიჩქარით (96-100 საათი ვრძელდება გამოტუტვის ციკლი) მიმდინარეობს და ამიტომ ამ ტიპის მდინები ატმოსფერული წნევის ქვეშ (წნევა 206-620 კპას ფარგლებში იცვლება) ავტოკლავეში გადამუშავება მეანგვთან ერთად 104-115°C-ზე. ცილინდრული ფორმის პორიზონტალური ავტოკლავე (ფოლადისგან მზადდება) შინიდან სინთეტიკური ჰაბითა დაფარული. ავტოკლავეს დიამეტრი 2,5 მ-ია, ზოლო სიგრძე – 7,6 მ (სურ. III.137). მაგალითად, კანადის ბივერლოჯის საბადოს ურანის ფისიანი მდინე, რომელიც სოდას ხსნარით ავტოკლავეში გამოტუტვას განიცდის, წინასწარ სველ დაქუცმაცებას ექვემდებარება ბურთულბიან წისქვილში, რომელიც სოდასა და ნატრიუმის კარბონატის ხსნარით იკვება. შესქელებული პულპა (60% მყარი) იტვირთება ავტოკლავეში და გამოტუტვას ექვემდებარება 105-120°C-ზე და 560 კპას წნევის ქვეშ. გამოტუტვითი ხსნარები 40 გ/ლ სოდასა და 20 გ/ლ NaHCO_3 შეიცავს. გამოტუტვის პროცესის ხანგრძლივობა 16 საათს შეადგენს. ერთ ეგვარში ერთმანეთთან თანმიმდევრულად მიერთებულია 6-9 ავტოკლავე. მასალით დაკავებული ავტოკლავეის მოცულობის 80%. შემრევის მეშვეობით პულპა ავტოკლავეში შეტივტივებულ მდგომარეობაში იმყოფება. ჟანგვა



სურ. III.136. ურანის ადვილად ხსნადი ნედლეულის სოდის ხსნარში გამოტუტვის ტექნოლოგიური სქემა.

1 მადნის ბუნკერი; 2 მადნის შევება; 3 სამსხვრეველი; 4 დედური კონვეიერი; 5 მოფორმე ცხავე; 6 მეორადი მსხვრევა; 7 ცხავე; 8 სინჯის აპკება; 9 მადნის ბუნკერი; 10 ბურთულბანი წისქვილი; 11 შემრევი; 12 ვალარობებული ხსნარი; 13 დოლოური ფილტრი; 14 წყალი; 15 საყრდისი კეცა; 16 ნატრიუმის კარბონატი; 17 საფუქვაი მადნის ხსნარის ხაცავე; 18 დედახსნარის ხაცავე; 19 ხალევი კოდა; 20 შრობისკენ; 21 შრობის ღუმელი; 22 კარბონატის კოშკი; 23 კეაშლსადენის აირი; 24 რაფინირებაზე; 25 ორთქლი; 26 პრეს-ფილტრი.

$KMnO_4$ -ის დამატებით ან ავტოკლაუში პერის შეშვებით ხორციელდება. მწკრივში მდგარი ბოლო ავტოკლაუიდან გამოსული ცხელი ნარჩენი და დედახსნარი სითბოს მიმოიკვლეულში გადადის. არჩებული სითბო გამოიყენება დაქუცმაცების უბნიდან გამოტუტვაზე შემოსული მასალის წინასწარი გახურებისთვის. როგორც ატმოსფერულ წნევაზე, ასევე ავტოკლაუში მიღებული დედახსნარიები შესქელების წინააღდენიანი დეკანტაციისა და ფილტრებში გაკამკამების საფეხურების გაელის შემდეგ დალქვის საამქროში გადაიტუმბება.



სურ. III.137. პორისონტალური ავტოკლავის (მექანიკური შემრევი) სქემა.



სოდის რეგენერაციის მიზნით, ნატრიუმის დიურანატიის გამოლევის შემდეგ ხსნარში CO_2 -ს ატარებენ, რის შედეგადაც ნატრიუმის კარბონატი და ნაწილობრივ ბიკარბონატი წარმოიქმნება:



რეგენერირებული ხსნარი, მასში ჩარჩენილი მცირე რაოდენობის ურანთან ერთად, გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება. დედახსნარის ნაწილი, როგორც წესი, პროცესიდან გამოიყვანება, ვინაიდან ხსნარში თანდათან გროვდება ნატრიუმის სულფატი, რომლის კონცენტრაციაც 20%-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

გამოლევის პროცესი შემრევ კოლბში ტარდება. პროცესის ხსნარმდიოება 6 საათს შეადგენს. ნალექი, რომელიც საშუალოდ 72-77% U_3O_8 -ს შეიცავს, ფილტრაციისა და შრობის შემდეგ რაფინირებაზე იგზავნება.

ნატრიუმის ჰიდროოქსიდით გამოლევის მეთოდი ეფექტურია იმ შემთხვევაში, როდესაც ხსნარში ურანის კონცენტრაცია არანაკლებ 2,5 გ/ლ-ის ტოლია. უფრო დაბალი კონცენტრაციის ხსნარების გადასამუშავებლად აუცილებელია მათი კონცენტრირება. კონცენტრირების პროცესი ხსნარების წინასწარი გამოორთქლით ტარდება. გამოორთქლის შედეგად ურანის შემცველობა ხსნარში 2,5 გ/ლ-მდე იზრდება.

თუ ხსნარში მთლიანი ფარდობა $-\text{V}_2\text{O}_5:\text{U}=1:2$ ან მეტია, მაშინ პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება ხსნარიდან ურანილვანადატის $[\text{Na}(\text{UO}_2)_2\text{VO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ გამოლევა, რომელიც ხსნარის განეიტრალებით ($\text{pH}=6$) ხორციელდება (ხსნარზე გოგირდმჟავას დამატებით). გამოლევილი ნალექის ყვითელი კეკი ჯერ იფილტრება, ხოლო შემდეგ სუფრის მარილთან, სოდასთან და ხის ნახერხთან შედნობას ექვემდებარება. მიღებული ნაღობი განიციდის წყალში გამოტუტვას, რის შედეგადაც ვანადიუმში ხსნარში გადადის, ხოლო ურანი UO_2 -ის სახით რჩება უხსნად ნარჩენში, რომელიც მდიდარ ურანის კონცენტრატს წარმოადგენს. ვანადიუმის გამოლევა ხსნარის განეიტრალებით ($\text{pH}=2,5$) ხორციელდება. გამობარი ხსნარის ნეიტრალიზაციის შედეგად ხსნარიდან ვანადიუმში გამოიყოფა „წითელი კეკის“ $-\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -ის სახით.

13.2. ურანის ქიმიური ნაერთების გასუფთავება (რაფინირება)

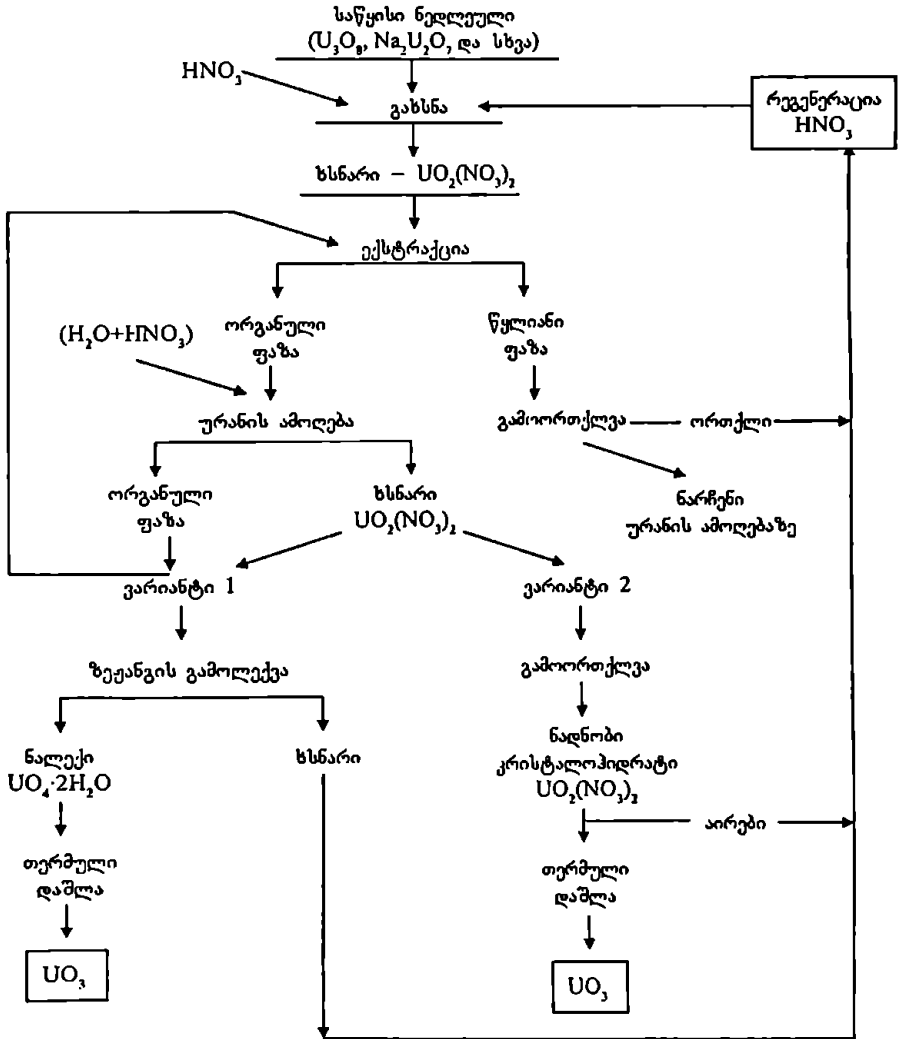
ზემოთ განხილული პროცესებით ურანის მადნების გადამუშავების შედეგად პროდუქტების სახით ტექნიკური სისუფთავის ურანის ნაერთები (U_3O_8 , $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$) მიიღება. მიღებული ნაერთები მთელ რიგ მინარეკებს შეიცავს. განსაკუთრებით მაგნა ბორის, ლითიუმის, კადმიუმის, ლანთანოიდებისა და სხვა ელემენტების მინარეგები, რომლებიც თბური ნეიტრონების წატყების მაღალი კვეთით ვანირჩება.

ლითონური ურანის მღების საწყის ნედლეულს, როგორც წესი, ოთხფთორიანი ურანი (UF_4) წარმოადგენს. მის მისაღებად, ძირითადად, გამოიყენება ტექნოლოგიური სქემები, რომლებიც შემდეგ ეტაპებისგან შედგება:

- საწყისი ნაერთის აზოტმჟავაში გახსნა და $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ -იანი ხსნარის მიღება;

- ურანის ექსტრაქცია ორგანული გამხსნელებით;
- ორგანული ფაზიდან ურანის ამოღება წყალხსნარებით;
- ხსნარებიდან ურანის გამოლეკვა ზეჟანგის ნაერთის ($UO_4 \cdot 2H_2O$) სახით;
- ურანის ზეჟანგის დამლა და UO_3 -ის მიღება;
- ურანის სამეანგის (UO_3) აღდგენა ორგანგამლე (UO_3);
- ურანის ორგანგვიდან ოთხფთორიანი ურანის მიღება.

სხვადასხვა ვარიანტით ურანის ნაერთების რაფინირების საერთო სქემა, რომელიც ურანის სუფთა სამეანგის მიღებას ითვალისწინებს, III.138. სურათზეა წარმოდგენილი.



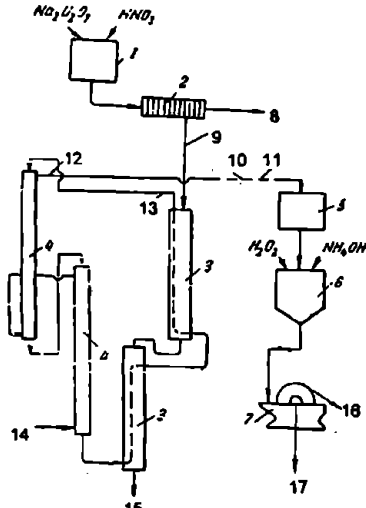
სურ. III.138. ტექნიკური სისუფთავის ურანის ნაერთების რაფინირების ვარიანტების ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ურანის გასუფთავებული სამეანგის მიღებას ითვალისწინებს.

ნებისმიერ ტექნოლოგიურ სქემას, როგორც წესი, თან ახლავს ელექტრაქციით გასუფთავების ეტაპი. ზოგჯერ ურანის ზეჟანგის გამოლევის პროცესი (როგორც გასუფთავების დამატებით ეტაპი) არ გამოიყენება. ამ შემთხვევაში, ურანის გამოლევა ელექტრაქციით გასუფთავებულ აზოტმეფა ხსნარიდან ხსნარის გამოორთქლებით ხორციელდება. გამოორთქლების შედეგად ურანი გამოიყოფა $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ -ის კრისტალოჰიდრატის სახით. შემდგომ საფეხურზე კრისტალოჰიდრატის თერმული დამშლელი UO_3 მიიღება. მეორე მეთოდის მიხედვით ხსნარიდან ურანი გამოიყოფა ამონიუმის დიურანატის სახით, რომლის შემდგომი გარდაქმნით ჯერ ურანის ოქსიდი წარმოიქმნება, ხოლო შემდეგ ოქსიდიდან ოთხფთორიანი ურანი მიიღება.

ურანის ზეჟანგის გამოლევის ან, უშუალოდ, ურანილის ნიტრატის გამოყოფის შემთხვევაში, ხსნარების გამოორთქლებით შესაძლებელი ხდება აზოტმეფას მნიშვნელოვანი ნაწილის რეგენერაცია და HNO_3 -ის ორთქლისა და აზოტის ოქსიდების დაჭერა (სურ. III.138.).

ნაწიხი ნაერთების კონცენტრირებულ აზოტმეფაში გახსნის პროცესი სახურებლებით აღჭურვილ უჯანგავი ფოლადის შემრევე კოდში ტარდება. კოდი (სიღრმე — 2,2 მ-ია, ხოლო დიამეტრი 3 მ) ევრტიკალური ტიპის ტიპით დაყოფილია კვადრატული ფორმის ოთხ კამერად. აზოტმეფაიანი პულსა,

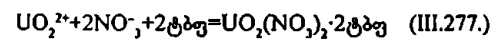
რომელიც $100^{\circ}C$ -მდე გახურებული, თანმიმდევრულად გადაედინება კამერიდან კამერაში. მეოთხე კამერიდან გახურებული პულსა გადადის საცივარში, სადაც პულსის ტემპერატურა $40^{\circ}C$ -მდე ვარდება. ფილტრაციის შედეგად მიღებული ურანილ-ნიტრატის ხსნარი, რომელიც $200-370$ გ/ლ ურანსა და რიგ მინარეგებს შეიცავს, ელექტრაქციის უბანზე გადაიტუმბება.



13.2.1. რაფინირება ელექტრაქციით

ურანის ღრმა გასუფთავება მინარეგებისგან ხორციელდება ურანილნიტრატის ორგანული გამხსნელებით ელექტრაქციის პროცესში. ვინაიდან, მომდევნო გადამუშავების პროცესებში ურანის გასუფთავების ხარისხი მნიშვნელოვან ცვლილებას არ განიცდის, ელექტრაქციის პროცესი ურანის ამოღების მაღალი სელექტურობით (შერჩევითობით) უნდა გამოირჩეოდეს.

ურანილნიტრატის მიმართ მაღალი საელექტრაქციო შერჩევითი უნარით ხასიათდება ფართოდ გაერეული ელექტრაქენტი — ტრიბუტილფოსფატი — $(C_6H_5)_3PO_4$. ამ ორგანული ნერთის გამოყენების დროს მხოლოდ ზოგიერთი მინარეგები (Ce^{4+} , Zr^{4+} , Th^{4+}) განიცდის ელექტრაქირებას ურანილნიტრატთან ერთად. გაუხავებელ ტბე-ში (ტრიბუტილფოსფატში) ურანილნიტრატის ხსნალობა 400 გ/ლ შეადგენს (ურანის მიხედვით). ელექტრაქენტის სიმკვრივისა და სიბლანტის შემცირების მიზნით, პრაქტიკაში იგი გამზავებულთან (ნავთი, დიბუტილიანი ეთერი) ირევა და ისე გამოიყენება. ურანილნიტრატისა და ელექტრაქენტის ურთიერთქმედების რეაქცია შემდეგნაირად გამოისახება:



ტრიბუტილფოსფატის სისუფთავეს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. იგი არ უნდა შეიცავდეს მინარეგების სახით მონო და დიბუტილფოსფატებს, წინააღმდეგ შემთხვევაში, გამხსნელის (ტბე) შერე-

სურ. III.139. ნატრიუმის დიურანატის ელექტრაქციით გასუფთავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

- 1 ნატრიუმის დიურანატის გახსნის კოდი;
- 2 ფილტრ-პრესი;
- 3 საელექტრაქციო სვეტები;
- 4 რეექტრაქციის სვეტები;
- 5 ურანილნიტრატის გასუფთავებული ხსნარების შეკრები;
- 6 ურანის ზეჟანგის სალექსი კოდი;
- 7 დოლოური ვაკუუმ-ფილტრი;
- 8 სილიციუმეფა;
- 9 კონცენტრირებული ურანილნიტრატის ხსნარი;
- 10 გამოლევა;
- 11 კონცენტრირებული ურანილნიტრატის ხსნარი;
- 12 გასუფთავებული ურანილნიტრატის ხსნარი;
- 13 ურანილნიტრატის ხსნარი ტრიბუტილფოსფატში;
- 14 რეგენერირებული ტრიბუტილფოსფატი;
- 15 ელექტრაქციის შედეგად მიღებული წყალხსნარი (გ/ლ U);
- 16 ურანის ზეჟანგის ნალექი ($UO_3 \cdot xH_2O$);
- 17 საერისი ფილტრატა.

ეთობა ქვეითდება და მინარევების ექსტრაქცია იზრდება. პრაქტიკაში, როგორც წესი, ურანის ექსტრაქციით გასუფთავების დროს ტბუ-ისა და ნათის ნარევი (ნარევი ტბუ-ის შემცველობა 15-დან 40%-მდე იცვლება) გამოიყენება.

საფრანგეთის ერთ-ერთ ქარხანაში (ბუშე) ურანის ექსტრაქციით გასუფთავება ნაკადების წინაღობის პრინციპით ხორციელდება უეანგვი ფოლადისგან დამზადებულ ორსაქმიან სვეტში. გადამამუშავებელი ურანილინტრატის საწყისი ხსნარები 370 გ/ლ ურანს შეიცავს. ტრობუტოლოვოსფატი 40 %-მდეა გაზავებული უსუნო ნაეთი. ურანის თითქმის მთლიანი რაოდენობა ექსტრაქცირდება ორგანულ ფაზაში. ექსტრაქტიდან ურანის ამოღება (რეექსტრაქცია), ანუ მისი გამოყენება (გამორეცხვა) იგივე ტიპის სვეტებში ტარდება აზოტმჟავათი შემფავებული დისტილირებული წყლით. მიღებულ ურანილინტრატის სუფთა ხსნარში ურანის კონცენტრაცია ~70 გ/ლ შეადგენს. ექსტრაქციით გასუფთავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.139. სურათზე.

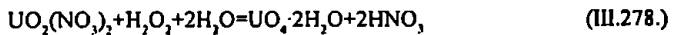
13.2.2. ურანილინტრატის ხსნარებიდან ურანის გამოყოფა და ურანის ხამყანგებ მღღება

ურანი წარმოქმნის ნაკლებად ხსნად ზეუანგის ჰიდრატს ($UO_2 \cdot 2H_2O$), რომელიც სუსტმჟავა ხსნარიდან გამოლეკეას განიცდის. ზეუანგის წყალში ხსნადობა 20°C-ზე 0,0061 გ/ლ (UO_2 -ის შემცველობის მიხედვით), ხოლო 90°C-ზე 0,0084 გ/ლ შეადგენს.

ზეუანგის გამოლეკეის დროს ურანი სუფთავდება რიგი ელემენტებისგან (მაგალითად, ნატრიუმის, მანგიუმის, კალციუმის, ალუმინის, იმეითმიწა ლითონების, კობალტის, მანგიუმის, სპილენძისა და კადმიუმისაგან). ურანთან ერთად ხსნარიდან მხოლოდ თორიუმი, ცირკონიუმი და ჰაფნიუმი ილეკება.

ურანის ზეუანგის სრული გამოლეკეისთვის განსაზღვრული პირობების (ხსნარის pH-ის, დამლეკეის სიჭარბე, ურანის კონცენტრაცია ხსნარში, ხსნარის ტემპერატურა) დაცვა საჭირო.

ზეუანგის გამოლეკეა შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



ვინაიდან დალეკეის დროს აზოტმჟავა გამოიყოფა, აუცილებელია მჟავიანობის რეგულირება (ამიაკური წყლის საშუალებით ხსნარის განეიტრალებით ან აირადი ამიაკის ხსნარში გატარებით).

ურანის ზეუანგის გამოლეკეა მექანიკური შემრეებით აღჭურვილი უეანგვი ფოლადის აპარატებში ტარდება. ხსნარს, რომელიც 40-50°C-მდეა გამობარი, ზეუანგი (პერპოდროლი) ემატება (თეორიულთან შედარებით 100%-ის სიჭარბით).

საწყის ხსნარში ურანილინტრატის 60-100 გ/ლ კონცენტრაციისა და pH-ის მანყენებლის 1-3 ფარგლებში შეკაეების დროს ნალექში ურანის 99,9% გადადის.

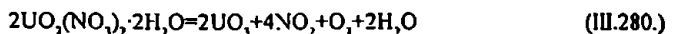
ზოგჯერ გამოლეკეა უფრო კონცენტრირებული ხსნარებიდან [-300 გ/ლ $UO_2(NO_3)_2$] ხდება. მაღალი კონცენტრაციის ხსნარების მიღება გამოლეკეით ხორციელდება (გამოლეკეას ექვემდებარება რეექსტრაქცირებული ხსნარი). გამოლეკელი ზეუანგის გარეცხვის, გაფილტრვისა და შრობის შემდეგ, მისი 400-500°C-ზე გახურებით იგი ურანის სამყანგად გარდაიქმნება:



თერმული დაშლის პროცესი გვირახისებრ საშრობში ტარდება.

ექსტრაქციით გასუფთავებისა და ურანის ზეუანგის გამოლეკეის პროცესების შეხამებით მაღალი სისუფთავის ურანის სამყანგი მიიღება. მინარევების მიახლოებითი შემცველობა (%-ში) მასში შეადგენს: Fe-1,5·10⁻⁴; Cd-2·10⁻⁵; Mn-3·10⁻⁵; Cu-3·10⁻⁵; Ni-2·10⁻⁵; Mo-3·10⁻⁵; Cr-4·10⁻⁵.

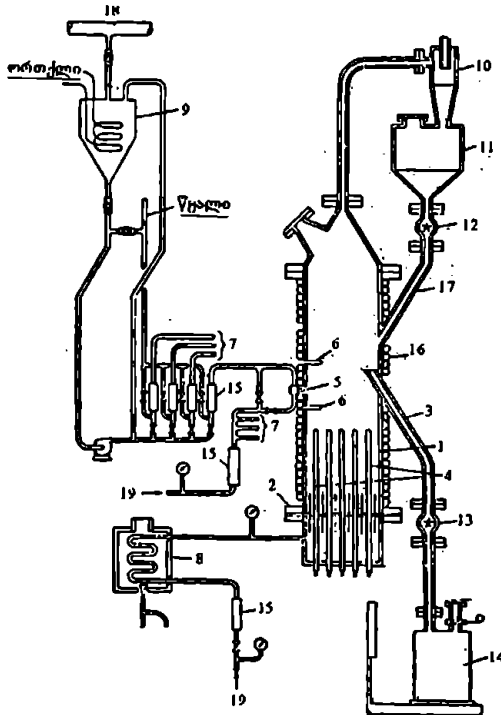
ზოგიერთ ტექნოლოგიურ სქემაში ზეუანგის გამოლეკეის ოპერაცია არ გამოიყენება. სამაგიეროდ, ხსნარის გამოორთქლით ხსნარიდან ურანილინტრატი გამოიყოფა. გამოორთქლის პროცესში, თავდაპირველად, კრისტალდება $UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ -ის ჰექსაჰიდრატი, რომელიც გახურების პროცესის გაგრძელებით ჯერ სამჰიდრატად [$UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$] გარდაიქმნება, ხოლო შემდეგ დიჰიდრატი [$UO_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$] წარმოიქმნება. მომდევნო საფეხურზე დიჰიდრატი თერმულ დაშლას ექვემდებარება 300-400°C-ზე და დაშლის შედეგად ურანის სამყანგი მიიღება:



ხსნარების გამოლექვისა და ნიტრატის დაშლის დროს გამოყოფილი აზოტმჟავას და აზოტის ოქსიდის ორთქლი, აზოტმჟავას მიღების მიზნით, რეგენერაციას განიცდის.

ურანილინიტრატის თერმული დაშლის უწყვეტი პროცესი, რომელიც UO_3 -ის მიღებას ითვალისწინებს, შეიძლება მდულარე ფენაში განხორციელდეს. ურანილინიტრატის მდულარე ფენაში დაშლის აპარატის სქემა ნაჩვენებია III.140. სურათზე.

მდულარე ფენაში, რომელიც ურანის სამკანგის ნაწილაკებისგან შედგება, ურანილინიტრატის ხსნარის შემსახუნება ხდება ფრქვევანათი, რომელსაც ხსნარი და ჰაერი მიეწოდება გასაფრქვევად. წარმოქმნილი ურანის სამკანგი უწყვეტად განიდეენება აპარატის გადასაშვები მილიდან, რომელიც მდულარე ფენის ღონეზუა განლაგებული. ურანილინიტრატის ხსნარი წინასწარ თბება ორთქლით სახურებელი კლანილათი. ცხაურის ქვემოდან მიწოდებული ჰაერი, რომელიც მდულარე ფენას წარმოქმნის, წინასწარ ხურდება აირის კალორიფერში. აპარატის ცილინდრულ შახტს გარეგანი გამხურებელი გააჩნია. გარდა ამისა, უშუალოდ მდულარე ფენაში შეყვანილია უფანგავი ფოლადის შალითებში ჩასმული ელექტროგამხურებლები. აპარატიდან წარმაველი აირები, ციკლონში გაულისას, სუფთაუდება მექანიკურად წატაცებული ნაწილაკებისგან. ერთი ტონა ურანილინიტრატის გადასამუშავებლად 2 ტ ჰაერი იხარჯება. აპარატიდან გამოსული UO_3 -ის ყვითელი ფხვნილი ჩაღის შემკრებ ბუნკერში, საიდანაც იგი შემდეგ ეტამზე გადასამუშავებლად იგზავნება.



სურ. III.140. ურანილინიტრატის მდულარე ფენაში დაშლის აპარატის სქემა.

1. აპარატის კორპუსი
2. პარამასწილებელი ცხაურა
3. ურანის სამკანგვანი გადასატყორთი მილა
4. შუა ელექტროგამხურებლები
5. ურანილინიტრატის ხსნარის გასაშვვი ფრქვევანა
6. თერმოწყველება
7. გასაშვვი ფრქვევანის შიდაგაყვანლობა
8. პარამასწილებელი კალორიფერი
9. ურანილინიტრატის ხსნარის მასაწოდებელი სუქრები ორთქლითი სუქობით
10. ციკლონი
11. ფხვნილის დასატყორთი ბუნკერი
12. და 13. სქემა
14. ურანის სამკანგის მიხლები
15. ხარკისაშვები
16. ვარე გამხურებლები
17. დატყორთი ფხვნილის უკუქვევის მილა
18. ურანილინიტრატის მასაწოდებელი მილა
19. პარამასწილებელი

13.2.3. ოთხფთორიანი ურანის მღებვა

ოთხფთორიანი ურანის მღებვის მეთოდები ორ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს. პირველი ჯგუფის მეთოდების ხსნარების გაუწყლოებით ჰიდრატირებული ფთორიდების გამოლეკვას ითვალისწინებს, ხოლო მეორე ჯგუფის მეთოდები ფთორიანი რეაგენტების ურანის ორჟანგის დაფთორება ხდება.

პირველი ჯგუფების მეთოდები ტეტრაფთორიდის მღებვის პროცესები დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული და, ამასთან, ხშირად ვერ უზრუნველყოფს ხარისხიანი პროდუქტის მღებვას.

საწარმოო პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული ურანის ტეტრაფთორიდის მღებვის მეორე ჯგუფის მეთოდები, რომლებშიც, მეთორავი რეაგენტების სახით, როგორც წესი, ფთორწყალბადი ან ამონიუმის ბიფთორიდი (NH_4HF_2) გამოიყენება. დაფთორვას მხოლოდ ურანის ორჟანგი ექვემდებარება და ამიტომ დაფთორვის წინ UO_2 წყალბადით აღდგენას განიცდის:



რეაქცია ეგზოთერმულია და $450-600^\circ\text{C}$ -ის ფარგლებში დიდი სიჩქარით ვითარდება. წყალბადის ნაცვლად, ზოგჯერ გამოიყენება წყალბადის და აზოტის (აზოტი ამიაკის კატალიზური დაშლით მიიღება) ნარევი. წყალბადის აზოტით გაზავება აღდგენის ეგზოთერმული რეაქციის ტემპერატურის რეგულირებას აადვილებს. აღდგენის პროცესის აპარატურული გაფორმება მჭიდროდ არის დაკავშირებული მომდევნო დაფთორვის პროცესთან.

პრაქტიკაში დაფთორვისთვის უფრო ხშირად გამოიყენება ფთორწყალბადი.

ფთორწყალბადისა და ურანის ორჟანგის ურთიერთქმედებით ეგზოთერმული რეაქცია ვითარდება:



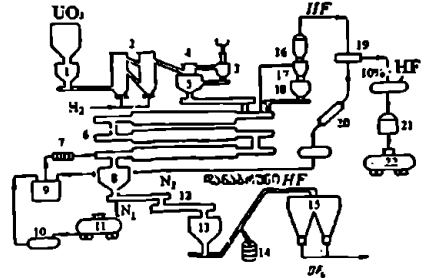
დაფთორვის პროცესი $430-600^\circ\text{C}$ -ზე ტარდება. კონაიდან დაფთორვის რეაქცია ეგზოთერმულია, სარეაქციო ტემპერატურის უზრუნველყოფა აპარატის გაცივებით ან ლუბულში შუბავალი ფთორწყალბადის აზოტით გაცივების გზით ხორციელდება.

აღდგენისა და დაფთორვის პროცესების ჩასატარებელი აპარატები ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. ამ პროცესების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია III.141. სურათზე.

ურანის სამჟანგის UO_2 -მდე აღდგენა მდურარე ფენის ორკამეროვანი აპარატში ტარდება (სურ. III.142.). ერთმანეთთან დაკავშირებული კამერები უფანგავი ფოლადისგან (დიამეტრი 350 სმ, სიმაღლე 2 მ) მზადდება. სკედავის მეშვეობით ურანის სამჟანგი პირველ კამერაში ხვდება. ნაწილობრივ აღდგენილი მასალა გადასასუები მილით პირველი კამერიდან გადაედინება მეორეში, სადაც საბოლოო აღდგენა ხდება.

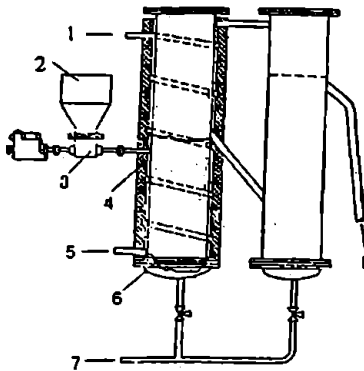
მღებვის ქცევა ნაწილში დამონტაჟებულ პერფორებულ ფილებში გავლით ორივე კამერაში აზოტისა და წყალბადის ნარევი შედის. აღმაული ნარევის ნაკადი ყოველ კამერაში მდურარე ფენას ქნის. ნარევი წყალბადისა და აზოტის თანაფარდობა შესაბამისად 3:1-დან 9:1-მდე ფარგლებშია. რეაქტორში შემავალი ნარევი აირის სიჩქარე ურანის სამჟანგის ნაწილაკების ზომებზე და რეაქტორში მათი მსწოდების სიჩქარეზე დამოკიდებული და 0,24-დან 0,45-მ/წმ-დე იცვლება.

კამერები აღჭურვილია ელექტროგამხურებლებით. ტემპერატურა რეგულირდება სითბოს არინებით, რაც კამერაზე გარემორტყმულ კლავილაში



სურ. III.141 ურანის სამჟანგის აღდგენისა და UO_2 -ის დაფთორვის აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა.

1 პერფორებული ბუნკერი 2 მდურარე ფენაში UO_2 -ის აღდგენის ორკამეროვანი აპარატის 3. II. ციკლიონება; 4. წყალბადის გაზობანაქება და წყბ მსწოდებისა; 5. ურანის ორჟანგის (UO_2) შეკვრები ბუნკერი 6. დაფთორვის აპარატის 7. შეშობიბა 8. II ურანის ტეტრაფთორიდის ბუნკერი 9. საერთო-ლეპელი; 10. ფთორწყალბადის რეზერვუარი 11. უწყლო HF-ის ცისტერნა; 12. საცავი უწყლო HF-ის ცისტერნა; 13. ტეტრაფთორიდის ასწილი ბუნკერი 14. შეუთვია 15. ურანის ტეტრაფთორიდის შეკვრები ბუნკერი 16. ფილტრი 17. კონდენსატორი — 70°C -თან HF-ის ორსიხის კონდენსატორი; 18. უწყლო HF-ის საკონდენსატო საიტება; 19. რეზერვუარი 20. ფთორწყლის ცისტერნა



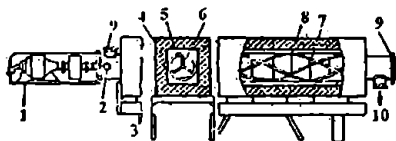
სურ. III.142. ურანის სამყანგის (UO₂) მდულარე ფენას ადღეცენის ორგანოზიანი აპარატის სქემა.

1. ორთქლის შესასვლელი; 2. ურანის სამყანგის ბუნკერი; 3. შეკვბავი; 4. ელექტრო-ღუმელი; 5. ორთქლის გასასვლელი; 6. პერფორირებული ფლაი; 7. აირის შესასვლელი; 8. ურანის ორთქლის (მთქმაროთბა ვერ ციკლონსკენ, ხალია შემდეგ ბუნკერში ჩადის).

წინასწარ 80-120°C-მდე გახურებული აირადი HF ქვედა აპარატს მიეწოდება (სურ. III.141.) ქვედა აპარატიდან HF-ის ორთქლი მასალის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მიედინება და სამდე აპარატის ვალით ჯერ ციკლონში, ხოლო შემდეგ გრაფიტის ფულტრში გადის. შემდეგ წყლის ორთქლის შემცველი HF შედის კონდენსატორში, სადაც 68°C-მდე ცივდება და 70%-ან ფთორმეფავს წარმოქმნის. ჭარბი უწყლო HF დაბალ ტემპერატურაზე კონდენსაციის შემდეგ პროცესს უბრუნდება.

დაფთორვის ტემპერატურა აპარატის UO₂-ის შესასვლელთან 290-340°C-ია, ხოლო UF₄-ის გამოსასვლელთან - 540-590°C. დანადგარის მწარმოებლურთა საათში 660 კგ UF₄-ია მიღებული პროდუქტი (მწკანე მარილი) 95-96% UF₄-სა და 1,8-2% UO₂F₂-ს შეიცავს.

ზარისხიანი ურანის ფთორიდი შეიძლება დამზადდეს ურანის ორგანგის ამონიუმის ბიფთორიდთან ურთიერსიმკვებით და რეაქციის შედეგად მიღებული ორმაგი ფტორიდის ვაკუუმში თერმული დაშლით.



სურ. III.143. ურანის ტეტრაფთორიდის (UF₄) მოსაღები აპარატი მასალის გადასაადგი-ლებელი შესყავა.

1. მასალის მისაწოდებელი ხერხი; 2. ძრავა; 3. აბრეშის ცხასსვლელი; 4. ღუმელი; 5. აპარატის კონსტრუქცია; 6. ვანსმჯენები; 7. დენტურა შესყავი; 8. ფრთები - გამცხვებში (დამშლელება); 9. აირის მისაღება; 10. ფუნქციის გასასვლელი.

ორთქლის გატარებით ხორციელდება. მდულარე ფენაში ტემპერატურა 540-620°C-ის ზღერებშია შეკავებული. მასალის მიწოდების სიჩქარე საწყისი ურანის სამყანგის „ხასიათზე“ დამოკიდებული და 250-დან 540 კგ/სთ-მდე იცვლება. წარმატალი აირების ნარევი (აზოტის, წყალბადის და წყლის ორთქლის ნარევი) ურანის ორგანგთან ერთად ჯერ ბუნკერში გადადის, ხოლო შემდეგ - ციკლონში. აირების გადასასვლელში წყალბადის დაწვა ხდება (სურ. III.141, 4). ბუნკერში შეკრებილი ადღეცენილი ორგანგე გადადის დაფთორვაზე, რომელიც ტარდება სამ, ერთმანეთთან მიმდებარებით შეერთებულ და ერთმანეთზე განლაგებულ ჰორიზონტალურ აპარატებში, რომლებიც მასალის გადასაადგილებელი შნეკებითაა აღჭურვილი. აპარატი შნანდნობ ინკონელიდან არის დამზადებული (ინკონელის შესადგენლობაში შედის 72,7%-Ni, 15%-CR, 7%-Fe; 1%-Nb, 2,5%-Ti, 0,7%-Al, 0,7%-Mn, 0,4%-Si, <0,05%).

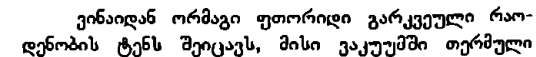
აპარატი (სურ. III.143.), 400 მმ-ან დიამეტრის მქონე მილს (სიგრძე ~6მ-ია) წარმოადგენს. მილში ჩამოტანებულია შნეკური მოწყობილობა. მილი ელექტრო-ღუმელით ხურდება. დაფტორვის დროს რეაქტორი (მილი) მხოლოდ პროცესის დასაწყისში ხურდება ლემელით, შემდეგ კი პროცესი ეგზოთერმული რეაქციის სითბოს ხარჯზე წარიმართება.

წინასწარ 80-120°C-მდე გახურებული აირადი HF ქვედა აპარატს მიეწოდება (სურ. III.141.) ქვედა აპარატიდან HF-ის ორთქლი მასალის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მიედინება და სამდე აპარატის ვალით ჯერ ციკლონში, ხოლო შემდეგ გრაფიტის ფულტრში გადის. შემდეგ წყლის ორთქლის შემცველი HF შედის კონდენსატორში, სადაც 68°C-მდე ცივდება და 70%-ან ფთორმეფავს წარმოქმნის. ჭარბი უწყლო HF დაბალ ტემპერატურაზე კონდენსაციის შემდეგ პროცესს უბრუნდება.

დაფთორვის ტემპერატურა აპარატის UO₂-ის შესასვლელთან 290-340°C-ია, ხოლო UF₄-ის გამოსასვლელთან - 540-590°C. დანადგარის მწარმოებლურთა საათში 660 კგ UF₄-ია მიღებული პროდუქტი (მწკანე მარილი) 95-96% UF₄-სა და 1,8-2% UO₂F₂-ს შეიცავს.

ზარისხიანი ურანის ფთორიდი შეიძლება დამზადდეს ურანის ორგანგის ამონიუმის ბიფთორიდთან ურთიერსიმკვებით და რეაქციის შედეგად მიღებული ორმაგი ფტორიდის ვაკუუმში თერმული დაშლით.

ორმაგი ფთორიდი, UO₂-ისა და NH₄HF₂-ის ნარევის 125°C-ზე გახურებით მიიღება:



ენიდან ორმაგი ფთორიდი გარკვეული რაოდენობის ტენს შეიცავს, მისი ვაკუუმში თერმული დაშლის დროს ჩანატვირთის ზედა ფენებში შესამლებელია UF₆-ის ნაწილობრივი ჰიდროლიზი. მიუხედავად იმისა, რომ ამ მეთოდით ზარისხიანი ურანის ფთორიდი მიიღება, იგი ურანის ორგანგთან HF-ით პირდაპირ დაფთორვასთან შედარებით გაცილებით რთულია.

ნებისმიერი მეთოდით მიღებული ურანის ტეტრაფთორიდი (UF₄), რომელიც ლითონის მისაღებადა

გათვალისწინებული, 2%-ზე მეტ UO_2F_2 -ს არ უნდა შეიცავდეს. მიღებულ პროდუქტში (UF_4) მინარევების ზღვრული შემცველობა შეადგენს: $35 \cdot 10^{-4}\%$ -Fe; $15 \cdot 10^{-4}\%$ -N; $6 \cdot 10^{-4}\%$ -Cr; $3 \cdot 10^{-4}\%$ -Cu.

13.3. ლითონური ურანის მიღება

ლითონური ურანის სამრეწველო მასშტაბებში წარმოების ორგანიზაცია ატომური ტექნიკის განვითარებას უკავშირდება. ურანის ქიმიური ნაერთების (ოქსიდების, ჰალოგენიდების) სიმტკიცისა და ყველაზე გავრცელებულ აირებთან (აზოტი, წყალბადი, წყლის ორთქლი, ნახშირბადშემცველი აირები) ლითონური ურანის აქტიური ურთიერთქმედების გამო, ურანის აღდგენისა და დნობის პროცესები ინტენსიური აირების გარემოში და ვაკუუმში ტარდება.

ლითონური ურანის მიღების შემდეგი მეთოდებია ცნობილი:

- ჰალოგენიდების მარილების მაგნიუმით ან კალციუმით აღდგენა;
- ურანის ოქსიდების მაგნიუმით ან კალციუმით აღდგენა;
- გამძნარ მარილებში ჰალოგენიდების ელექტროლიზი.

ოქსიდების აღდგენისა და ჰალოგენიდების ელექტროლიზის შედეგად ფუნქციონირებს ლითონური ურანი მიიღება. აღდგენილი ურანი ოქსიდისგან ან ჰალოგენიდის მარილისგან განცალკევებას საჭიროებს. განცალკევების პროცესი პროდუქტების წყალში ან გაზაზეულ მფავაში დამუშავების გზით ხორციელდება. ჰალოგენიდების ლითონურებში აღდგენით კი ურანი ზოდის სახით მიიღება და ამასთან წილისგან ადვილად ცალკევდება, რაც ამ მეთოდს დიდ უპირატესობას ანიჭებს. ამიტომ პრაქტიკაში ლითონური ურანის მიღების ეს მეთოდია ფართოდ გავრცელებული.

აღდგენის პროცესში საწყისი ნედლეულად როგორც ქლორიდის (UCl_4), ასევე ფთორიდის (UF_4) გამოყენება შეიძლება. ფთორიდისგან განსხვავებით, ურანის ქლორიდი ჰეროსკოპულია, რაც საწარმოო პირობებში მის გადაშენებას ართულებს. გარდა ამისა, ვინაიდან ურანის ქლორიდი $800^\circ C$ -ზე იწყებს დუღილს, აღდგენის პროცესის ჩატარება აუცილებელია ბოზის ტიპის პერმეტულ აპარატში. ამიტომ წარმოებაში ლითონური ურანის მისაღებად, ძირითადად, ურანის ტეტრაფთორიდი გამოიყენება.

თერმოდინამიკური თვალსაზრისით, ურანის ოქსიდების და ჰალოგენიდების აღმდგენებს კალციუმი და მაგნიუმი განეკუთვნება. კალციუმი უფრო ძლიერი აღმდგენია, ვიდრე მაგნიუმი, ხოლო მაგნიუმი, კალციუმთან შედარებით, უფრო იფხა. კალციუმისგან განსხვავებით, მაგნიუმის დუღილის ტემპერატურა ($1105^\circ C$) წილის დნობის ტემპერატურაზე (MgF_2 , $1260^\circ C$ -ზე დნება) დაბალია. ამიტომ მაგნიუმით აღდგენის პროცესი აუცილებლად დახურული ტიპის აპარატში წნევის ქვეშ უნდა ჩატარდეს.

მაგნიუმთან დაკავშირებული სიძნელების მიუხედავად, კალციუმთან შედარებით, მაგნიუმი, როგორც აღმდგენი, უპირატესობით გამოირჩევა. იგი უფრო მდგრადია ჰერზე. წარმოებაში გამოშვებული მაღალი სისუფთავის მაგნიუმი, კალციუმთან შედარებით, გაცილებით ნაკლები რაოდენობით შეიცავს ურანისთვის მავნე მინარევებს. კალციუმთან შედარებით, მაგნიუმის წონითი ხარჯი ერთ ტონა ურანზე 1,6-ჯერ ნაკლებია, ვინაიდან მას უფრო ნაკლები უთრი წონა გააჩნია.

ინგლისში და აშშ-ში უმთავრესად მაგნიუმი გამოიყენება აღმდგენად, საფრანგეთში კი - კალციუმი.

13.3.1. ურანის ფთორიდის აღდგენა მაგნიუმით და ლითონური ურანის მიღება

ურანის ტეტრაფთორიდისა და მაგნიუმის ურთიერთქმედების შედეგად:



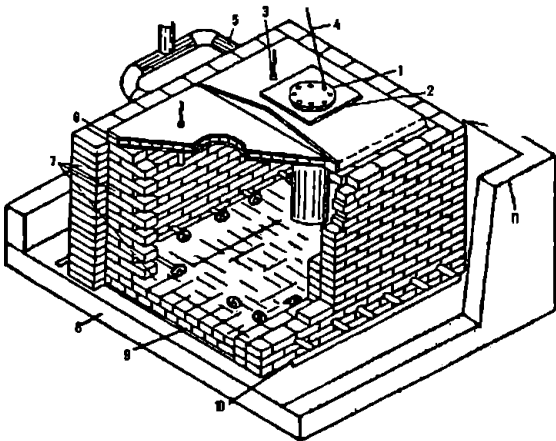
გამოყოფილი ეგზოთერმული სითბო არ არის საკმარისი რეაქციის (III.284.) პროდუქტების გასაღწობად. საჭირო ტემპერატურის მისაღწევად აუცილებელია კაზმიანი რეაქტორის მილიანად გახურება აალების ტემპერატურამდე (კალციუმით აღდგენის დროს საკმარისია ცეცხლის წაქიდება კაზმის ერთ უბანში).

აღდგენის პროცესი ტარდება ფოლადის რეტორტებში, რომლებიც ღუმელში ვერტიკალურად თავსდება. რეტორტა ფოლადის მილისგან (დიამეტრი 325 და 400 მმ-დე, ხოლო სიგრძე - 915-დან

1150 მმ-ზე) მზადდება. მილის ზედა ბოლოს გააჩნია მილტუჩი, რომელზედაც მაგრდება თავსახური.

რეტორტის შიგა ამონაგის სახით წარმატებით გამოიყენება ფთორიანი მაგნიუმის ნაღობი, რომელიც ურანის ტეტრაფთორიდის მაგნიუმით აღდგენის დროს წარმოიქმნება. ვინაიდან MgF_2 -ის დნობის ტემპერატურა შედარებით დაბალია, მისგან დამზადებული ამონაგი დოლომიტის ოქსიდების ნარევის ამონაგზე ორჯერ სქელია. ამონაგი მაგნიუმის ფთორიდის წმინდა ფხვნილის ჩაწენხით (შემკვრელის გარეშე) მზადება. აღდგენის პროცესის მაღალი სარეაქციო ტემპერატურის ($1650^{\circ}C$) გამო, ამონაგის ზედაპირი ნაწილობრივ გაღვზობას განიცდის, თუმცა, ეს აღდგენის შედეგზე ზეგავლენას არ ახდენს.

აღმდგენად გამოიყენება ვაკუუმში სილიკოთერმული აღდგენით მიღებული ცილინდრული ფორმის მაგნიუმის ღეროები. მაგნიუმის ღეროების გამოყენების შემთხვევაში, აღდგენის პროცესი საუკეთესო შედეგებს იძლევა. ღეროები სხვადასხვა აპარატებში იმსხვრევა და დანებით ქუცმაცდება. ვაკრილი ფხვნილისებრი (ნაწილაკების სისხო 2 მმ-ს შეადგენს) მაგნიუმი UF_4 -თან ერთად შემრევეში ირევა და დამზადებული კაზმი (დაახლოებით 145 კგ-ის ოდენობით) რეტორტაში იტვირთება, ოდნავ იტკუნება და გრაფიტის დისკოები იხურება. დისკოს ზედა რეტორტის მოცულობა ამოსაღები



სურ. III.14.4. ურანის ფთორიდის (ტეტრაფთორიდის) მაგნიუმოთერმული აღდგენის არით სახურებელი ღუმელი.

1. რეტორტა (ბოძები); 2. შუასადები; 3. თერმოწყვილი;
4. საკონტაქტო მიკროფონით დაკავშირებული ინდიკატორის ღერი; 5. ბარების გასასვლელი ნ. თბოსაზოლიაციო ფენა უკანაგვი ფოლადის ფილებს შორის; 6. ციკლგამძლე აგური; 7. ბეტონის საფუძველი; 8. ქვიშა; 9. აირისა და ჰაერის მიწოდება; 10. იატაკის დონე.

და აღდგენილი ლითონური ურანის ნაღობების განცალკევების ხელსაწყოები პირობები იქმნება. ურანის ნაღობი ცალკე ფენის სახით რეტორტის ძირში ჩადის, ზოლო მის ზედაპირზე წილის ნაღობის ფენა გროვდება. პროცესის დამთავრების შემდეგ, რეტორტა ღუმელიდან ამოიღება და ჯერ $100^{\circ}C$ -მდე ჰაერზე ცივდება, ზოლო შემდეგ, ვაკიუმის დაჩქარების მიზნით, იგი წყლით შესხურებას ექვემდებარება. ლითონური ურანის ზოდი, რომელიც 100-დან 200კგ-მდე იწონის, ადვილად ცალკეება წილისგან. ურანის გამოსავლიანობა 98%-ს აღწევს.

დაცვის მიზნით (რეტორტის აუთოქების შემთხვევაში), ღუმელი ბეტონის კედლებით ამოვებულ ქაბულშია დამონტაჟებული (სურ. III.14.4.,11). ლითონური ურანის აღდგენის პროცესი მუდმივი აპარატურული გაუმჯობესებით სულ ვითარდება და უფრო სრულყოფილი ხდება. ზოგიერთ ქარხანაში ლითონის აღდგენისა და ზოდების ჩამოსხმის პროცესები გაერთიანებულ აპარატებში ტარდება.

მასალით (MgF_2) ივსება და მილტუჩაზე თავსახურავე მაგრდება. კაზმით დატვირთული რეტორტა არით სახურებელ ღუმელში (III.14.4.) თავსდება. რეტორტაში მაღალი წნევის განვითარების თავიდან აცილების მიზნით, მაგნიუმში 4-5%-ის სიჭარბით შეაქეთ კაზმში. კაზმის გასახურებლად ზოგჯერ წინაღობის ელექტროღუმელი გამოიყენება.

რეტორტის $500-700^{\circ}C$ -მდე გახურებას 3-4 საათი ესაჭიროება. რეაქციის განვითარების დასაწყისი (კაზმის აალება) ადვილად ფიქსირდება საკონტაქტო მიკროფონით, რომელიც რეტორტის თავსახურზე დამაგრებულ ინდიკატორის ღეროსთანაა (სურ. III.14.4.,4) მიერთებული. რეაქციის დაწყების მომენტში რეტორტის (ბოძების) შერევა შეინიშნება.

კაზმის აალებით ტემპერატურა სწრაფად იზრდება $1300^{\circ}C$ -მდე (აღმატება ურანის დნობის ტემპერატურას - $1132^{\circ}C$) და აღდგენის პროცესი ერთ წუთში მთავრდება. მაღალი ტემპერატურის განვითარებით წილისა (MgF_2)

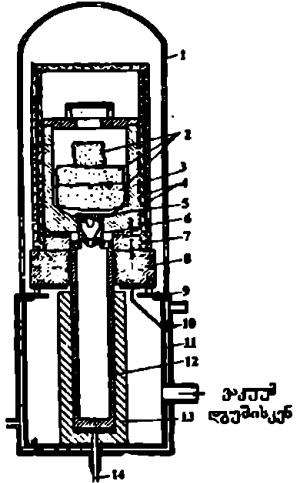
ლითონური ურანის მიღების სხვა მეთოდები (ურანის ფთორიდის ადღებენ კალციუმით, ურანის ოქსიდების ადღებენ კალციუმითა და კალციუმის ჰიდრიდით, ლითონის მიღება ელექტროლიზით) შეზღუდულად გამოიყენება წარმოებაში.

III.2. ლითონური ურანის დნობა

ფთორიდის ლითონთერმული ადღებით (მაგნიუმით ან კალციუმით) მიღებული ურანის ზოდები ვაკუუმში დნობას ექვემდებარება და ნაღობიდან სასურველი ფორმის ნაშთადები ჩამოისხება.

ურანის დნობა ვაკუუმურ ინდუქტორ ღუმელში ტარდება გრაფიტის ტიგლის გამოყენებით. დნობის პროცესში განიღვენება ნარჩენი მინარევები (მაგნიუმი ან კალციუმი, ფთორი). განიღვენება აგრეთვე წყალბადი და, ნაწილობრივ, აზოტი და ფანგბადი. ვაკუუმური ინდუქციური ღუმელის ერთ-ერთი კონსტრუქციის სქემა წარმოდგენილია III.145. სურათზე.

გრაფიტის ტიგელი ზურდება მოსახსნელი ინდუქტორით, რომელიც ჩამოკებულია ღუმელის კვარცხის ზუფზე (ინდუქტორი არ არის ნაჩვენები ნახაზზე - სურ. III.145.). ღუმელში ვაკუუმის შექმნისა და ლითონის გადნობის შემდეგ ურანის ნაღობი ბოცეში ჩამოისხება. გამდარი ურანი ვაკუუმში ნელა რეაგირებს მკერავ გრაფიტთან, ამიტომ დნობის შედეგად მიღებულ ლითონურ ურანში უმნიშვნელო რაოდენობით იზრდება ნახშირბადის მინარევი. გრაფიტი უვნებელ მინარევს წარმოადგენს რადგანაც იგი შეზღუდვების როლს თამაშობს ატომურ რეაქტორში. თუმცა ნახშირბადის შემცველობაზე უმნიშვნელოვანადაა დამოკიდებული ურანის მექანიკური თვისებები. ზოგჯერ ურანის დნობა ტარდება



სურ. III.145. ურანის საღობი ინდუქციური ღუმელი.

1 კვარცხის ხუფა 2 ურანი 3 გრაფიტის ტიგელი 4. ხალიძანტური გრანაზება 5. გრაფიტის სარქველი 6. ხარქველის ასაწევი მოწყობილობა 7. გრაფიტის საყრდენი 8. ხაიზოლაკით ცეცხლგამბლავი 9. ნეომრენის შუასადები 10. თერმოწყვილი 11. წყლით გაციება 12. გრაფიტის ბოცეა 13. ბოცეის დგარი 14. ბოცეის ასაწევი ღერო.

ცხრილი III.42.

ვაკუუმში მდნარი ურანის ტიპური ანალიზი მინარევების მიხედვით

მინარევი ელემენტები	შემცველობა
ნახშირბადი	$4 \cdot 10^{-2}$
წყალბადი	$1 \cdot 10^{-4}$
ქლორი	$5 \cdot 10^{-4}$
სილიციუმი	$5 \cdot 10^{-3}$
აზოტი	$5 \cdot 10^{-3}$
რკინა	$5 \cdot 10^{-3}$
მანგანუმი	$13 \cdot 10^{-4}$
ბორი	$< 2 \cdot 10^{-4}$
კადმიუმი	$< 2 \cdot 10^{-3}$
კრომი	$2 \cdot 10^{-3}$
მაგნიუმი	$5 \cdot 10^{-4}$
ვერცხლი	$< 1 \cdot 10^{-4}$
ნიკელი	$4 \cdot 10^{-3}$

ალუმინის ოქსიდისგან დამზადებულ ტიგელში, რომელიც, დაშლის თავიდან აცილების მიზნით, გრაფიტის ცილინდრში თავსდება. ამ შემთხვევაში, ტიგელსა და გრაფიტს შორის თანხების აცდენის მიზნით, მათ შორის ჩატანებულია მოლიბდენის თხელი ფურცელი.

ტიგლის ნაღობის გამოშვება და ბოცეში ჩამოსხმა ზორცილდება ტიგლის ძირში ჩაყენებული დისკური სარქველის (სურ. III.145.,5,6) გაღებით (სარქველი ბოცის აწევით იღება).

ურანის და მისი შენადნობების დნობა შეიძლება ჩატარდეს საციებელი სპილენძის ტიგელისა და სახარჯო ელექტროდებისგან შედგარ რკალურ ღუმელში.

მდნარი ურანის ტიპური ანალიზი, მინარევების მიხედვით, მოცემულია III.42. ცხრილში.

თავი 14. ცნებები იმ ზომიერად ლითონის თანაური აპოლუბის შესახებ. როგორცავე სპეციალური გარეგანი არ გაანგინა

ინდიუმის, გალიუმის და რენიუმის მინერალები არ არის ცნობილი. თალოუმის მინერალები ცნობილია, მაგრამ ბუნებაში იშვიათად მოიპოვება. ამ ლითონების კონცენტრაციის უნარი დედაშიწის ქერქში მხოლოდ სხვა ლითონების მინერალებთან ასოციაციას ეყარება.

გალიუმი, ინდიუმი და თალოუმი, როგორც წესი, თანამდევი ელემენტების სახით ტყვიისა და თუთიის სულფიდურ მინერალებშია წარმოდგენილი. როგორც ალუმინის უახლოესი ანალოგი, გალიუმი თან სდევს აგრეთვე ბოქსიტებს. იგი რკინის მადნებშიც გვხვდება. რენიუმი ბუნებაში ასოცირებულია მოლიბდენიტთან (MoS_2).

14.1. ინდიუმი

ინდიუმი (ლათ. — *indicum=indigo* — ბუნებრივი საღებავი, რომელიც ინდიგოს მცენარეიდან მიიღება) ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში. მისი გალვანური დანაფარების არეკვლის მაღალი უნარის გამო, იგი პროექტორებში გამოიყენება. ინდიუმის შენადნობების (სპილენძთან, კადმიუმთან, ვერცხლთან, ოქროსთან) დანაფარები ელფერების მთელ რიგ გამას წარმოქმნის, რაც საიუველირო საქმეში მათ გამოიყენება განაპირობებს. ზოგიერთი სასაქონლო შენადნობის მუშა ზღვაპირების ინდიუმით დაფარვა მათ გამძლეობასა და ზეთებისადმი კოროზიულ მდებარეობას ზრდის. ინდიუმის ეს თვისებები ავტო და საავიაციო ძრავების მშენებლობაში გამოიყენება.

ინდიუმი ერთ-ერთი კომპონენტია ნახევრად გამტარი ნაერთის ($InAs$) დასამზადებლად.

ინდიუმის შემცველობა დედაშიწის ქერქში 10^{-3} % (წონით) შეადგენს. იგი უპირატესად სულფიდურ მინერალებში კონცენტრირდება, ძირითადად, სფალერიტი (ZnS), აგრეთვე ქალკობრიტი ($CuFeS_2$) და ტყვიისა და თუთიის სულფოსტანატებისა და სულფონათომონიტების მინერალებში.

ინდიუმის ყველაზე მაღალი შემცველობა აღმოჩენილია კილინდრიტისა ($Pb_6Sb_2Sn_2S_7$) და ფრანკლიტის ($Pb_3Sb_2Sn_2S_7$) იშვიათ მინერალებში. ბოლივიის სანტა კრუზის საბადოს კილინდრიტი 0,1-დან 1,0%-მდე ინდიუმს შეიცავს.

ინდიუმის მიღების ძირითად წყაროს წარმოადგენს სფალერიტი ZnS , რომელშიც ინდიუმის შემცველობა 0,1-დან 0,0001%-მდე შედგება.

ტყვიისა და თუთიის წარმოებაში ინდიუმი კონცენტრირდება შუალედურ პროდუქტებსა და ნარჩენებში, საიდანაც მისი ამოღება ხდება.

თუთიის პირომეტალურგიაში ინდიუმი, როგორც ტყვიის უახლოესი ანალოგი, გამოწვის დროს ტყვიის მსგავსად იქცევა. დისტილაციის პროცესში იგი მნიშვნელოვნად ორთქლდება და თუთიასთან ერთად კონდენსირდება. თუთიის პირომეტალურგეული გადაშენებების დროს ინდიუმის მთლიანი რაოდენობა დაუნაღასებელ თუთიაში გადადის. თუთიის რექტიფიკაციით რაფინირების დროს ინდიუმი ე.წ. ტყვიის სეტიის ნარჩენში რჩება. ნარჩენის ლიკვაციით მასში ინდიუმის შემცველობა 0,6-1,2%-მდე იზრდება. ტყვიასთან შედარებით, ინდიუმის ნათესაური კავშირი ფანგბადთან უფრო დელია და ამიტომ ტყვიის ფანგვიით რაფინირების დროს ინდიუმი ნაშვში გადადის. ნაშვში, რომელიც 4-7%-მდე ინდიუმს შეიცავს, განავეებული ვოგირმფავათი მუშავდება. მგავა წყალხსნარში ინდიუმი დაცემენტებას განიცდის თუთიით. დაცემენტების შედეგად ხსნარიდან ინდიუმი გამოიყოფა. ლითონის საბოლოო გასუფთავება მისი მარილის წყალხსნარის ელექტროლიზით ხორციელდება.

14.2. თალოუმი

თალოუმის ოქსისულფიდისგან მზადდება ინფრაწითელი სხივებისადმი მგრძობიარე ფოტო-ელემენტი, რომელიც სიბნელეში „დანახვის“ საშუალებას იძლევა. თალოუმის ოქსიდინი მუშა გარდატეხის მაღალი კოეფიციენტი განიჩრევა, რაც ოპტიკურ მრეწველობაში და საიუველირო საქმეში მისი გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა. თალოუმის ტყვიასთან შენადნობი ანტიფორიქციული თვისებებით ხასიათდება, ხოლო თალოუმის, ტყვიისა და კალის შენადნობი კოროზიული მდებარეობით

განიჩევა. მაღალი ტოქსიკურობის გამო, თალიუმის მარილები მღრღნელების წინააღმდეგ ბრძოლასა და მედიცინაში გამოიყენება.

თალიუმის შემცველობა დედამიწის ქერქში $3 \cdot 10^{-4} \%$ (წონით) შეადგებს. ცნობილია თალიუმის რამდენიმე მინერალი: ლორანდიტი $Tl_2S \cdot Al_2S_3$; კრუკზიტი $Cu_2Tl_2Ag_2Se_6$; გეტროსონდიტი $PbS(AgTl)_2As_2S_3$; ერაბიტი $Tl_2S \cdot 2As_2S_3 \cdot Sb_2S_3$. თუმცა, ეს მინერალები იშვიათ მინერალებს განეკუთვნება და მათ არა აქვთ პრაქტიკული მნიშვნელობა.

თალიუმის მიღების ძირითად წყაროს სულფიდური მადნების (თუთიის, ტყეიის და სპილენძის მადნების) გადამუშავების შედეგად მიღებული ნახევარპროდუქტები და ნარჩენები წარმოადგენს.

თალიუმის ძირითადი რაოდენობა თუთიის ჰიდრომეტალურგოული გადამუშავების დროს თანაურად მიიღება. თუთიის ნეკლეულის წინასწარი გამოწვის შედეგებით დაბალი ტემპერატურის გამო, აირებთან ერთად თალიუმის უმნიშვნელო ნაწილი იკარგება. ნაწვის გამოტუტვის დროს თალიუმში, ძირითადად, ხსნარში გადადის. ხსნარიდან თალიუმში სპილენძთან და კადმიუმთან ერთად ილექება და სპილენძ-კადმიუმის კვში გროვდება. თალიუმის სანდელეულო წყაროს წარმოადგენს აგრეთვე სპილენძის კონცენტრატების გამოწვის დროს დაჭერილი მტვერი.

სპილენძ-კადმიუმის კეის გამოწვის დროს (კადმიუმის წარმოების დროს) თალიუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა ქროვდება. დაჭერილი მტვერი 3-5% თალიუმს შეიცავს. ნაწვეში დარჩენილი ლითონი კი ნაწვის გამოტუტვის დროს ხსნარში გადადის.

მტვერიდან თალიუმი გაზავეებული გოგირდმჟავათი გამოიტუტება და მიღებული ხსნარის ნატრიუმის ქლორიდით დამუშავების შედეგად გამოილექება ნაკლებხსნადი თალიუმის ქლორიდი (TlCl).

კადმიუმის წარმოების ხსნარებიდან თალიუმი გამოილექება ხსნარების სპილენძისგან გასუფთავების (დაცემენტებით) დროს.

თალიუმის ქლორიდის ნალექების გოგირდმჟავათი დამუშავების შედეგად თალიუმი სულფატში გადადის, ხოლო HCl აორთქლებას განიცდის. სულფატური ხსნარის სოლით დამუშავება ხსნარიდან კადმიუმისა და მბიმე ლითონების გამოლექვის შესაძლებლობას იძლევა, რითაც თალიუმში შემცველი ხსნარი სუფთავდება. ამ გზით თალიუმში შემცველი ხსნარის გასუფთავება, თალიუმის კარბონატის წყალში სერჯი ხსნადობის გამოა შესაძლებელი.

საპოლიო პროდუქტის სახით გოგირდმჟავა მარილის კრისტალები ან სუფთა ლითონი გამოიყოფა (ლითონი თუთიით დაცემენტების შედეგად მიიღება). შემდგომ ეტაპზე ლითონური თალიუმის ხის ნახშირის ან ტუტეს ფენის ქვეშ დნობას ექვემდებარება. სახელწოდება „თალიუმი“ წარმოიქმნა ბერძნულიდან – thallos – მწვანე ყლორტი (thallo ყვავილის მწვანე ყლორტი).

14.3. გალიუმი

გალიუმის დნობისა (30°C) და დუღილის (2241°C) წერტილების დიდი სხვაობის გამო, იგი მაღალტემპერატურული (1300°C) თერმომეტრების დასაშვადებლად გამოიყენება. გალიუმი შედის სხვადასხვა ადვილდნობადი (დნობის ტემპერატურა 65°C -ზე ნაკლებია) შენადნობების შემადგენლობაში. ამ ტიპის შენადნობები, დნობადი ცველების სახით, ელექტროტექნიკაში და ხანძრის ავტომატურ ქრობაში გამოიყენება. გალიუმის შენადნობები კბილის სამკურნალო საკმში იხმარება. ნახევრად გამტარ მასალებში გალიუმი არსენიდის ($GaAs$) სახით გამოიყენება.

გალიუმის შემცველობა დედამიწის ქერქში $1,5 \cdot 10^{-3} \%$ (წონით) შეადგენს. გალიუმის საკუთარი მინერალი არ არის ნაპოვნი დედამიწის ქერქში. ბუნებაში გალიუმი იმ ელემენტებთანაა ასოცირებული, რომლებიც მის მეზობლადაა განლაგებული პერიოდულ სისტემაში. გალიუმის ალუმინთან კავშირი განისაზღვრება ამ ელემენტების ქიმიური თვისებების სიახლოვით. ეს ელემენტები იონური რადიუსების სიახლოვითაც გამოირჩევა – $Al^{3+}(0,57\text{Å})$ და $Ga^{3+}(0,63\text{Å})$, რაც განაპირობებს ალუმინის იონების გალიუმის იონებით ჩანაცვლების შესაძლებლობას ალუმინის ძირითადი სამრეწველო მინერალის – ბოქსიტის კრისტალებში. გალიუმის შემცველობა ბოქსიტში $0,03$ -დან $0,0001\%$ -მდე მერყეობს.

გალიუმის მნიშვნელოვანი თავმოყრა შეინიშნება თუთიის მინერალში – სუალერიტში ZnS . ამ მინერალში გალიუმის შემცველობა იშვიათად აღემატება $0,002\%$ -ს. თუმცა, ზოგჯერ სუალერიტში გალიუმის შემცველობა $0,15-0,23\%$ -ს აღწევს.

გალიუმის ყველაზე მაღალი შემცველობა აღმოჩენილია გერმანიუმის ძალზე იშვიათ მინერალში (გალიუმის შემცველობა 1,85%-ს შეადგენს) – გერმანიტი $Cu_3(Ge,Fe)S_4$. გალიუმი კონცენტრირდება აირადი ქარხნების ფისებში, რომლებიც ზოგჯერ 0,75% გალიუმს შეიცავს.

ბოქსიტების გადამუშავების (თიხამიწის მიღების დროს) დროს გალიუმი ალუმინის მსგავსად იქცევა და ხსნარში ხსნად გალათს ($NaGaO_2$) წარმოქმნის. ვალატი უფრო დაბალ pH-ზე განიცდის ჰიდროლიზს, ვიდრე – ალუმინატი, ამიტომ იგი საბრუნო ხსნარებში კონცენტრირდება (მაიერის პროცესში).

სუფთა ლითონური გალიუმის მიღების მიზნით, ნარჩენები, რომლებშიც გალიუმი კონცენტრირდება, ტუტეტი დაჰმუშავებას ექვემდებარება. მიღებული ხსნარის ჰიდროლიზით (ტუტეს ნაწილობრივი შეკვრით) გალიუმშემცველი ძირითადი მასის გამოლექვამდე ალუმინი განიცდის დალექვას (ჰიდროლიზის სახით). ტუტეში გახსნისა და ჰიდროლიზის ოპერაციების მრავალჯერადი გამეორებით ალუმინი ცალკეედება და გალათის სუფთა ხსნარი მიიღება. გასუფთავებული ტუტე ხსნარი პლატინის კათოდთან ელექტროლიზით ელექტროლიტურ გადამუშავებას ექვემდებარება. ელექტროლიზის პროცესში 30°C-ზე ზევით გამოიყოფა თხევადი გალიუმი, რომელიც წვეთების სახით ჩამოედინება კათოდოდან. გალიუმი აღმოაჩინა ფრანგმა ლეჟოქ დე ბონისაურდრემმა (გარდაიცვალა 1912 წელს). მანვე, როგორც თავისი ქვეყნის პატრიოტმა, ელემენტს გალიუმი შეარქვა, ლათინურად – Gallia – საფრანგეთი.

14.4. რენიუმი

რენიუმის მნიშვნელოვან თვისებებს განეკუთვნება დუდილის მაღალი ტემპერატურა (5900°C), მაღალი ეუთოი ელწინაობა, უანგბადისა და მარილმჟავა ხსნარებისადმი კოროზიული მდებარეობა. რენიუმი ძირითადად შენადნობებისა და დანაფარების სახით გამოიყენება რეაქტიული ძრავების წარმოებაში.

რენიუმი ტიპური გაბნეული ლითონია. მას თავისი მინერალები არ გააჩნია. რენიუმის შემცველობა დელამიწის ქერქში 10^{-7} % (წონით) შეადგენს. რენიუმის თავმოყრა შეიმჩნევა გრანიტის პეგმატიტებში და პნემატოლიტურ წარმონაქმნებში.

რენიუმის გაზრდილი შემცველობა შეინიშნება კოლუმბიტებში, ტანტალიტებში, ცირკონატებში, იტრიუმისა და ერბიუმის ნაერთებში (ტრტევიტიგი, გალოლინიტი) და განსაკუთრებით მოლიბდენიტში.

რენიუმის მოლიბდენთან კავშირი განპირობებულია MoS_2 -ისა და ReS_2 -ის იზომორფიზმით (მოლიბდენისა და რენიუმის იონების რადიუსებია – $Mo^{+0,68\text{Å}}$, $Re^{+0,56\text{Å}}$).

მოლიბდენის კონცენტრატებში რენიუმის შემცველობა 0,0002%-დან 0,02%-მდე მერყეობს. მოლიბდენის კონცენტრატის გამოწვის დროს რენიუმის ადვილაქროლადი ოქსიდი თითქმის მთლიანად ქროლდება და მტვერში კონცენტრირდება.

კონცენტრირებული აქროლების მიღების მიზნით, რენიუმშემცველი მტვერი სელმეორედ განიცდის გამოწვას. გამოწვის ოპერაციების შედეგად მიღებული აქროლი წყლით გამოტუტვას ექვემდებარება. გამოტუტვის პროცესში ხსნარში რენიუმის მჟავა ($HReO_4$) გადადის. რენიუმის კონცენტრაციის მიზნით, ხსნარი გამოორთქლას ექვემდებარება. გამოორთქლის შედეგად რენიუმი წყალში ნაკლებად ხსნადი კალიუმის პერენატის ($KReO_4$) სახით გამოილეკება.

ოქსიდების ან პერენატების წყალბადით აღდგენის შედეგად ფხენილისებრი ლითონური რენიუმი მიიღება. რენიუმის ფხენილის კომპაქტურ მდგომარეობაში გადაყვანა ლითონკერამიკული მეთოდებით ხორციელდება. რენიუმის მიღება წყალხსნარების ელექტროლიზითაც შეიძლება, მაგრამ გამოსავალი, დენის მისუფთით, ამ დროს ძალზე დაბალია.

ბარაქოს ღაცვის პრობლემაზე შირად მებალურგიაშ

ნედლეულის მეტალურგიული გადაუმუაება მიზნობრივი პროდუქტების (ლითონების) მიღებასთან ერთად დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის ნივთიერებების თანაურ გამოყოფასა და ნარჩენების წარმოქმნასთან (დაგროვებასთან), რაც გარემოს გაჭუჭყიანებისა და ეკოლოგიური წონასწორობის დარღვევის საშიშროებას ქმნის. მეტალურგიული პროცესებისგან გარემოს დაცვა გადასაწყვეტად მეტად რთული და ძვირადღირებული პრობლემაა და იგი დღითიდღე უფრო მნიშვნელოვანი ხდება.

მრავალ ქვეყანაში (განსაკუთრებით, განვითარებულ ქვეყნებში) საკანონმდებლო ორგანოების მიერ დაწესებულია ჰაერისა და წყლის გაჭუჭყიანების მაღალი საკონტროლო სტანდარტები.

ამ პრობლემის გადაწყვეტა მეტალურგიულ წარმოებაში საკმაოდ დიდი ხნის წინ დაიწყო. ჯერ კიდევ ინდუსტრიული რევოლუციის დასაწყისში, 1821 წელს სუანსის (უელსი, დიდი ბრიტანეთი) სპილენძსადნობ ქარხანაში ლუქვილიდან წარმოებული SO_2 -ის შემცველი აირების ატმოსფეროში გაფრქვევა პრობლემად გადაიქცა. აირები დიდ ზიანს აყენებდა ქარხნის მოძღვარს ტერიტორიაზე არსებულ ნათესებს. მხოლოდ 39 წლის შემდეგ (1860 წელს) იმავე ქარხანაში დაიწყო SO_2 -ის ნაწილის (ნედლეულში შემავალი გოგირდის 40%) გამოყენება გოგირდმჟავას წარმოებაში. დანარჩენი SO_2 სხვა აირებთან ერთად მაღალ საკმაღე მილში შედიოდა და მიწაზე ჩამოსვლამდე ატმოსფეროში იფანტებოდა.

მეტალურგიული წარმოების აირები, როგორც წესი, მყარი ნივთიერებების ნაწილაკებისა და აირადი ქიმიური ნაერთებისგან შედგება. აირებისგან მყარი ნაწილაკების განცალკევება (დაჭერა) სხვადასხვა სახის მტერის დამჭერ აპარატებში ხორციელდება. ქიმიური ნაერთების სახით აირებში უმთავრესად შედის SO_2 , CO_2 , CO და წყლის ორთქლი. ზოგჯერ წარმოებად აირებთან ორთქლის სახით შერეულია ქლორი, მარილმჟავა, დარიშხანისა და ფთორის ნაერთები. საბოლოოს წესი შედეგად, ძირითადად, CO_2 -ის და CO -ისგან შემდგარი აირები და წყლის ორთქლი წარმოიქმნება. ლუქვილიდან წარმოებული აირები, როგორც წესი, შეიცავს აგრეთვე აზოტისა და თავისუფალი ფანგადის ნარევეს, რომელიც კარბი ბერისა და ჰაერის შეწოვის შედეგად წარმოიქმნება.

აირებიდან მანვე ნივთიერებების გამოყოფა და აირების გაუვნებლება ქიმიური მეთოდების მეშვეობით ხორციელდება.

არანაკლები ყურადღება ექცევა მეტალურგიულ პროცესებში გამოყენებულ (ნახმარ) წყალს. იგი, როგორც წესი, მყარ ნაწილაკებს და მასში გახსნილ მძიმე ლითონების ნაერთებს შეიცავს. მყარი ნაწილაკების განდევნის მიზნით, წყლის გაკამკამების მეთოდები (დაწვობა, გაფილტვრა) გამოყენება, ხოლო გახსნილი ქიმიური ნაერთებისგან გასუფთავება გამოლექვის მეთოდებით ხორციელდება. ნახმარი წყალი ხშირად დიდი რაოდენობით ამა თუ იმ მჟავას შეიცავს. მჟავა, ტუტე მასალებით განეიტრალებას ექვემდებარება და ამასთან pH-ის მანერებელი მისაღებ ღონეღე დაიყვანება.

უპეტეს შემთხვევაში ლუქვილიდან წარმოებული აირები 800-1300°C-ზეა გახურებული. ლუქვილიდან გატანილი სითბო სითბოს მიმომცველ სისტემებში აირინება და სხვადასხვა მიზნით გამოიყენება.

მეტალურგიული წარმოების აირებისა და წყლის გასუფთავების აუცილებლობა მთელი რიგი ფაქტორებიდან გამომდინარეობს. მათ შორის ყველაზე მთავარია:

— სასარგებლო ელემენტების შემცველი წერილმარცველოვანი მასალის გამოყოფა და მეტალურგიულ გადაუმუაებაში დაბრუნება. სპილენძსადნობ ქარხანაში გადასამუაებელად შესული 200 მეტამდე დაქუცმაცებული კონცენტრატის მთლიანი რაოდენობის 8% შეიძლება დაიკარგოს წარმოებად აირებთან ერთად (პრომეტალურგიული გადაუმუაების დროს). თუ კონცენტრატის ეს რაოდენობა დაიკარგება, მაშინ სპილენძის წარმოების ეკონომიკური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად გაუარესდება;

— გარემოს გაჭუჭყიანება, რომელიც საშიშროებას უქმნის მომსახურე პერსონალს და ზიანს აყენებს გარემომცველ ბუნებას (ნათესებს, მცენარეებს და ა.შ.). მაგალითად, აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტოს მიერ მეტალურგიული წარმოების საშუალო უბნებზე SO_2 -ის კონცენტრაცია ჰაერში 5ppm-ის (5 წილი/მილიონზე) არ უნდა აღემატებოდეს. ჰაერში გაფრქვეული SO_2 ატმოსფეროს

წყლის ორთქლს უერთდება და გოგირდმჟავიან „წვიმას“ წარმოქმნის, რითაც ნათესებისა და მცენარეების გადაწვა ხდება. მრავალ ქვეყანაში მკაცრი კონტროლის ქვეშ იმყოფება გარემოს დაბინძურება მძიმე ლითონების ნაერთებითა და მჟავებით. მაგალითად, კანადის გარემოს დაცვის სამინისტროს მიერ დაწესებულია წყალში ლითონების დასაშვები კვალი, რომელიც ppm-ს (1 წილი/მილიონზე) არ უნდა აღემატებოდეს;

- აგრევატებიდან წარმაგალი, ფასეული კომპონენტების შემცველი აირების გამოყოფა და გამოყენება. მაგალითად, წარმაგალ აირებში შემავალი SO_2 -ის გამოყენება გოგირდმჟავას ან ელემენტური გოგირდის წარმოებაში;

- დიდი რაოდენობით CO -ს შემცველი აირების გასუფთავება წერილმარცვლოვანი მყარი ნაწილაკებისგან, რათა შესაძლებელი გახდეს CO -ს შემცველი აირების სათბობის სახით გამოყენება ქარხნის სხვადასხვა ოპერაციებში;

- მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარე პროცესების ღუმელებიდან აირებით გატანილი სითბოს ბიოლურებითა და რეკუპერატორებით არინება და სხვადასხვა მიზნით გამოიყენება.

- ნახშირი წყლების გასუფთავება და ხელმოორედ გამოყენება ან მათი ჩაშვება ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებულ წყლის ნაკადებში.

თავი 1 მტვრისა და ფრილმარცვლოვანი ნაწილაკების აირისგან ბანცალკეზება

აირისგან მტვრის განცალკეების სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. მეთოდის შერჩევის წინ საჭიროა, დადგინდეს შემდეგი პარამეტრები: აირისგან გამოსაყოფი ნაწილაკების ზომები, აირის ტემპერატურა, აირის მოცულობა, აირის სიჩქარე. გარდა ამისა, აუცილებელია ნაწილაკების დამჭერი დანადგარ-მოწყობილობის სახეობისა და რაოდენობის დადგენა და აირებით გატანილი სითბოს რაოდენობის განსაზღვრა და მისი გამოყენების მიზანშეწონილობა. სხვადასხვა სახის აირებში

შემავალი ნაწილაკების ზღვრული ზომები (მიკრონებში) და ნაწილაკების შესაბამისი დამჭერი მოწყობილობები გრაფიკულად ნაჩვენებია IV.1 სურათზე.

ტიპისა და ზომების (მიკრონებში; 1 მიკრონი-1/1000000 მეტრის ტოლია) მიხედვით ნაწილაკები 4 კატეგორიად იყოფა:

- ორთქლი - 0,05-დან 1,0 მიკრონიანი წმინდა, მყარი ნაწილაკები, რომლებიც ლითონის ან მისი ნაერთის ორთქლის კონდენსაციის შედეგად წარმოიქმნა;

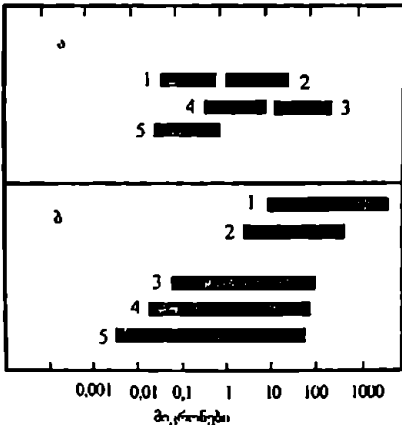
- მტვერი - 1-დან 50 მიკრონამდე ზომის მყარი ნაწილაკები, რომლებიც უფრო დიდი ზომის ნაწილაკების მსხვრევის შედეგად წარმოიქმნა;

- ნისლი - 0,5-დან 10 მიკრონამდე ზომის თხევადი წვეთები, რომლებიც კონდენსაციის შედეგად წარმოიქმნა;

- კვამლი - 0,05-დან 1,0 მიკრონამდე ზომის წმინდა, მყარი ნაწილაკები, რომლებიც ორგანული მასალების არასრული წვის შედეგად წარმოიქმნა.

მტვრიანობა (მტვერშემცველობა, დამტვერიანება) გამოისახება: გრამი კუბურ მეტრში - გ/მ³. მტვრიანობა ოთხ კატეგორიადა დაყოფილი:

- უმნიშვნელო - 1,15-დან 4,6გ/მ³
- საშუალო - 4,6-დან 6,9გ/მ³
- ზომიერი - 6,9-დან 11,5გ/მ³



სურ. IV.1 სხვადასხვა სახის აირებში ნაწილაკების ზღვრული ზომები და შესაბამისი დამჭერი მოწყობილობები: ა. - სხვადასხვა სახის აირები; ბ. სხვადასხვა ტიპის დანადგარები (კოლექტორები).

ა - 1 ორთქლი; 2. მტვერი; 3. მსუფთავი; 4. ნისლი; 5. კვამლი.

ბ. - 1 საწვავის კამერა; 2. ციკლონები; 3. სველი კოლექტორები; 4. შივილის მშრალი ფილტრები; 5. ელექტროსტატიკური საფილტრები.

– მაღალი – 11,5 გ/მ³ და მეტი.

საწარმოო პრაქტიკაში გამოიყენება 8 ტიპის მტერის დამჭერი (კოლექტორი). ყოველი მათგანის ეფექტურობა მტერის ნაწილაკების ზღერულ ზომებზე დამოკიდებულია:

- საწდომი კამერა – 50 მიკრონზე ზევით გამოსავლიანობა 90%-ია;
- ციკლონი – 70 მიკრონზე გამოსავლიანობა 20%-ია, ხოლო 100 მიკრონზე 92%;
- მულტიციკლონი – 3 მიკრონზე გამოსავლიანობა 20%-ია, 70 მიკრონზე 99%;
- ტომარა ფილტრიანი კოლექტორი – 0,5-დან 100 მიკრონამდე გამოსავლიანობა 99%-ია;
- საშხუვე კოჭი – 10 მიკრონზე გამოსავლიანობა 88%-ია, 90 მიკრონზე 98%;
- საციმანი სარეცხლა (სკრუბერი) – 0,2 მიკრონზე გამოსავლიანობა 30%-ია, 5 მიკრონზე 99%;
- ელექტროსტატიკური საღებე – 0,1 მიკრონზე გამოსავლიანობა 82%-ია, 2 მიკრონზე 99%;
- სველი სარეცხლა (სკრუბერი) – 0,3 მიკრონზე გამოსავლიანობა 20%-ია, 9 მიკრონზე 99%;

1. საწდომი კამერა

საწდომი კამერა (ცნობილია აგრეთვე გრავიტაციული საღებე კამერის ან გაფართოების კამერის სახელწოდებით) ყველაზე ადრინდელი და მარტივი მტვერდამჭერი მოწყობილობაა, რომელიც 50-მიკრონიანი და უფრო დიდი ზომის მტერის ნაწილაკების დასაჭერად გამოიყენება (სურ. IV.2.). კამერის მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: მცირედიამეტრიან აირსაღენში დიდი სიჩქარით გამავალი მტერიანი აირის ნაკადი ძალზე დიდ განიეკეთთან კამერაში შედის. კამერაში შესვლისას აირის ნაკადის სიჩქარე ეცემა. შენელებული აირის ნაკადი ვეღარ აკავებს მტერის ნაწილაკებს და ისინი კამერაში ვარდება. ნაწილაკებისგან თავისუფალი აირი კი კამერიდან ისევ მცირე დიამეტრის აირსადენით გაედინება.

ვინაიდან კამერა მარტივი კონსტრუქციისაა (ყოველგვარი მექანიკური ნაწილების გარეშე), დიდი ზომის კამერების დამზადება შეიძლება, რაც დიდი მოცულობის აირების გატარების საშუალებას იძლევა. ფოლადისგან დამზადებული კამერა შენიდან ზმირად ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით, რაც მაღალტემპერატურიანი აირის გასუფთავების შესაძლებლობას იძლევა.

წარმოებაში ვერტიკალური ან პორიზონტალური ტიპის კამერები გამოიყენება. საწდომი კამერა ძირითადად მტვერდამჭერ მოწყობილობას წარმოადგენს და, დიდ ზომის ნაწილაკების შემოსვლევაში, იგი დამოუკიდებლად, სხვა მტვერდამჭერი მოწყობილობების გარეშე გამოიყენება, ხოლო თუ აირში სხვადასხვა ზომის ნაწილაკები შედის, მაშინ საწდომი კამერასთან თანმიმდევრობით მიერთებულია რიგში (საწდომი კამერა რიგში პირველია) ჩაყენებული სხვა სახის კოლექტორებით.

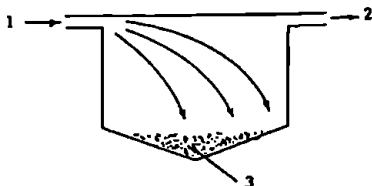
პორიზონტალურ საწდომ კამერაში მტერის გამოსავლიანობა (წონის მიხედვით) შეიძლება გაითვალის შემდეგი განტოლებით:

$$N_{\gamma} = \frac{(U_{\gamma} \chi)}{(h \chi'_{\text{საწდომ}})} \quad (IV.1.)$$

სადაც U_{γ} – ნაწილაკის საბოლოო სიჩქარეა, მ/წმ; h – კამერის სიმაღლე, მ; l – კამერის სიგრძე, მ; $\chi'_{\text{საწდომ}}$ – აირის სიჩქარე მ/წმ.

პორიზონტალურ კამერაში გამავალი აირისგან, მტერის 100%-ით გამოყოფის (დაჭერის) შემთხვევაში, ნაწილაკის მინიმალური თეორიული ზომის ანუ მისი მინიმალური დიამეტრის გათვლა შემდეგი განტოლებით შეიძლება:

$$D_{\text{მინ.}} = \left[\frac{18(M_{\text{საწდომ}} \chi) h \chi'_{\text{საწდომ}}}{(l) \chi_{\gamma} - \gamma_{\text{საწდომ}}} \right]^{1/2} \quad (IV.2.)$$



სურ. IV.2. საწდომი კამერის სქემა.
1. მტერიანი აირი 2. გასუფთავებული აირი 3. დაღებული მტვერი

სადაც D_c - ნაწილაკის დიამეტრია, მკ; $M_{\text{სიბლანტე}}$ - აირის სიბლანტე გ.წმ/მ²; h - კამერის სიმაღლე, მ; $V_{\text{სიჩქარე}}$ - აირის სიჩქარე კამერაში მ/წმ; l - კამერის სიგრძე, მ; γ_c - ნაწილაკის კუთრი წონა გ/მ³; $\gamma_{\text{აირ}}$ - აირის კუთრი წონა გ/მ³.

კამერაში გამაყალიბებული აირის სიჩქარის განსაზღვრა შემდეგი განტოლებით შეიძლება:

$$V_{\text{აირ.კ}} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right) V_{\text{აირ.ა.}} \quad (IV.3)$$

სადაც $V_{\text{აირ.ა.}}$ - აირის სიჩქარე კამერაში მ/წმ; A_2 - აირსაღენის განივკვეთი, მ²; A_1 - კამერის განივკვეთი, მ²; $V_{\text{აირ.კ}}$ - აირის სიჩქარე აირსაღენში, მ/წმ.

1.2. ციკლონი

ციკლონი (სურ. IV.3.) კოლექტორის კიდევ ერთ სახესხვაობას წარმოადგენს და მასაც არ გააჩნია მოძრავი ნაწილები. იგი განსაკუთრებით ეფექტურია საშუალო ზომის ნაწილაკების დასაჭურად. ციკლონში 7 მკ-იანი ზომის ნაწილაკებიანი აირის გაელისას მტერის გამოსავლიანობა 20%-ს შეადგენს, ხოლო ნაწილაკების 100 მკ-მდე გაზრდით გამოსავლიანობა 92%-მდე იზრდება.

ციკლონი სიითიფთ გამოირჩევა. იგი მცირე ზომისაა და - საკმაოდ ეფექტური. მისი მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: მტერიანი აირის ნაკადი დიდი სიჩქარით შედის ციკლონის (სურ. IV.3.) ცილინდრული ნაწილის სათაგესთან ახლოს მყოფ სექციაში, სადაც ტანგენციალურად ეუბახება მოპირდაპირებულ ზედაპირს. აირის ტანგენციალური სიჩქარით გამოწვეული ცენტრიდანული ძალა მტერის ნაწილაკებს ციკლონის კედელს ახვედრებს, საიდანაც ნაწილაკები სრიალით ეშვება (გრაიტიაციით) და კონუსური ციკლონის ძირში გროვდება. ციკლონის ძირიდან ნაწილაკები (მტერი) გარეთ გადის. გასუფთავებული აირი კი ციკლონის ზედა გასასვლელიდან გაედინება.

ცენტრიდანული ძალა, რომელიც განსაზღვრული მასის ნაწილაკებს განაცალკევებს, შემდეგი განტოლებით გამოისახება:

$$F_{\text{ც}} = \frac{18(m_c)(h)(V_{\text{ტ.ტ.}})^2}{g \cdot R_{\text{ც}}} \quad (IV.4)$$

სადაც m_c - ნაწილაკების მასაა, მკ; $V_{\text{ტ.ტ.}}$ - ნაწილაკების ტანგენციალური სიჩქარე, მ/წმ; g - გრაიტიაციული აჩქარება, მ/წმ²; $R_{\text{ც}}$ - ციკლონის რადიუსი, მ.

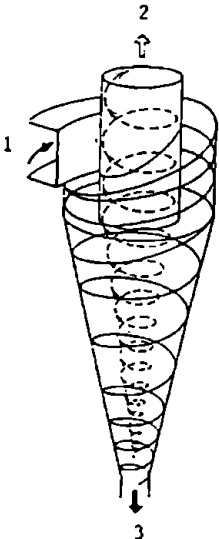
როგორც განტოლებიდან ჩანს, ცენტრიდანული ძალის სიდიდე, რომელიც განსაზღვრული ზომის ციკლონში მოცემულ ნაწილაკზე მოქმედებს, ნაწილაკების მასისა და ტანგენციალური სიჩქარის ფუნქციას წარმოადგენს, სადაც ტანგენციალური სიჩქარე ციკლონში შემავალი აირის სიჩქარეზეა დამოკიდებული.

თეორიულად აირისგან ნაწილაკების განცალკევების ეფექტიანობა მოცემული კონსტრუქციის ციკლონისთვის იზრდება იმ შემთხვევაში, თუ ქვემოთ მოყვანილი ფარდობა გაიზრდება:

$$\text{ფარდობა} = \frac{(D_{\text{ც}})^2 P_{\text{ც}} (V_{\text{ტ.ტ.}})}{(M_{\text{ც}})(D_{\text{კ}})} \quad (IV.5)$$

სადაც $D_{\text{ც}}$ - ნაწილაკის დიამეტრია, მკ; $P_{\text{ც}}$ - ნაწილაკის სიმკვრივე, კგ/მ³; $V_{\text{ტ.ტ.}}$ - ნაწილაკის ტანგენციალური სიჩქარე, მ/წმ; $M_{\text{ც}}$ - აირის სიბლანტე კგ.წმ/მ²; $D_{\text{კ}}$ - ციკლონის დიამეტრი, მ.

ნაწილაკების ზომებიდან გამომდინარე ციკლონი გამოიყენება როგორც ცალკე, ასევე სხვა მტერადამჭერ კოლექტორებთან ერთად.

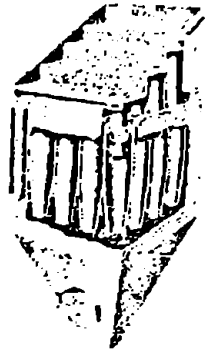


სურ. IV.3. მტერადამჭერი ციკლონის სქემა.

1 მტერიანი აირი 2. გასუფთავებული აირი 3. მტერი.

1.3. მულტიციკლონი

მულტიციკლონი (სურ. IV.4.) მტვერდამჭერი მოწყობილობა (კოლექტორია), რომელიც ერთმანეთთან შეაკავშირებული მცირე ზომის ციკლონებისგან შედგება. ციკლონები ერთ კონტეინერშია მოთავსებული და ისინი ერთდროულად მუშაობენ. მცირე ზომის ციკლონების გაერთიანებული, პარალელური მუშაობა მტვრის აირის ექვეტური გადამუშავების შესაძლებლობას იძლევა.



მულტიციკლონი საშუალო ზომის მტვრის ნაწილაკების განსაცალკევებლად გამოიყენება. მტვრის 3-მიკრონიანი ნაწილაკების განსაცალკევების დროს მტვრის გამოსავლიანობა 20%-ია, ხოლო 70 მიკრონიანი ნაწილაკების გამოყოფის პროცესში მტვრის გამოსავლიანობა 99%-მდე იზრდება.

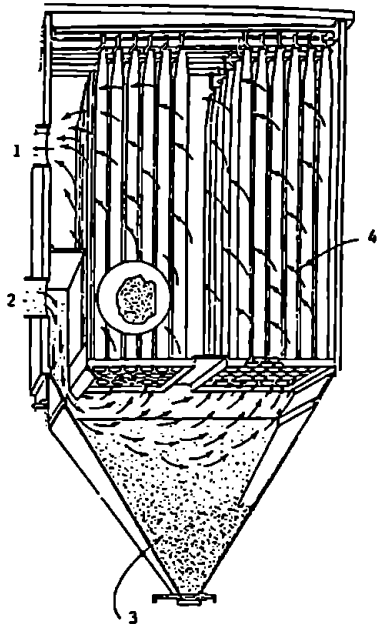
1.4. ტომარა ფილტრა

ტომარა ფილტრის მტვერდამჭერი (კოლექტორი) ერთ-ერთი ძველი და საიმედო მტვერდამჭერი მოწყობილობა (სურ. IV.5), რომელიც დღესაც ფართოდ გამოიყენება. მტვრის აირი ქსოვილის მასალისგან დამზადებულ ტომარაში შებერვას ექვემდებარება. ტომარაში შებერილი აირი ადვილად ტოვებს კოლექტორს, ხოლო მყარი ნაწილაკები, მტვერი ან ორთქლი ქსოვილით კავდება და ტომარაში რჩება. ახალ ტომარა ფილტრში, მტვრის აირის პირველი ნაკადის გაულის შემდეგ, მფილტრის რილს, ფაქტურად, ტომარის ქსოვილზე გამოილქილი (დამჯდარი) მტვრის ფენა ასრულებს და არა თვით ქსოვილი.

სურ. IV.4. მტვერდამჭერი მულტიციკლონი

გაღის ქსოვილში და

მტვერდამჭერ ზონაში ტომარების მთელი რიგია განლაგებული (სურ. IV.5.), ტომარებიდან მტვრის ფენის ჩამოყრის მიზნით დროთა განმავლობაში ტომარები დაბრტყვას ან აირის ნაკადის მიმართულების სწრაფი შეცვლით რბევას ექვემდებარება. ჩამოყრის მტვერი ტომარების ზონის ქვეშ მოთავსებულ შეპერებ ბუნკერში გროვდება. ტომარის მუშაობის ხანგრძლივობა 6 თვიდან 2 წლამდეა. ტომარის დიამეტრი 12-დან 50 სმ-ის ზღვრებში იცვლება, ხოლო მისი სიმაღლე, როგორც წესი, 13 მეტრს აღწევს. დაზიანებული ან გაცვეთილი ტომარა უმაღლე ახლით უნდა შეიცვალოს.



ტომარა კოლექტორი აირისგან 0,5-დან 100 მკ ნაწილაკების გამოსაყოფად (99%-ანი გამოსავლიანობით) გამოიყენება. თუმცა, იგი საუკეთესოა მცირე ზომის მტვრის ნაწილაკებისა და აირების ან უნიშვნელოდ ან საშუალოდ დამტვრისებული აირების გადამამუშავებლად.

საშუალო პირობებიდან გამომდინარე ტომარის საფილტრე მასალის სახეობისა და მისი ქსოვილის სიმკვრივის შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია მტვრის ნაწილაკების ზომა, აირის ტემპერატურა, მასალის მჟავა და ტუტე შედეგობა.

ყველაზე გავრცელებული ტომარის საფილტრე მასალები და მათი ზოგიერთი თვისება წარმოდგენილია IV.1. ცხრილში.

სურ. IV.5. მტვერდამჭერი ტომარა ფილტრი შრიალი ნაწილაკებისთვის.

1. გასუფთავებული აირის ეასასვლილად
2. მტვრის აირის შესასვლილად
3. მტვრის შეპერები ბუნკერი
4. ტომარა ფილტრა

ტომრის საფილტრე მასალების ზოგიერთი თვისება

მასალა	მასალის თვისებები				
	მუშა ტემპერატურა, °C	გამძლეობა გატლევჯაზე	გამძლეობა გაცვეფაზე	მრავ-მედეობა	ტუმბ-მედეობა
ბაზა	82	ო	შ	ც	ს
შალი	93	კ	შ	დ	ც
ძინის ბოქსი	260	ქ	უ	დ	ც
ნეოლანი	93	ქ	ქ	ც	ს
დაკრონი	135	ქ	ო	კ	დ
ვიტრი	218	ქ	ო	დ	ს

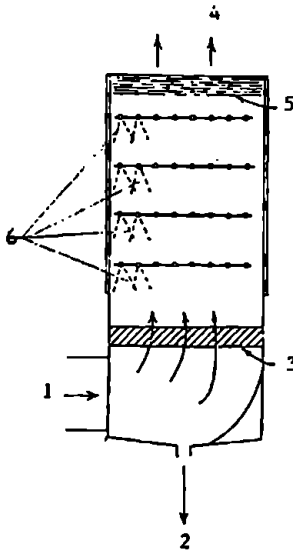
ყ - ველაზე კარგი; ს - საუკეთესო; კ - კარგი; ო - მეორე ხარისხის; მ - მესამე ხარისხის; დ - დამაკაფოფილებელი; ც - ცუდი; უ - უზღაბლესი.

ტომარა ქსოვილზე დაგროვილი მტერის ფენის სისქის ზრდასთან ერთად იზრდება წნევაც, რომელიც ქსოვილში აირის გასასვლელადაა საჭირო. წნევის ეს ვარდნა გამოიწვევს ქსოვილის სიმკვრივით გამოწვეული წინაღობისა და ქსოვილის ზედაპირზე დაგროვილი მტერის ფენის წინაღობის ჯამით. დროთა განმავლობაში წნევის ვარდნა მატულობს; ცვლილება დამოკიდებულია ქსოვილში გამავალი აირის სიჩქარეზე, მტერის ნაწილაკების ზომაზე, გამოყენებული ქსოვილის სახეობაზე და აგრეთვე შეკრებილი მტერის პერიოდულ ჩამობერტყევაზე.

$$\Delta P = (V_{\text{აირი}}) [K_1 + (K_2 / W_{\text{ფენის}})] \quad (IV.6)$$

სადაც ΔP - წნევის ვარდნა, კგ/მ²; $V_{\text{აირი}}$ - აირის სიჩქარე, მ/წმ; K_1 - ქსოვილის წინაღობის კოეფიციენტი (განზომილების გარეშე); K_2 - მტერის ფენის წინაღობის კოეფიციენტი (განზომილების გარეშე); $W_{\text{ფენის}}$ - ფენის წონა ფართის ერთეულზე.

ტომარა კოლექტორი როგორც ცალკე (როცა ნაწილაკების ზომები მცირეა და დამტვრინება და აირის მოცულობები ზომიერია), ასევე სხვა მტვერდამტვრე სისტემებთან ერთად გამოიყენება.



1.5. საშუეფე კოშკი

საშუეფე კოშკში აირისგან ნაწილაკების განცალკევება (დაჭერა) წყლის შხეფების მეშვეობით ხორციელდება. წყლის შხეფები ურთიერთმოქმედებს აირის ნაკადის მყარ ნაწილაკებთან და მათ აირისაგან გამოჰყოფს. მარტივი ფორმის საშუეფე კოშკში (სურ. IV.6.) ქვევითკენ მიმართული წყლის გაფრქვეული შხეფები მთლიანად ფარავს კოშკის შიგა არეს. კოშკის ძირიდან შებერილი მტერიანი აირის ნაკადი წყლის ჩამავალ შხეფებთან შეხებისას თავისუფლდება მყარი ნაწილაკებისგან. მყარი ნაწილაკების შემცველი წყალი კოშკის ძირში ჩადის და გასასვლელიდან გარეთ გადის. მტერიანი წყალი ნაწილაკებისგან სუფთადება და ისევ საშუეფე კოშკში შედის.

ამ ტიპის კოლექტორი 1 მიკრონზე უფრო დიდი ზომის ნაწილაკების განსაცალკევებლად გამოიყენება. მტერის მაქსიმალური გამოსაფლვანობა 90 - მიკრონიან ნაწილაკებზე 98%-ს შეადგენს.

საშუეფე კოშკი შედარებით მარტივი და იაფი კოლექტორია, რომლის მეშვეობითაც დიდი მოცულობის მტერიანი აირების გასუფთავება შეიძლება. გარდა ამისა, იგი აირის დამტვრინების ფართო დიაპაზონში მუშაობს. ეინაიდან კოლექტორი სველ

სურ. IV.6. საშუეფე კოშკი

- 1 მტერის აირის შესასვლელი;
2. მყარი ნაწილაკების წყლიანს პულა; 3. აირის მანქანობები;
4. გასუფთავებული აირი; 5. ნასლის გადაძობი ფილტრია; 6. წყლის შხეფები.

მტვერდამჭერ მოწყობილობას წარმოადგენს, კოშკში შესული აირი ცივდება და ამიტომ კოშკში შეტანილი სითბო იკარგება.

1.6. სარეცხელა (სკრუბერი) ხაქმინებანი ხაცმით

საქმინებანი სარეცხელა წარმოადგენს სველი ტიპის მტვერდამჭერ მოწყობილობას (სურ. IV.7.), რომელშიც მტერიანი აირის გამავალ ნაკადში წყალი იფრქვევა. გამავალი აირისა და გაფრქვეული წყლის სინქარეებს შორის ძალზე დიდი სხვაობა ამ ტიპის კოლექტორის მაღალ მწარმოებლობას უზრუნველყოფს (აირის ნაკადის სინქარე 3500-დან 7400 მ/წთ შეადგენს). სარეცხელას ხახაზე წამოცმულია კრებად-განმანშტოებელი საქმინი (სურ. IV.7.,5), რომელშიც, სითხე-აირის მაქსიმალური თანხების შესაქმნელად, წყალი იფრქვევა. მტერის ნაწილაკებთან კონტაქტში შესული წყლის წვეთები გროვდება სარეცხელას ქვედა, განცალკევების სექციის კედელზე, საიდანაც ღარულების სახით სარეცხელას ძირში ეშვება, ხოლო გასუფთავებული აირი გადის აირის გასასვლელიდან (სურ. IV.7.,3). საქმინი სარეცხელა მარტივი კონსტრუქციისაა და ეფექტურია მცირე ზომის ნაწილაკების განსაცალკევებლად. მიუხედავად სარეცხელას ნიკრე ზომისა, იგი დიდი მოცულობის აირების გადამუშავების შესაძლებლობას იძლევა. მტერის მაქსიმალური გამოსავლიანობა ამ ტიპის კოლექტორში 5-მიკრონიანი ნაწილაკების შემცველი აირების გადამუშავების დროს 99%-ს შეადგენს. სარეცხელას სხვა კოლექტორებთან ერთად გამოიყენების შემთხვევაში იგი როგორც ბოლო ადგილზეა განთავსებული.

საქმინი სარეცხელა სველ კოლექტორებს განეკუთვნება და ამიტომ მასში აირებით შეტანილი სითბო იკარგება.

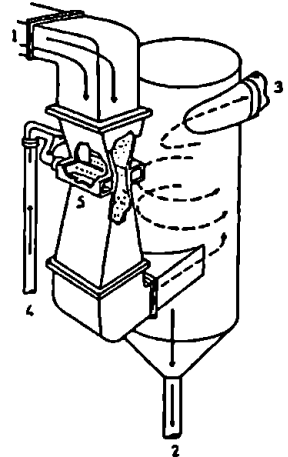
1.7. სარეცხელა წყლის აბაზანით

სველი ტიპის კოლექტორებს განეკუთვნება სარეცხელების დიდი ჯგუფი, რომელთა მუშაობის პრინციპი მტერიანი აირის წყლის აბაზანაში ჩაშვებას ემყარება (სურ. IV.8.). წყალთან კონტაქტის დროს აირი მტერის ნაწილაკებისგან თავისუფლდება და სუფთა სახით კოლექტორიდან გარეთ გაედინება.

წყლის აბაზანის მცირე ზომებიდან გამომდინარე, ამ ტიპის სარეცხელა მცირე მოცულობის აირების გასასუფთავებლად გამოიყენება; 0,2 მიკრონიანი ნაწილაკების შემცველი მტერის გამოსავლიანობა 30%-ს შეადგენს, ხოლო 9-მიკრონიანი ნაწილაკების განცალკევების დროს კოლექტორის ეფექტურობა მკვეთრად იზრდება და მტერის გამოსავლიანობა 99%-ს აღწევს.

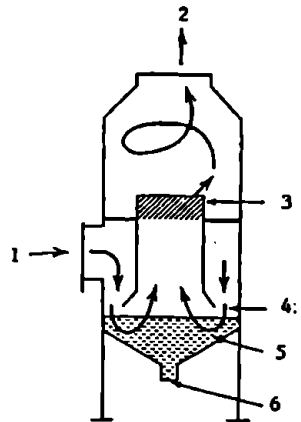
1.8. ელექტროსტატიკური საღეჭი

ელექტროსტატიკურ საღეჭში გამავალი აირის ნაკადისგან მტერის სველი ან მშრალი ნაწილაკების გამოსაყოფად ელექტრობა გამოიყენება (სურ. IV.9.). მიუხედავად იმისა, რომ ამ ტიპის კოლექტორი ძვირია, იგი საუკეთესოა ძალზე მცირე ნაწილაკების გამოსაყოფად; 0,1-მიკრონიანი მტერის ნაწილაკების გამოყოფის დროს გამოსავლიანობა 82% შეადგენს, ხოლო 2-მიკრონიანი ნაწილაკების



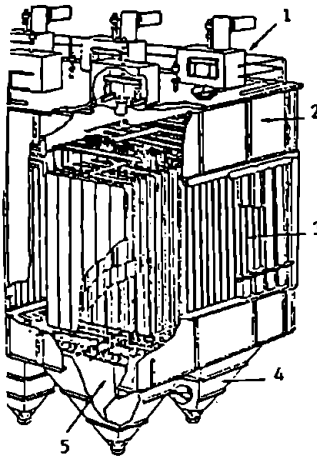
სურ. IV.7. სარეცხელა საქმინებანი ხაცმით.

1 მტერიანი აირის შესასვლელია 2. მყარი ნაწილაკები 3. გასუფთავებული აირის გასასვლელია 4. წყლის შესასვლელია 5. კრებად-განმანშტოებელი საქმინა.



სურ. IV.8. ტურბულენტური ტიპის სარეცხელა წყლის აბაზანით.

1 მტერის აირის შესასვლელია 2. გასუფთავებული აირის გასასვლელია 3. ფლუვერა 4. ვიწრო-კულოანი ძალა 5. საღეჭი აბაზანა 6. ეამოსაშვება ძალა.



სურ. IV.9. ელექტროსტატიკური სალექსი

- 1 ტარმისეარისტანის გამართვული
2. შექმნილია 3. შექმნილია ფარები;
4. ბუნებრივი ნ. განსაკუთრებული ელექტრო-
- დები.

განმუხტვის უარყოფითი ელექტროდის გარშემო იონიზირებული აირის მოლეკულებისგან შემდგარი გვირგვინი წარმოიქმნება და დადებითად და უარყოფითად დამუხტული აირის იონები საწინააღმდეგო პოლარობის ელექტროდების ზედაპირით მიიზიდება. შემკრები ელექტროდისკენ დაძრული, უარყოფითად დამუხტული აირის იონებს უფრო დიდი მანძილის გაეულა უხდება და სვლის დროს, სალექსში გამავალ აირის ნაკადში შეტივტივებული მტერის ნაწილაკების უმრავლესობას ესება და მათ თავის უარყოფით მუხტებს გადასცემს. უარყოფითად დამუხტული მტერის ნაწილაკებიც შემკრები ელექტროდით მიიზიდება, მის ზედაპირზე ჯდება და მტერის ფენას წარმოქმნის. თუ მტერის რომელიმე ნაწილაკი დადებითად დაიხუტება, მაშინ იგი, მოკლე მანძილის გაეულით, უარყოფითად დამუხტული ელექტროდისკენ მიემართება, მის ზედაპირზე ცვივდება და მტერის ფენას წარმოქმნის. მშრალი ტიპის კოლექტორში ელექტროდებზე დაგროვილი მტერის ჩაშორება და შემკრებ ბუნებრივ ჩაშორება კატენით ხორციელდება, ხოლო სველ კოლექტორში მტვერი ჩამორევებით სცილდება ელექტროდებს.

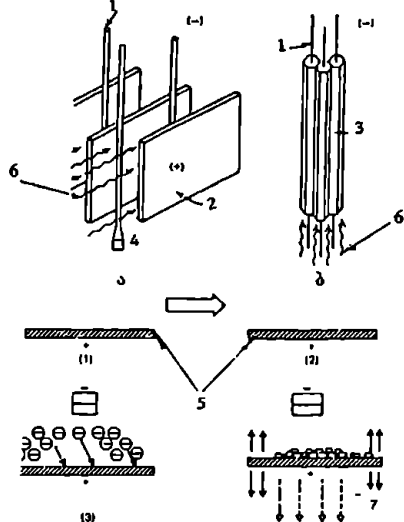
ელექტროსტატიკური სალექსი, როგორც წესი, დიდი მოცულობის მტერიანი აირების გადასამუშავებლად გამოიყენება. იგი დიდი ეფექტურობით განიჩრევა მხოლოდ წვრილი ნაწილაკების შექცეული

განცალკევების დროს მტერის გამოსავლიანობა 99%-მდე იზრდება.

კოლექტორში ორი ელექტროდი გამოიყენება – უარყოფითი პოტენციალის მქონე განმუხტვის ელექტროდი და შემკრები ელექტროდი დადებითი პოტენციალით (სურ. IV.10.). გამართვულის შემკრებით ელექტროდებს შორის ძაბვა მუდმივ დენად გარდაიქმნება და 80000 ვოლტამდე იზრდება. პრაქტიკაში გამოიყენება ორი ტიპის ელექტროსტატიკური კოლექტორი. უფრო ფართოდ გავრცელებულ ფირფიტებიან კოლექტორში (სურ. IV.10.,ა) განმუხტვის ელექტროდის დერო ერთმანეთის გვერდზე განლაგებული შემკრები ელექტროდების ფირფიტებს შორისაა ჩაყენებული, ხოლო მეორეში – განმუხტვის ელექტროდი მათულის სახითაა ჩაყიდებული მილში, რომელიც შემკრები ელექტროდის როლს ასრულებს (სურ. IV.10.,ბ და სურ. IV.11.).

ელექტროსტატიკურ სალექსში თანმიმდევრული სლომილება: [სურ. IV.10., (1), (2), (3), (4)]. (1) – ელექტროდებს შორის წარმოიქმნება ძლიერი ელექტროველი; (2) – ელექტროველში გამავალ აირში შეტივტივებული ნაწილაკები იონიზაციას განიცდის და ელექტრულად იმუხტება; (3) – ელექტროველის ძალების ზემოქმედებით დამუხტული ნაწილაკები შემკრების ზედაპირისკენ მიემართება; (4) – ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკები შემკრების ზედაპირზე ილექება და ნეიტრალდება.

კოლექტორში (სალექსში) მუდმივი დენის მაღალ ძაბვაზე

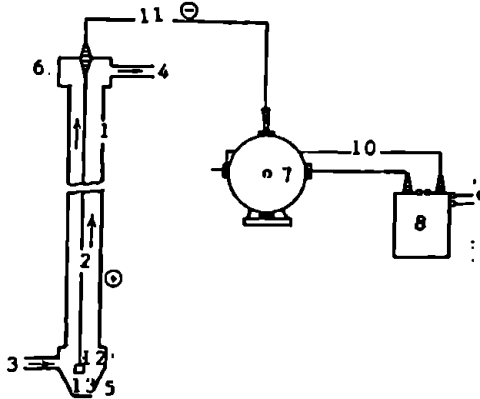


სურ. IV.10. ელექტროსტატიკური სალექსის შემართვის სქემა.

- ა. ფირფიტებიანი ტიპის – ბ. მილბიანი ტიპის
1. განმუხტვის ელექტროდი; 2. შემკრები ფირფიტა (ელექტროდი); 3. შექმნილია მალი (ელექტროდი); 4. სახისძე; 5. შექმნილია ელექტროდები; 6. მტერიანი აირი; 7. მტვერი ბუნებრივსკენ.

მტვერდამჭერი კოლექტორების ენერჯის ხარჯვის მაჩვენებლები

კოლექტორის ტიპი	ენერჯის ხარჯვის მაჩვენებელი, ცხენის ძალა /300მ ² აირი	შენიშვნა
საწვლიანი კამერა	0,2	საწვლიან კამერაში აირის მოსაწოდებლად საჭიროა ენტროპიკობი
სამსხვივე კამერა	0,75	საჭიროა აირის შესაშვებ ენტროპიკობი და წყლის საქარი ტუმბო
ელექტროსტატიკური სალექსი	1,0	საჭიროა მუდმივი დენის წყარო, ენტროპიკობი აირის ნაკადის ხელს მოძრაობისთვის
ტომბარა ყვილერი	1,5	საჭიროა მაღალი მწარმოებლობის ენტროპიკობი ტომბარას ყვილის მოცულობის აირის შესაშვებლად
ციკლონი	2,0	მაღალი ტანგენციული სიჩქარის მოსაღებად საჭიროა აირის დიდ სიჩქარით შეტყუება
სადენიანი სარეცხველი	6,0	აირისა და წყლის მსხვილები დიდი სიჩქარით შეტყუება და გაღვანება



სურ. IV.11. მილისებრი ტიპის ელექტროსტატიკური სალექსის მუშაობის სქემა.

1. შეჭრები ელექტროდი (მალი); 2. განშუბტვის ელექტროდი; 3. შტერბანი აირის შესასვლელი; 4. გასუფთავებული აირის გასასვლელი; 5. ქვედა საცმა; 6. ზედა საცმა; 7. გამძრაველი; 8. ტრანსფორმატორი; 9. დაბალი ძაბვის ხაზი; 10. მაღალი ძაბვის ხაზი; 11. მაღალი ძაბვის გამართული დენი; 12. ბუნკერი.

აირების გადამუშავების დროს, სხვა შემთხვევებში, ელექტროსტატიკური სალექსი სხვა მტვერდამჭერ მოწყობილობებთან ერთად გამოიყენება და რიგში ბოლო ადგილზეა განლაგებული.

ენერჯის ხარჯვის მიხედვით, მტვერდამჭერი მოწყობილობები საგრძობლად განსხვავდება ერთმანეთისგან (ცხრილი IV.2.), რაც უფრო მარტივი კონსტრუქციისაა კოლექტორი და რაც უფრო ნაკლებადაა მასში მექანიკური ნაწილები, მით უფრო ნაკლები ენერჯია იხარჯება აირების გასუფთავებაზე. ენერჯის ხარჯი გაზრდილია იმ კოლექტორში, რომელშიც აირების ნაკადების სიჩქარეები მაღალია და მასში დიდი მოცულობის აირები ტარდება.

თემა 2. აირების გასუფთავება ქიმიური ნაერთებისგან

2.1. გოგირდის დიოქსიდი

ფერად მებლურგანში ნედლეულის პირობეტალურგიული გადამუშავების პროცესებში წარმოქმნილი და ლუმელებიდან წარმავალ აირად პროდუქტებიდან ყველაზე გავრცელებულ ნაერთს გოგირდის დიოქსიდს (SO₂) წარმოადგენს. მისი გავრცელების მიზეზი ბუნებაში წარმოდგენილი

ლითონურ ფორმასთან არის დაკავშირებული. მრავალი ფერადი ლითონი (სპილენძი, ტყვია, თუთია, ნიკელი, კალა, ანთიმონი, დარიშხანი, კობალტი) სულფიდური მინერალების სახით შედის მადანში. ამ მადნების მეტალურგიულ გადამუშავებაში შედის გამოწევის, დნობისა და კონვერტირების პროცესები. ყველა ეს პროცესი სულფიდების დაჟანგვას ითვალისწინებს. დაჟანგვის პროცესების შედეგად დიდი რაოდენობით გამოიყოფა აირადი SO_2 .

გოგირდის დიოქსიდი გარემოში გავრცელების წყაროს წარმოადგენს. იგი საშიშროებას უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას და ზიანს აყენებს სოფლის მეურნეობას. მთელ რიგ ქვეყნებში სტანდარტები სუფთა ჰერზე კამპარტებულია. აქედან გამომდინარე, მეტალურგიულ აირებში შემავალი SO_2 -ის გაუნებლბას ვანსაკუთრებული ყურადღება ენიჭება.

მაგალითად, აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტოს მიერ SO_2 -ზე შემდეგი შეზღუდვებია დადგენილი:

- აპარატში (ლუმენში) ჩატვირთული გოგირდის რაოდენობის 10%-ზე მეტი არ უნდა გაიფრქვას ატმოსფეროში;
- ქარხნის მომსახურე პერსონალის გარემომცველ ატმოსფეროში SO_2 არ უნდა აღემატებოდეს 3 წილს მილიონზე;
- წლიური სტანდარტის მიხედვით, გარემომცველ ჰერში მიწის დონეზე SO_2 არ უნდა აღემატებოდეს 0.03 წილს მილიონზე;
- ნებისმიერ დღეს SO_2 -ის საშუალო შემცველობა ატმოსფეროში არ უნდა აღემატებოდეს 0,14 წილს მილიონზე.

ბელგიის კანონმდებლობით მეტალურგიული აგრეგატებიდან წარმაქალი SO_2 -ის მოცულობა წარმაქალი აირების საერთო მოცულობის 1%-ს არ უნდა აღემატებოდეს, შექვედში კი - SO_2 -ის საშუალო რაოდენობა - $\frac{1}{2}$ საათში 0,25 წილს მილიონზე, კვირამი - 0,20 წილს მილიონზე, თვეში - 0,02 წილს მილიონზე არ უნდა აღემატებოდეს.

გოგირდის დიოქსიდის შემცველი აირებიდან გოგირდის გამოყენის მიზნით, აირების გადამუშავების საში მთოიდი განიოყენება პრაქტიკაში.

პირველი, ყალბზე გავრცელებული ზერზი, რომელიც კონტაქტური პროცესის სახელწოდებით არის ცნობილი, SO_2 -ის გოგირდმქავაში გადაყენას ითვალისწინებს. მორე მთოიდი SO_2 ელემენტური გოგირდის მისაღებად გამოიყენება, ზოლო მესამე ზერზი, SO_2 -ის კალციუმის ოქსიდთან შეერთების გზით, კალციუმის სულფიტისა და სულფატის მიღებას ითვალისწინებს.

2.1.1. გოგირდმქავას მიქება

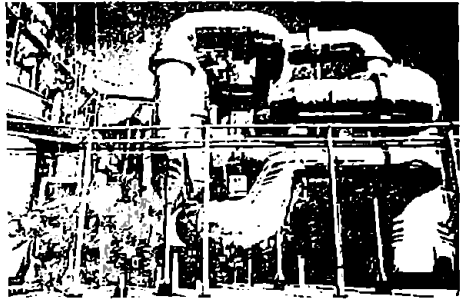
კონტაქტური მთოილი გოგირდმქავას მისაღებად გამოიყენება აირები, რომლებშიც SO_2 -ის შემცველობა 3,5%-ს აღემატება (ზოგიერთ ქარხანაში გადამუშავებას ექვემდებარება აირები, რომლებშიც SO_2 -ის შემცველობა 2,2%-ს შეადგენს). ფექტიანობის თვალსაზრისით, უპირატესობა ენიჭება აირებს, რომლებიც 10-14% SO_2 -ს შეიცავს. წარმობული გოგირდმქავას სიძლიერე ქარხნიდან ქარხანაში იცვლება და როგორც წესი, 98-99,6%-ის ზღვრებშია. ამ სიძლიერის მქავა კომერციული გოგირდმქავაიდ დაყენას (კომერციული გოგირდმქავას სიძლიერე 93%-ია) განიცდის.

კონტაქტური მთოილი გოგირდმქავას მიღების ქარხნის ზედი და აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა შესაბანისად ნაქენებია IV.12. და IV.13. სურათებზე.

მეტალურგიული წარმობის აგრეგატებიდან წარმაქალი SO_2 -ის შემცველი აირები თავდაპირველად გაცივებასა და გასუფთავებას ექვემდებარება. გასუფთავების დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება აირებიდან დარიშხანის ანბიდრიდის (As_2O_3) მინარევის განღვენას. იგი დარიშხანშემცველი მადნების ვანგვითი გამოწევის პროცესში წარმოიქმნება.

სითბოს გამოყენების მიზნით, ცხელი აირი პირველად შედის ბოილერში, სადაც სითბო აირინება, ზოლო შემდეგ აირი შორალ ელექტროსტატიკურ საღექში მტკრისგან სუფთავდება. თუ აირი ზედმეტად დაამტკრანებული, მაშინ, ელექტროსტატიკურ საღექში შესვლამდე, იგი ციკლონური ტიპის კოლექტორში განიცდის გადამუშავებას. გასუფთავების შემდეგ აირი სარეცხელა კოშკში წყლით მუშავდება (ირეცხება), ზოლო შემდეგ იგი ნამის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურამდე ცივდება საცივარში. გაცივების პროცესში წარმოქმნილი ნისლისა და ნარჩენი მტვერისაგან აირი

საბოლოოდ სუფთავდება სველ ელექტროსტატიკურ საღებავში. საღებავში აირიდან განდევნილი გოგირდმჟავას ნისლი As_2O_3 -ს შუიციას, ამიტომ სველ ელექტროსტატიკურ საღებავში SO_2 -ის შემცველი აირი დარიშხანის ანიოდრიდისგან მთლიანად სუფთავდება დარიშხანის ანიოდრიდი არასასურველი მინარეხია, რადგანც იგი აჭუჭყიანებს ვანადიუმის პენტაოქსიდს, რომელიც კატალიზატორის როლს ასრულებს გოგირდმჟავას კონტაქტური პროცესით მიღების დროს.



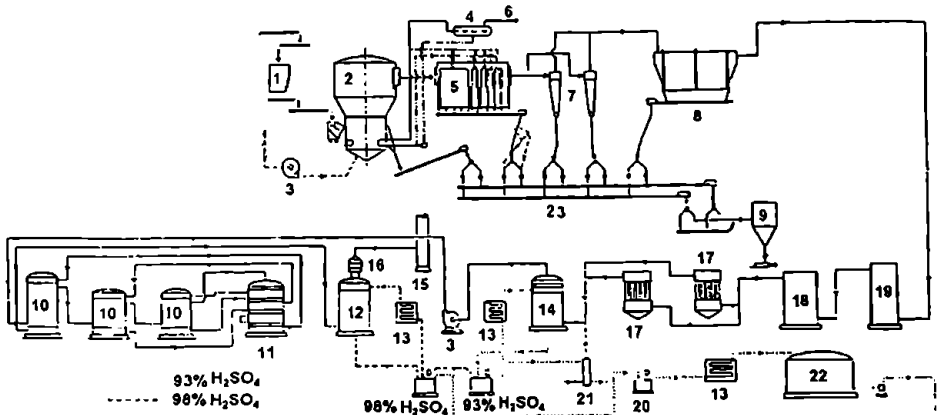
სურ. IV.12. გოგირდმჟავას ქარხნის ხედი (კონტაქტური კატალიზის კომპლექტი).

საბოლოოდ, გასუფთავებული ცივი აირი შედის კომპში, სადაც 93%-იან გოგირდმჟავას შემხაპუნებით შრება, ხოლო შემდეგ იგი კონტაქტური პროცესის აპარატების სისტემაში გადამუშავებას ექვემდებარება. აპარატების სახით გამოიყენება ვარდამქმნელი, სითბოს მიმოძველები, აირის საცივებელი და ამსორბენტი (მთანთქმელი).

გარდაამქმნელი წარმოადგენს აგურებით ამოვსებულ ფოლადის კამერას. კამერაში ჩაყენებულ თეფშაზე (როგორც წესი. კამერაში 4 თეფშა განთავსებული) კატალიზატორის სახით თავსდება ვანადიუმის პენტაოქსიდი. კატალიზატორის მუშეობით გოგირდის დიოქსიდი ჰაერის ჟანგბადით იჟანგება და გოგირდიდან ანიოდრიდში გადადის:



ჟანგის პროცესი კატალიზატორის ზედაირზე მიმდინარეობს ატმოსფერული წნევის პირობებში (კატალიზატორის გარშემო უშუალოდ ჟანგბადთან SO_2 მაღალ ტემპერატურაზე კი არ ურთიერთქმედებს). აირის (SO_2 -ის) კატალიზატორთან თანხების სანერგობა, რომლის დროსაც SO_2 -ის 95-98% SO_3 -ში გარდაიქმნება, 2-4 წამს შეადგენს. ევზოთერული რეაქციის (IV.7.) შედეგად მაღალი



სურ. IV.13. გოგირდმჟავას წარმოების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა (აირები სუფიფიდური მასალის ვაისიწვის დუქელში გადამუშავებით გამოიყოფა).

1. სულფიდური ნედლეულია; 2. ვაისიწვის დუქელია; 3. ტუმბო; 4. სააირთქლე დოლა; 5. სითბოს მიმოძველებელია; 6. თორიქლი — გადამუშავებამზე; 7. მტკერდამქმნელი ციცილინებია; 8. მტკერდამქმნელი კოლექტორია; 9. ნაშენის შექმნა ბუქერი; 10. სითბოს მიმოძველებელია; 11. ვარდამქმნელი; 12. ამსორბირების კომპა; 13. საცივარი; 14. შრომის კომპა; 15. საყვამლე მალი; 16. დარიშხანის საწინააღმდეგე მოწყობილობა; 17. ნისლის საღებავია; 18. საცივებელი კომპა; 19. სატენიანებელი კომპა; 20. კომერციული გოგირდმჟავა; 21. გარდფარდამო დარიშხანის გამომუყვანა; 22. გოგირდმჟავას საცავი.

ტემპერატურა ეთარდება. ჟანგის რეაქცია აქტიურად მიმდინარეობს 420-600°C ტემპერატურის ზღვრებში, ხოლო უფრო მაღალ ტემპერატურაზე (620°C-დან) ენადიუმის კატალიზატორული უნარი მკვეთრად უარესდება და საკონტაქტო კვანძი წყობიდან გამოდის. ამიტომ ტემპერატურის რეგულირებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. კამერიდან წარმავალი ცხელი აირის (SO₂-ის) სითბო, სითბოს მიმოცვლის მოწყობილობით SO₂-ის შეზავულ ცივ ნაკადს გადაეცემა, რითაც SO₂ საჭირო ტემპერატურამდე წინასწარ ხურდება. იმ შემთხვევაში, თუ სითბოს მიმომცველი არ გამოიყენება, SO₂-ის წინასწარი გახურება სათბობის წვის მოწყობილობით ხორციელდება. გარდაქმნის კამერაში მიღებული SO₂ ჯერ საცივარში 200°C-მდე ცივდება, ხოლო შემდეგ აბსორციის კოშკში გადადის. სადაც 98,5%-ან H₂SO₄-ის ცირკულირებადი ნაკადით შთაინთქმება. გოგირდოვანი ანიდრიდი (SO₃) მჟავაში შეზავალ წყალს უერთდება და 99,6%-ანი სიძლიერის მჟავას წარმოქმნის:



აბსორციის პროცესისთვის გოგირდმჟავას 98,5%-ანი სიძლიერე ყველაზე ოპტიმალურია. ამ სიძლიერის გოგირდმჟავა რკინასა და ფოლადის მასალებზე კოროზიულ ზემოქმედებას არ ახდენს, რაც ხანარის გაღატუმებისა და რეცირკულაციის პროცესებისთვის საჭირო მასალებისა და დანადგარ-მოწყობილობების შერჩევას აადვილებს.

ცირკულირებადი მჟავას ნაწილი უწყვეტად განიცდის გამოყენების აბსორციის სისტემიდან და 93%-იანი სიძლიერის გოგირდმჟავამდე წყლით გაზავებას ექვემდებარება. გაზავებული გოგირდმჟავა საბოლოო პროდუქტის სახით მიეწოდება მომხმარებელს.

აბსორციის კამერიდან აირი, რომელიც „ნისლის“ სახით 0,1-0,2% SO₂-ის შეიცავს, სარეცხელაში კირქვის ხსნარით დამუშავებას ექვემდებარება. დამუშავების შედეგად გოგირდი სულფატის ან სულფატის სახით გამოილევა. ელექტროსტატიკურ საღებში აირის შემდგომი გატარებით გოგირდ-მჟავიანი ნისლი მთლიანად განიდევნება აირიდან. საკვამლე მილში გაშვებული აირი 0,01%SO₂-ს შეიცავს. კონტაქტური პროცესის გამოყენებით აირებიდან 99%SO₂ ამოიღება.

2.1.2. ელემენტური გოგირდის მიღება

ელემენტური გოგირდის მისაღებად გამოიყენება ლუმელიდან წარმავალი აირი, რომელიც 10%-ზე მეტ SO₂-ს შეიცავს. გოგირდმჟავასთან შედარებით, ელემენტური გოგირდი უფრო ღირბანს ინახება და უფრო იფართო დანიშნულებისთვის გამოიყენება.

გოგირდის მიღების დროს აირის გაცივების, გასუფთავების და შრობის ოპერაციები კონტაქტური პროცესით მჟავას მიღების ოპერაციების ანალოგიურია. ამ ოპერაციების შემდეგ SO₂-ის შემცველი აირი 500°C-ზე ნახშირბადთან (ბუნებრივი აირის ან ქვანახშირის გამოყენებით) ან წყალბადთან ურთიერთქმედებას განიცდის:



რეაქციის შედეგად მიღებული აირ-ორთქლის ნარევი 170°C-მდე გაცივებას განიცდის. გაცივების შედეგად ორთქლიდან კონდენსირდება თხევადი გოგირდი, რომელიც ბოყებში ჩამოისხმება. პირველი კონდენსატორიდან წარმავალი აირი, რომელიც SO₂-ის ნარჩენს შეიცავს, ხელმოორედ ხურდება 240°C-მდე და გოგირდწყალბადთან ურთიერთქმედებას განიცდის:



ორთქლის გაცივებით წარმოქმნილი თხევადი გოგირდი ცალიბებში ჩამოისხმება. გოგირდის ღიოქსიდთან საბოლოოდ გასუფთავებული აირი, რომელიც საკვამლე მილში შედის, 1%-მდე SO₂-ს შეიცავს.

2.1.3. კალციუმის სულფიტისა და სულფატის მიღება

თუ ღუმელიდან წარმავალ აირში SO_2 -ის რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ მისი გადამუშავება მკაფიას ან ელემენტური გოგირდის მიღების მიზნით მიზანშეწონილი არ არის, მაშინ აირი სველ კონტაქტორში დაქუცმაცებული კალციუმის ოქსიდით ან კირით დამუშავებას ექვემდებარება, რის შედეგადაც აირის SO_2 -დან კალციუმის სულფიტი და სულფატი წარმოიქმნება:



აირის დამუშავება CaO -ისა და CaCO_3 -ის (-200-325 მეშის ნაწილაკების სახით) წყლიანი ლამით ხორციელდება სამხეფე კოშკში და საცმთან სარეცხელაში. ლამიდან მყარი ნაწილაკების გამოყოფა სასქელებელ კოდში ტარდება, ხოლო გასუფთავებული აირი საკვამლე მილიდან ატმოსფეროში გადის.

პროცესი უფრო ეფექტურია მაშინ, როდესაც აირში SO_2 -ის კონცენტრაცია დაბალია. მაგალითად, თუ გასუფთავებული აირი 0,3-0,6 % SO_2 -ს შეიცავს, მაშინ SO_2 -ის გამოსავლიანობა 85%-ია, 1%-ანი კონცენტრაციის დროს 75%, ხოლო 1,5%-იან კონცენტრაციაზე გამოსავლიანობა 72% შეადგენს. ამ მეთოდით დამუშავებას ექვემდებარება აგრეთვე აირი, რომელიც კონტაქტური პროცესით გადამუშავების შემდეგ ნარჩენ SO_2 -ს შეიცავს.

2.2. ფთორიდები და ქლორიდები

ალუმინის ელექტროლიტური ხერხით მიღების დროს წარმოქმნილი აირები ორთქლისა და მყარი ნაწილაკების სახით ფთორიდებს შეიცავს. ამ მეტად მავნე ნივთიერებებისგან გარემოს დაცვა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს. ამ მიზნით ყოველი ელექტროლიზიორი აღჭურვილია ხუფით, რომელიც საერთო მილსადენს უერთდება. მილსადენიდან აირი გასუფთავების ოპერაციებზე გადადის. აირის გასუფთავება ჯერ მულტიციკლონების ან ელექტროსტატიკური საღებების გამოყენებით ხორციელდება, ხოლო შემდეგ გასუფთავების პროცესი ციკლონში, სამხეფე კოშკში ან საცმთან სარეცხელაში გრძელდება. ზოგჯერ, გასუფთავების სისტემაში ჩართულია ალუმინის ოქსიდით დაფარული ტომარა ფილტრიც.

ქლორიდებისა და მარილმჟავას ორთქლი, რომელიც მაგნიუმის ელექტროლიზის დროს წარმოიქმნება, გროვდება ელექტროლიზიორის ხუფში (ხუფი პერმეტიულად ხურავს ელექტროლიზიორს). ხუფიდან ორთქლი გადაედინება საერთო შეშკრებში. შეშკრებში დაკონდენსირებული ნივთიერებები იგზავნება ქარხანაში, სადაც ქლორისა და მარილმჟავას რეგენერაცია ხორციელდება.

თავი 3. აირის გაფანტვა მაღალი საკვამლე მილით

გატუტყთანებული აირის მტკვრადმჭერ მოწყობილობებში გატარება და ქიპორი მეთოდებით დამუშავება მაინც ვერ უზრუნველყოფს აირის ღრმა გასუფთავებას. მიზარეულის მცირე რაოდენობა ყოველთვის გაიტანება აირებით ატმოსფეროში. ხშირად მეტალურგიულ აირებში SO_2 -ის კონცენტრაცია იმდენად დაბალია, რომ მათი გადამუშავება, მიზნობრივი პროდუქტის მიღების მიზნით, არაეფექტური და ეკონომიკურად გაუმართლებელია. ზოგჯერ, მეტალურგიული ქარხანა თავისი ადგილმდებარეობით ძალზე დაშორებულია ინდუსტრიული წარმოების რაიონებიდან, ამ შემთხვევაში, აირებიდან მიზნობრივი პროდუქტების წარმოება და შორ მანძილებზე ტრანსპორტირება ეკონომიკურად გაუმართლებელი ხდება.

ზემოთ აღნიშნულ ყველა შემთხვევაში, პრობლემის გადასაწყვეტად მაღალი საკვამლე მილი გამოიყენება. მილით გატანილი აირი იფანტება ატმოსფეროში. აირთან ერთად მასში შემავალი მავნე ნივთიერებებიც იფანტება და მიწაზე ჩამოსვლამდე გაზაფხუბის შედეგად მავნე კონცენტრაციის ღონეს სცილდება.

მავენე ნივთიერებების შემცველი აირების ატმოსფეროს მაღალი ფენების ნაკადებში ატანისა და მათი ფართო არეში გაფანტვის შედეგად ნივთიერებების მაქსიმალური გაზაფხუბის მიზნიდან გამომდინარე,

მეტალურგიაში მაღალი საკვამლე მილების მშენებლობის ტენდენციები ვითარდებოდა. გასულ საუკუნეში ყველაზე მაღალი საკვამლე მილი კანადის ნიკელის საერთაშორისო კომპანიამ ააშენა სადბარში (ონტარიო, კანადა). მისი სიმაღლე 375 მ-ია, საფუძვლის დიამეტრი 33 მ, ზოლო კონუსის თავის დიამეტრი 13,5 მ-ს შეადგენს.

მიუხედავად იმისა, რომ გაჭუჭყიანებული აირის საკვამლე მილით გაფანტვის მეთოდი ძველია და ღირსეულ გამოყენებას, მას ნაკლები გააჩნია:

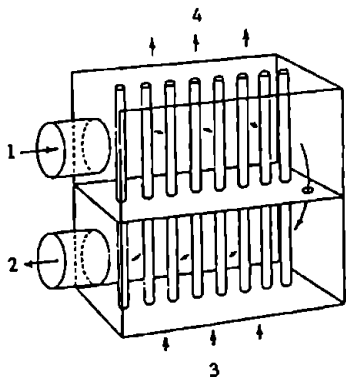
- მილიდან გამოძავალი აირი (ორთქლი), ტემპერატურის ინერსიის (შექცევის) გამო, ქვეითკენ მიემართება, რითაც მისი ვაზუებისა და გაფანტვის შესაძლებლობები იზღუდება;
- ქარის სიჩქარის შემცირებით აირის გაფანტვის შესაძლებლობა იზღუდება;
- ძლიერი ქარის დროს SO_2 დიდ მანძილზე (ასეული კილომეტრებით) გადაიტანება და შეყავს წვიმის სახით ბრუნდება მიწაზე, რაც ტბების pH-ის მარცხენა მხარეს და ტყის ზრდას 60%-ით ანელებს. მეთიანი წვიმები განსაკუთრებით მავნეა ვაზაფხულის პერიოდში (ადრეული ზრდის სეზონში). საკვამლე მილის შერჩევის დროს რიგი განტოლებების გამოყენებით პარამეტრების წინასწარი გათვლა ხდება.

თავი 4. სითბოს უტილიზაცია (გამოყენება)

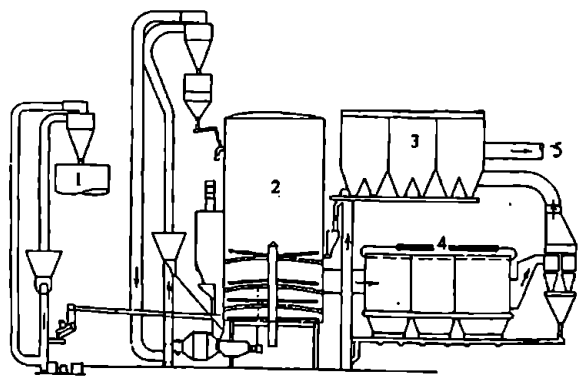
პირობეტალურგიული პროცესებით გამოყოფილი ცხელი აირები ზოგჯერ მაღალ ტემპერატურაზე გახურებული და დიდი რაოდენობით შეიცავს სითბოს. როგორც წესი, აირიდან სითბოს არინება (გამოყენების მიზნით) აირის გასუფთავების სისტემაში შესვლამდე ხორციელდება. აირის წინასწარი ფილტვება აუცილებელია იმ შემთხვევაში, თუ მტვერდაჭერი მოწყობილობების სახით ტომარა ფილტრი (მუშაობს განსაზღვრულ ტემპერატურაზე) ან ელექტროსტატიკური საღებო (ტემპერატურის ზემოქმედებით შეიძლება მოხდეს მოკლე ჩართვა) გამოიყენება.

ცხელი აირებიდან სითბოს უტილიზაცია სითბოს მიმომცველის ან ბოილერის გამოყენებით ხორციელდება. ეს მოწყობილობები კონსტრუქციით არ განსხვავდება ერთმანეთისგან. სითბოს მიმომცველში (სურ. IV.14.) თბოარინება ცივი ჰაერით ან ცივი აირით ხდება, ზოლო ბოილერში (სურ. IV.15.) სითბო წყლით აირინება.

სითბოს მიმომცველში (სურ. IV.14.) შემავალი ცივი ჰაერი ან აირი (1) გარს უვლის მილებს, რომლებშიც ღუმელთან წარმოებული ცხელი აირი შდის (3). მილების კედლებზე კონვექციით გადაცემული სითბო კი ცივი ჰაერს ახურებს. იგივე საერთო პრინციპით მუშაობს ბოილერიც



სურ. IV.14. სითბოს მიმომცველი.
1 ცივი ჰაერის (აირის) შესასვლელი; 2 ცხელი ჰაერის გასასვლელი; 3 ღუმელთან წარმოებული ცხელი აირი; 4. ვაცივებული აირი.



სურ. IV.15. მღუდარე ფენაში მასალის გამოსაწვავ ღუმელთან წართული ბოილერი.
1 ნაშწყის საცავი; 2. გამოსაწვავი ღუმელი; 3. ტომარა ფილტრები; 4. ბოილერი.

(სურ. IV.15.), რომელშიც ცივი წყალი შედის ღუმელიდან წარმავალი ცხელი აირის ნაკადში განლაგებულ მილებში. მილებში გამავალ წყალს სითბო ცხელი აირიდან გადაეცემა. თუ ღუმელიდან წარმავალი აირის ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია, მაშინ გახურების შედეგად წყალი ორთქლის მდგომარეობაში გადადის. ღუმელიდან წარმავალი ცხელი აირების გამოყენება შეიძლება აგრეთვე სეული მასალების შრობის პროცესში.

მეტალურგული პროცესების შედეგად მიღებული აირი ზოგჯერ თვითონ წარმოადგენს თბური ენერჯის წყაროს. მაგალითად, რეტორტაში ან შახტურ ღუმელში თუთიის ოქსიდის ნახშირბადით აღდგენის შედეგად წარმოიქმნება ნახშირბადის მონოოქსიდი, CO (რეაქცია III.79.), რომელიც სითბოს წყაროს წარმოადგენს, ამიტომ ატმოსფეროში მისი გაშვებისა და დაკარგვის მაგიერად, CO შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც სათბობი. ამერიკის შვერთებული შტატების თუთიის კომპანიის ერთ-ერთ ქარხანაში ნახშირბადის მონოოქსიდი სათბობის სახით გამოიყენება ევრტიკალური რეტორტების გასახურებლად. მისი წილი გამოყენებული სათბობის მთლიანი რაოდენობის 30%-ს შეადგენს.

სათბობის საწვავი მოწყობილობის დაცვის მიზნით, მტერის ნაწილაკებით მოწყობილობის გაჭედვის თავიდან ასაცილებლად, დამტვერიანებელი CO-ს აირი კოლექტორების მეშვეობით წინასწარ სუფთავდება მტერის მყარი ნაწილაკებისგან.

თავი 5. მეტალურგიულ წარმოებაში გამოყენებული წყლის გასუფთავება

5.1. წყლის გასუფთავება მტერის ნაწილაკებისგან

რიგი კოლექტორებისა, როგორცაა საშხუფე კოში, სარეცხელა, საციმანი სარეცხელა და სეული ელექტროსტატიკური სალექი, სეული ტიპის მტერდამჭერ კოლექტორებს განეკუთვნება. ამ სახის ყველა კოლექტორში დაჭერილი მტერი წყალში გროვდება და შედეგად წყლიანი ლამი წარმოიქმნება. მყარი ნაწილაკების გადამუშავებამდე ან გადაყრამდე საჭიროა მათი წყლისგან განცალკევება.

განცალკევების პროცესი ორი საფეხურისგან შედგება. პირველ საფეხურზე სასქელელები (სალექი) კოდი გამოიყენება, ხოლო მეორეზე – ფილტრები. ლამის გადამუშავების შედეგად მიღებული მტერი გადამუშავებაზე იგზავნება, ხოლო გაკამაბებული წყალი ხელმოერედ გამოიყენება მტერდამჭერ კოლექტორებში ან ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიაზე წყლის ნაკად უერთდება.

ლამის შესქელება ანუ დალექვა (დაწომა) სასქელეებელ (სალექ) კოდში (სურ. I.10. და I.11.) მყარი ნაწილაკების გრავიტაციული ჩაძირვით ნელა (საათების განმავლობაში) მიმდინარეობს.

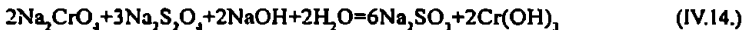
ოპერაცია უწყვეტ რეჟიმში ტარდება. კოდის ცენტრიდან იტვირთება ლამი, კოდის გადასაშვებლად გადმოდის გაკამაბებული წყალი, ხოლო კოდის ძირში დაგროვილი შესქელებული შლამი გამოიღება. ნაწილაკების შრობის (შესქელების) დაჩქარება შესაძლებელია ფლოკულაციით, რომლის დროსაც წყალში შეტივტივებული ნაწილაკები ერთიანდებიან აგრეგატებად, რომლებიც უფრო ადვილად ეშვება კოდის ძირზე, ვიდრე ცალკეული ნაწილაკები. ფლოკულაცია ელექტროლიტის (კრის) დამატებით ხორციელდება. ელექტროლიტი ანიონურებს ნაწილაკების ელექტრომუხტებს და მათ ბელტებად გაერთიანების პირობებს უქმნის. სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით (ხეტიას განის საშუალებით) კოდის ძირზე დალექილი შლამი ნელი სელით მიემართება კოდის ცენტრისკენ. სადაც კოდის ძირის დიამიტიდან ტუმბოს საშუალებით გადასიტუმბება. გადმოტუმბულ შლამში წყლისა და მყარის თანაფარდობა შესაბამისად 2:1 ან 1:1 შეადგენს. ასეთი თანაფარდობის შლამი, წყლის შემდგომი განდენის მიზნით, ფილტრებით დამუშავებას ექვემდებარება.

ფილტრაციის ოპერაციები ვაკუუმ-ფილტრებში ტარდება. შედეგად მიიღება შესქელებული პროდუქტი (რომელიც 6-10% ტენს შეიცავს) და გაკამაბებული წყალი.

5.2. წყლის გასუფთავება მძიმე ლითონების ნაერთებისგან

მძიმე ლითონებით გაჭეჭვიანებული მეტალურგული ნახშირი წყლები ქიმიური, ფიზიკური ან ბიოლოგიური მეთოდებით შეიძლება გასუფთავდეს. უფრო ხშირად გამოიყენება ქიმიური მეთოდი,

რომელიც ხსნარის pH-ის ნეიტრალიზაციას და მინარეების დალექვას ითვალისწინებს. მაგალითად, წყალი, რომელიც Na_2CrO_4 -ის სახით ქრომს შეიცავს, ჯერ pH-ის 6,5-9-მდე განეიტრალებას განიცდის, ხოლო შემდეგ ქრომი უხსნადი ქრომის პიდროქსიდის სახით გამოილექება:



სხვა მძიმე ლითონები, როგორცაა საილენები, თუთია და რკინა, უხსნადი პიდროქსიდების ან კარბონატების სახით ილექება. ამ მეთოდის გამოყენებით ლითონის კონცენტრაცია წყალში 0,05 წილ/მილნ-ზე დაიყვანება, რაც სასმელი წყლის სტანდარტს (1 წილ/მილნ.) აკმაყოფილებს. ამ სისუფთავის წყლის ჩაცლა ქალაქის წყალსაცავში დასაშვებია.

ურანის მოპოვებისა და მადნების გადამუშავების პროცესებში გამოყენებული წყალი პოლიელექტროლიტების დანამატებით სუფთავდება. დაბალი pH-იანი (2,5) წყლები, ურანის გარდა, რკინასა და სულფატურ იონებს შეიცავს. ნეიტრალიზაციის მიზნით წყალს კირი ემატება, რის შედეგადაც pH-ის მაჩვენებელი 11-მდე იზრდება. წყალზე პოლიელექტროლიტების დამატებით ნაერთების გამოილექვის პირობები უმჯობესდება. ურანის, რკინისა და სხვა ნაერთების მყარი ნაწილაკების სახით გამოილექვის შემდეგ წყალი გამოიყენება საქარბნო პროცესებში.

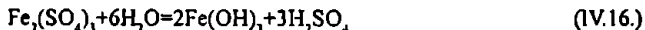
5.3. მაღაროში წარმოქმნილი ხსნარების გაუვნებლება

იმ შემთხვევაში, თუ ფერადი ლითონის საბადოში პირიტია (FeS_2) წარმოდგენილი, მაშინ მადნების მოპოვების დროს არასასურველი ხსნარების წარმოქმნის შესაძლებლობა იქმნება. წყალთან და ჰაერთან შეხებისას პირიტი სულფატსა და გოგირდმჟავას წარმოქმნის:



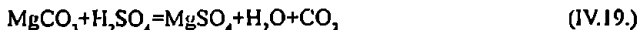
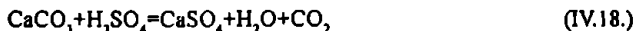
მაღაროს მჟავაშემცველი წყლის გაჟონვით შესაძლებელია ახლომდებარე ტბებისა და წყლის საცაეების გაჭუჭყიანება. მჟავასთან ურთიერთქმედების შედეგად შესაძლებელია აგრეთვე ბეტონის ნაგებობების, ტურბინებისა და საგუბარების დაზიანება.

წყლის მჟავიანობის გაზრდა შესაძლებელია სულფატის შემდგომი დაჟანგვით (სამჟავუნტიანი რკინის სულფატის წყალთან ურთიერთქმედების შემთხვევაში მჟავა უფრო დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება):



მაღაროში გამოყენებული წყლების მჟავათი გაჭუჭყიანება ფართოდ გავრცელებული და სერიოზული პრობლემაა. მისი სწრაფი და მარტივი გადაწყვეტის იაფღირებული ზერხი არ არსებობს. მჟავიანი წყლის წარმოქმნით კიდევ ერთი პრობლემა იქმნება. მჟავიანი წყლის სხვადასხვა ქანებთან შეხებისას მჟავას ზემოქმედებით ტოქსიკური ნივთიერებების წყალში გადასვლის საშიშროებაც იქმნება.

გოგირდმჟავიანი წყლის გასუფთავების ყველაზე მიღებული მეთოდია გოგირდმჟავას ტუტე მასალებით განეიტრალება (pH-ის მაჩვენებლის 7-მდე გაზრდა). ტუტე მასალების სახით გამოიყენება კირი (CaO), კირქვა (CaCO_3) და მაგნიუმის კარბონატი. ამ მასალების მჟავიან წყალზე დამატებით შემდეგი რეაქციები მიმდინარეობს:



თავი 6. ზოგადი ფერადი ლითონის წარმოების უსაფრთხოების ტექნიკა და მეთოდური მუშაობის ნაწილის განხილვა

6.1 სპილენძი

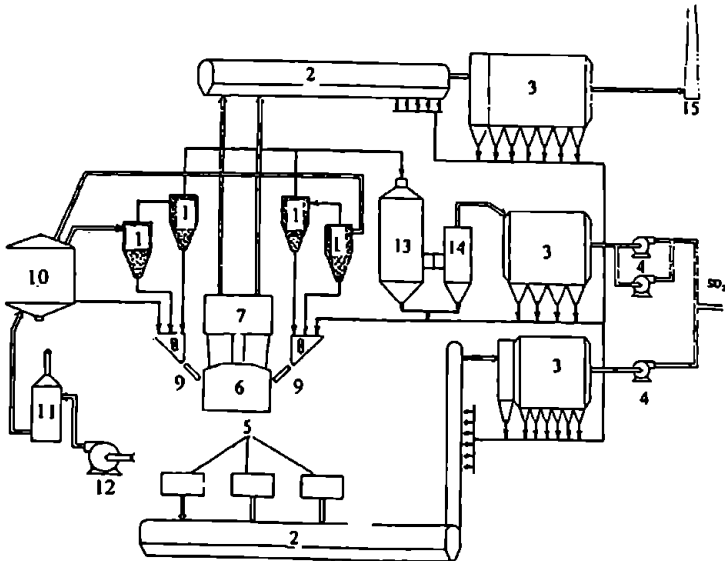
სპილენძის უმეტესი ნაწილი (90%) დაბალი ზარისის სულფიდური მადნების გადამუშავებით მიიღება. ნედლეულის გადასამუშავებლად, ძირითადად, პირობითურად უსაფრთხო ტერმინი გამოიყენება. პირობითურად გადასამუშავებაში შდის გამოწვის, ღნობის, კონვერტირების, ცეცხლოვანი რაფინირების პროცესები, რომლებიც მალაი ტემპერატურის პირობებში ტარდება.

მალაი ტემპერატურის შედეგად ზოგიერთი მინარევი ლითონი აქროლავს განიციდის. ღუმელებიდან წარმავალ აირებს თან მიჰყვება სხვადასხვა სახის მყარი ნაწილაკებისგან შემდგარი მტვერი (ზოგჯერ დიდი რაოდენობით). ზემოთ აღნიშნულ პროცესებში მიმდინარე უანგვიით რეაქციების შედეგად მტ-ნაკლებად გამოიყოფა გოგირდის დიოქსიდი (SO_2), რომელიც წარმავალი აირების შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს.

სასარგებლო ელემენტების შეცველი მტერისა და აქროლის დაჭერა და მათი ეფექტური გადამუშავება ნედლეულის კომპლექსური გამოყენებისა და ერთდროულად გარემოს დაცვის შესაძლებლობას იძლევა. აირებიდან მყარი ნაწილაკების დაჭერისა და განცალკევების მიზნით უფრო ხშირად ციკლონები და ელექტროსტატიკური მტვერდამჭერი მოწყობილობები გამოიყენება (სურ. IV.16.). სპილენძის ნედლეულის პირობითურად გადასამუშავების დროს არით წარმოებული ნაწილაკების სავარაუდო რაოდენობრივი მაჩვენებლები მოყვანილია IV.3. ცხრილში.

აგრეგატებიდან (ღუმელებიდან) წარმავალი ცხელი აირები ხშირად მალაი ტემპერატურამდეა ($1400^{\circ}C$) გაზურებული. არით გატანილი სითბო ბოილერში ან სითბოს მიმომცელებში აირინება.

სპილენძის პირობითურად გადასამუშავების დროს გოგირდის დიოქსიდი (SO_2) ერთ-ერთი ძირითადი აირადი ნაერთია, რომელიც ღუმელებიდან წარმავალი აირების შემადგენლობაში



სურ. IV.16. სპილენძისა და სპილენძისა და სპილენძის წარმოების უსაფრთხოების ტექნიკა და მეთოდური მუშაობის ნაწილის განხილვა

- 1 მტვერდამჭერი ციკლონი; 2. სპილენძის კამერა; 3. ელექტროსტატიკური საღებავი; 4. ტუმბო; 5. კონვერტირების; 6. ამრევი ღუმელი; 7. ბოილერი; 8. ნაწილის ბუნებრივი; 9. შეკვამბვა; 10. გამოსასრავი ღუმელი; 11. წინასწარი გაზურების ღუმელი; 12. გამოსასრავი ღუმელის პაერსამბერი; 13. აირის საციფარი; 14. შეფუების საციფარი; 15. საყვამბო პილი.

შედის და საშიშროებას უქმნის გარემოს. სხვადასხვა პირობებში გამოყოფილ აირებში SO₂-ის კონცენტრაცია განსხვავებულია, რაც აირებიდან გოგირდის გამოყოფისა და მისი გადაშენების პრობლემას ქმნის. კონტაქტური პროცესით გოგირდშეყვას მისაღებად აირში SO₂-ის შემცველობა 3,5%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, ხოლო ელემენტური გოგირდის მისაღებად SO₂-ის კონცენტრაცია აირებში 10%-ზე მეტი უნდა იყოს.

ცხრილი IV.3.

საილენმსაღნობ ქარხანაში აირებით წატაცებული მყარი ნაწილაკების რაოდენობრივი მანგენებლები

პროცესი	ნაწილაკები (გ/მ ³)	აირის მოცულობა (მ ³ /ტ კონცენტრატზე)
გამოწევა	15	1300
დნობა (ამრეკლი დუქელი)	4	2000
კონვერტირება	12	10000

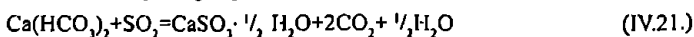
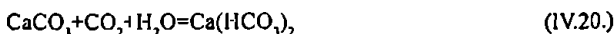
გამოწევა, ნედლეულის გადაშენების პირველი მაღალტემპერატურული პროცესია, რომელიც მრავალქვედიან ან მდულარე ფენის ღუმელში ტარდება. მრავალქვედიანი ღუმელების წარმატებულ აირებში საშუალოდ 5, ხოლო მდულარე ფენის ღუმელების აირებში საშუალოდ, 10-15%-ია SO₂-ის შემცველობა. ორივე აირში SO₂-ის შემცველობა აღემატება იმ მინიმუმს, რომელიც SO₂-ის კონტაქტური პროცესით გადაშენებისთვის (გოგირდშეყვას მიღების მიზნით) არის საჭირო, ხოლო SO₂-დან ელემენტური გოგირდის მიღების პროცესისთვის მხოლოდ მდულარე ფენის ღუმელებიდან წარმავალი SO₂-ის შემცველი აირებია გამოსადგენი.

კარგა ხანია, რაც მსოფლიოს ნახევარზე მეტ საილენმსაღნობ ქარხნებში ნედლეულის წინასწარი გამოწევა აღარ გამოიყენება, რათა შემდგომ ეტაპზე (დნობის ეტაპზე) გადასამუშავებელ მასალაში გოგირდის პროცენტული რაოდენობა არ შემცირდეს და, შესაბამისად, ღუმელიდან წარმავალ აირში SO₂-ის კონცენტრაცია გაიზარდოს.

დნობა გამოწევის მომდევნო ეტაპია და მის ჩასატარებლად სხვადასხვა ტიპის ღუმელი გამოიყენება. სხვადასხვა ღუმელიდან წარმავალი აირები კი SO₂-ის შემცველობით ერთმანეთისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. ნამწეის დნობის დროს ამრეკლ ღუმელში ჰაერთან ერთად დიდი რაოდენობის სათბობი იწეება, რაც წარმოქმნის დიდი მოცულობის აირებს SO₂-ის დაბალი შემცველობით (1,5%). ამ აირებიდან გოგირდის ამოღება ძალზე ძვირი ჯდება, ამიტომ მტკერდამჭერ მოწყობილობებში დამუშავების შემდეგ აირები საკვამლე მილის გავლით ატმოსფეროში გაჟანტვას ექვემდებარება. იმ შემთხვევაში, თუ ამრეკლ ღუმელში ნამწეის მაგიერად სილიციის ნედლი სულფიდური კონცენტრატი გადაამუშავდება და ჰაერი (სათბობის წყისთვის) ჟანგბადით ან ჟანგბადით გამდიდრებული ჰაერით შეიცვლება (რაც წარმავალი აირების საერთო მოცულობას ამცირებს), მაშინ წარმავალ აირებში SO₂-ის კონცენტრაცია საგრძნობლად გაიზარდება. წარმავალ აირებში სხვა პროცესებიდან გამოყოფილი აირების (SO₂-ით მაღალი კონცენტრაციის აირების) ზომიერი შერევით მიღებული ნარევი წარმატებით გამოიყენება გოგირდშეყვას წარმოებაში.

კვლევებით დადგინდა, რომ ამრეკლი ღუმელიდან წარმავალი აირი, რომელშიც SO₂-ის კონცენტრაცია დაბალია (0,2-1,5%), სულ კირქვაში დამუშავებით გოგირდის დიოქსიდისგან საკმარის კარგად სუფთავდება. ამ ზერხით დამუშავების დროს აირებიდან SO₂-ის 75% განიღვებება. გასუფთავებამდე აირი წყლის სხვებებით გაცივებას განიცდის (ამ დროს აირიდან მყარი ნაწილაკები განიღვებება), ხოლო შემდეგ ურთიერთქმედებს ლამთან, რომელიც 5-15% კირქვის წმინდა (-200 მეში) მყარი ნაწილაკებისგან შედგება. აირის შერევა ლამთან საცემთან სარეცხელაში ხორციელდება. სარეცხელადან გამოშავალი ლამი გროვდება კოდში, სადაც მას განსაზღვრული რაოდენობით კირქვის ახალი პორცია ემატება. კოდში დაგროვილი კირქვის უმეტესი ნაწილი რეგენერაციის შემდეგ საცემთან სარეცხელაში ბრუნდება და ხელმოკრედ გამოიყენება, ხოლო დამატებული კირქვის შესაბამისი რაოდენობის ლამი კოდდან ამოიღება და წყლისგან განცალკევების შემდეგ გადაიყვება.

აირის კირქვასთან ურთიერთქმედების დროს ჯერ ბიკარბონატი წარმოიქმნება, ხოლო შემდეგ ბიკარბონატი შედის რეაქციაში SO₂-თან:



სადნობი ელექტროლუმელი კონსტრუქციით ამრეკლი ღუმელის ანალოგიურია. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ ელექტროლუმელში დნობის ტემპერატურა ელექტროწინალობით ვითარდება, ხოლო ამრეკელ ღუმელში სითბო სათბობის წვით წარმოიქმნება. ამიტომ ელექტროლუმელიდან წარმავალი აირი სათბობის წვის არეგობით გაზავებას არ განიცდის, რის გამოც მისი მოცულობა საგრძნობლად მცირდება. შეტვირთული მოცულობის აირში SO_2 -ის კონცენტრაცია 5%-მდე იზრდება, რაც გოგირდმჟავას წარმოებაში აირის გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა.

ავტოგენური დნობის პროცესებში ნელეულის შემადგენლობაში შემავალი გოგირდი სითბოს წარმოქმნის ძირითად წყაროს წარმოადგენს. ვინაიდან ამ შემთხვევაში ნელეულის ავტოგენური დნობის პროცესი სხვადასხვა ტიპის ღუმელში ტარდება, ღუმელიდან წარმავალი აირები SO_2 -ის შემცველობით განსხვავებულია. მაგალითად, ნიკელის საერთაშორისო კომპანიის მიერ დაშუშავებულ ღუმელში ნელეი კონცენტრატის შეტვირთვებულ მდგომარეობაში დნება; სწორკუთხა ფორმის ღუმელის საწინააღმდეგო ბოლოებიდან ღუმელში შეურჩეული შრალი საილენბის სულიდურ კონცენტრატთან ენგბადის (95% O_2) ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილ აირებში SO_2 -ის შემცველობა 70-80%-ს აღწევს. მასალის შეტვირთვებულ მდგომარეობაში ავტოგენური დნობის შორე ტიპის ღუმელში (ოულტოკემას კომპანია), სადაც შრალი საილენბის კონცენტრატის ენგბადით გამოდრებულ ჰაერთან (35% O_2) ვერტიკალური ტიპის კაშვარში ურთიერთქმედებს, გამოყოფილი აირები SO_2 -ს 18%-მდე შეიცავს.

ვანიუკოვის ავტოგენურ პროცესში (დნობა თხევად აბაზანაში) კი ღუმელიდან წარმავალი აირი 30-32% SO_2 -ს შეიცავს.

ავტოგენური დნობის ზემოთ აღნიშნული ღუმელებიდან წარმავალი აირები როგორც გოგირდმჟავას, ასევე ელემენტური გოგირდის წარმოებაში წარმატებით გამოიყენება.

შანტური ტიპის ღუმელში, სადაც ავლომირიებული ან დაგუნდავებული საილენბის კონცენტრატის გამოყენება, დნობის შედეგად მიიღება ძალზე დამტვირთული აირები (დიდი მოცულობის ჰაერის შეტყვის გამო), რომლებიც 5%-მდე SO_2 -ს შეიცავს. აირები ციკლონებსა და ელექტროსტატიკურ საღებებში გასაფუთავების (მტერისგან) შემდეგ გოგირდმჟავას წარმოებაში გამოიყენება.

საილენბის პირომეტალურგოული გადამშავების შესაბამისად, კონვერტირებაზე, სადნობი ღუმელიდან მიღებული შტეინის ნაღობის ჰაერთი ან ენგბადით გამოდრებულ ჰაერთი გაქრვის პროცესი ხორციელდება კონვერტერში. კონვერტირების შედეგად სულფიდური რკინა იყვანება, ხოლო გოგირდი SO_2 -ში გადადის და წარმავალი აირის სახით განიღვენება.

ჰირს-სმიტის ტიპის კონვერტერი პერიოდულ რეჟიმში მუშაობს და კონვერტირების პროცესში SO_2 -ის შემცველობა წარმავალ აირებში მნიშვნელოვნად იცვლება. პროცესის დასაწყისში ახლად ჩატვირთული შტეინის ნაღობიდან გამოყოფილ აირებში SO_2 -ის შემცველობა 4-5%-ს შეადგენს (უახლოვდება ნელეულის ენგბადით გამოყოფის დროს გამოყოფილი აირების შემადგენლობას). ნაღობში ჰაერის გაქრვის დამთავრებისთანავე, როდესაც კონვერტერი ჩატვირთული შტეინის პირკა მილიანად დაუხალასებელ საილენბად გარდაიქმნება, SO_2 -ის შემცველობა წარმავალ აირებში მკვეთრად ეარდება. თუ სადნობი ღუმელი დიდია და მასში მიღებული შტეინის გადამშავებას რამდენიმე კონვერტერი ესაჭიროება, მაშინ კონვერტირებიდან წარმავალი სხვადასხვა ხარისხის (SO_2 -ის შემცველობით) აირები ერთმანეთთან ირევა. მიღებულ ნარევიში SO_2 -ის შემცველობა 4%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ამ შემადგენლობის აირი გოგირდმჟავას წარმოებაში გამოიყენება. თუ აირების შერევა მიზანშეწონილი არ არის, მაშინ კონვერტირიდან წარმავალი ის აირი გამოიყენება გოგირდმჟავას წარმოებაში, რომელიც SO_2 -ის მაღალი კონცენტრაციით გამოირჩევა, ხოლო SO_2 -ით ღარიბი აირები საკვამლე მილში შედის.

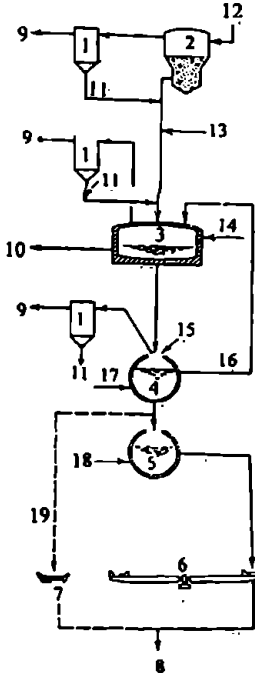
საილენბის ნელეულის დნობის უწყვეტი პროცესი (ნორანდა, ვორკრა) განსაკუთრებული უპირატესობით გამოირჩევა. მასში დნობა და კონვერტირება შეთავსებულია და ეს პროცესი ძირითადად ერთ აპარატში მიმდინარეობს. კონვერტირება ევზოთერმული პროცესია, ხოლო ნელეულის დნობა ენდოთერმული. კონვერტირების ევზოთერმული სითბო ნელეულის სადნობად გამოიყენება, რაც დნობის პროცესის ეფექტურობას მნიშვნელოვნად ზრდის. ვარდა ამისა, დნობის უწყვეტ პროცესში SO_2 -ით ერთგვაროვანი და მდიდარი აირები გამოიყოფა, რაც აირებიდან გოგირდის ეფექტური ამოღების შესაძლებლობას იძლევა.

საილენძის პირობეტალურგიაში ცეცხლოვანი რაფინირება ბოლო ეტაპია, რომელზეც გოგირდი SO_2 -ის სახით განიღვნება, აირში SO_2 -ის რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ მისი გამოყენება გოგირდშავას წარმოებაში პრაქტიკულად შეუძლებელია.

კონვერტირდნ მღებულ დაუსალასებულ საილენძში გახსნილი გოგირდის რაოდენობა 0,05%-ს შეადგენს, ხოლო დნობისა და კონვერტირების შეთავსებული უწყვეტი პროცესიდან მღებულ დაუსალასებულ საილენძში გოგირდის შემცველობა 0,5-2%-ია. დაუსალასებელი საილენძის თხევად აბაზანაში ძირის შებერვით გოგირდი SO_2 -მდე იყანგება და მისი შემცველობა საილენძში 0,001-0,003%-მდე მცირდება.

მცირე რაოდენობის გოგირდის მინარევის განღვნა ცეცხლოვანი რაფინირების დროს აუცილებელ პირობას წარმოადგენს, რათა საილენძიდან ჩამოსხსას მტკიცე, თხელი სისქისა და გლუვზედაპირიანი ანოდი, რომელიც მომდევნო ელექტროლიტური რაფინირების ეტაპზე გამოიყენება. თუ გოგირდი არ განიღვნა, მაშინ მისი ნაწილი დაუსალასებულ საილენძში გახსნილ ჟანგბადს (0,5-0,8% O_2) შეუერთდება და წარმოქმნის აირად SO_2 -ს, რომელიც ჩამოსხმის დროს ბუშტულების სახით ჩარჩება გამაყარებულ საილენძში და ანოდის ხარისხს გააუარესებს.

საილენძის პირობეტალურგოული გადამუშავების აპარატურულ-ტექნოლოგიური სქემა, სხვადასხვა ეტაპზე წარმოქმნილი ნარჩენები, პროდუქტები და აგრეთვე საშიშროების პოტენციური წყაროები ნაჩვენებია IV.17. სურათზე.



ა - ცხელი დნობის ზედაპირები, სათბობი და ჟანგბადი, ცხელი და გუნე აირები, მტკერი სითბოს მიმომკელებლიდან, ნაწი, წნევის ტეშ მყოფი რეზერვუარები;

ბ - მაღალი ტემპერატურები (1100°C ან უფრო მაღალი), გამდნარი პროდუქტების გამოღნა და წყალიდან მათი შეზებისს აფეთების საშიშროება, ჟანგბადის სხვადასხვა წნევით გამოყენება, წარმაგალი აირების დიდი მოცულობა;

გ - გამდნარი მასალების გადატანა, აირის გააყრეა, გამდნარი მასალის გაშხეფეა და დაღეეა;

დ - გამდნარი მასალების გაშხეფეა და დაღეა, მძიმე ბოყეების გადააღეილება, ნელა მოძრაეი მექანიზმები.

სურ. IV.17. საილენძის პირობეტალურგოული გადამუშავების ეტაპებზე წარმოქმნილი ნარჩენები და საშიშროების პოტენციური წყაროება.

- ა - კანაბის მოშხადებისა და მასის შრადის ან გამოწვის ეტაპი; ბ - მარეველადი დნობის ეტაპი;
- გ - შეირადი დნობის (კონვერტირება და ცეცხლოვანი რაფინირება) ეტაპი; დ - ჩამოსხმის ეტაპი.
- 1 - მტკერადამტერი კოლექტორა; 2 - შრობის ან გამოწვის ღუმელი; 3 - სადნობი ღუმელი; 4 - კონვერტირეა;
- 5 - ცეცხლოვანი რაფინირების ღუმელი; 6 - კარუსელური სამსხმელი შანქანა; 7 - სტაციონარული ბოყეი;
- 8 - შეარი დიოთისი; 9 - წარმაგალი აირები; 10 - საყრისა წიდა; 11 - მტკერი გადამუშავებაზე; 12 - კონცენტრატა;
- 13 - ფლუსა; 14 - სათბობი, პაერი და ეანებადა; 15 - ფლუსა; 16 - წიდა; 17 - პაერი და ეანებადა; 18 - პაერი და აღმღენი რეაგენტები; 19 - შტეინი.

ელექტროლიზით სპილენძის ანოდების გასუფთავება ან გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარებიდან სპილენძის გამოლეკვა, ძირითადად, ანალოგიური პროცესებია — გასუფთავებული სპილენძი კათოდზე ილექება, ანოდი ან კათოდი აირებს გამოჰყოფს, ხოლო ელექტროლიტი გოგირდმჟავას მაღალი კონცენტრაციით განირჩევა.

ელექტროლიზური საამქრო ჩაკეტულ ნაგებობას წარმოადგენს. ელექტროლიზიდან წარმავალი აირებით წატაბებული მჟავას ნისლის გაპარვისა და შერბოაში დაგროვების შემთხვევაში ნაგებობისა და დანადგარების კოროზიისა და შრომის პირობების გაუარესების საშიშროება შეიქმნება. ამიტომ ელექტროლიზური საამქროს ნაგებობები სპეციალური სავეტილაციო მოწყობილობებითაა აღჭურვილი.

6.2. ნიკელი

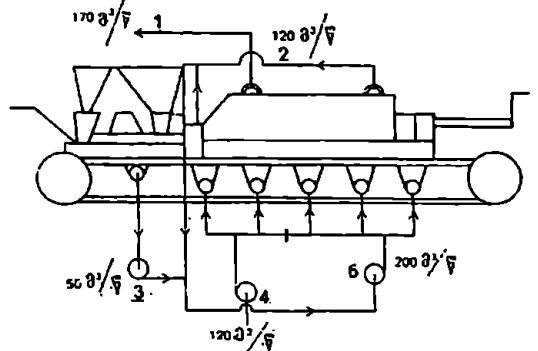
ნიკელის ნედლეულის მეტალურგიული გადამუშავება დიდად არ განსხვავდება სპილენძის გადამუშავებისაგან. მთელ რიგ მდენებში ნიკელი და სპილენძი სულფიდების სახით ერთადაა წარმოდგენილი. ასეთი მდენები ხშირად საერთო ზერხით გადამუშავებას ექვემდებარება ნიკელისა და სპილენძის განცალკევებამდე (კონვერტირებამდე). ხშირია შემთხვევები, როდესაც ნიკელის ნედლეულისთვის დამუშავებული პროცესები სპილენძის წარმოებაში გამოიყენება (მაგალითად, მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობა და ჟანგბადით კონვერტირება). ამიტომ დამტვირთებული აირის გასუფთავების, SO_2 -ის აირებისგან გამოყოფისა და აირებიდან სითბოს არინების ოპერაციები სპილენძის გადამუშავების დროს გამოყენებული ოპერაციების მსგავსია.

ნიკელის პრომეტალურგიული გადამუშავების სტადიებია: ნიკელის სულფიდური კონცენტრატის მრავალქვედიან ან მღელარე ფენის ლუმელში გამოწევა, ნაშეის დნობა. ზოგჯერ, სპილენძის პრომეტალურგიის მსგავსად, დნობას ნიკელის ნედლი კონცენტრატი ექვემდებარება, რისთვისაც ამრკელი, ელექტრო ან მასალის შეტივტივებულ მდგომარეობაში დნობის ლუმელები გამოიყენება. ნიკელის უწყვეტი დნობის პროცესები თანდათან ინერგება პრაქტიკაში.

6.3. ტყეცა

ტყეცა, ძირითადად, სულფიდური მდენების სახით მოიპოვება და იგი, თითქმის, მთლიანად პრომეტალურგიული ზერხით გადამუშავდება. შახტური ლუმელში აღდგენითი დნობის წინ ტყეცის სულფიდური კონცენტრატი სააგლომერაციო მანქანაზე (სურ. IV.18.) ჟანგვით გამოწევისა და აგლომერირებას (შეცხობას) ექვემდებარება. შახტური ლუმელში ტყეცის ოქსიდური აგლომერატის (ნაჭროვანი მასალის) კოქსთან ერთად დნობის დროს ტყეცა ოქსიდიდან აღდგენას განიცდის და ლითონის სახით მიიღება. სააგლომერაციო მანქანიდან და შახტური ლუმელიდან წარმავალი დიდი მოცულობის აირები მნიშვნელოვნადაა დამტვირთებული. მტერის დაჭერა და აირებისგან მისი განცალკევება შესაბამისი მტვერდამჭერი მოწყობილობებით ხორციელდება; მომსხო ნაწილაკების დასაჭერად საწვდომი კამერები გამოიყენება, ხოლო წერილი ყრაქცია ელექტროსტატიკურ სალიქებში ან ტომარა ფილტრით დაჭერას ექვემდებარება.

სააგლომერაციო მანქანიდან და შახტური ლუმელიდან წარმავალი მყარი ნაწილაკებისა და აირების საყარაულო რაოდენობა ნაწილებია IV.4. ცხრილში. წონის მიხედვით 1 წილი ტყეცის მისაღებად 2



სურ. IV.18. სააგლომერაციო მანქანაში წარმოქმნილი აირის ნაკადების საყარაულო მოცულობები (მ³/წთ).

1 აირი ვაფირდმჟავას წარმოქმნაში; 2 აირი რეცირკულაციას; 3 სააღებელი აირის ვენტილატორი; 4 პაერის ვენტილატორი; 5 ვენტილატორი აირის რეცირკულაციისთვის.

წილი კონცენტრაცია საჭირო, როგორც წესი, წარმავალ აირებში SO₂-ის კონცენტრაცია დაბალია და მათი გამოყენება გოგირდშეყვას წარმოებაში ეკონომიკურად გაუმართლებელია.

ცხრილი IV.4.

სააგლომერაციო მანქანაში და შახტურ ლუმელში წარმოქმნილი ნაწილაკები და აირები

პროცესი	მყარი ნაწილაკები, გ/მ ³	აირის მოცულობა, მ ³	SO ₂ -ის შემცველობა, %
სააგლომერაციო მანქანაზე შექსნა	2-15	3000 ერთა ტონა აგლომერატზე	1,5-5
დნობა შახტურ ლუმელში	5-15	15000-450000 ერთა ტონა კოქსზე	-

6.4. თუთია

თუთიის ძირითად სანედლეულო წყაროს ტყვია-თუთიის მადნები წარმოადგენს. მადნების ფლოტაციური გაამდიდრებით თუთიის სელექტიური კონცენტრატი მიიღება. ლითონური თუთიის მიღების მიზნით თუთიის სულფიდური კონცენტრატი პირობეტალურგოული ან გაერთიანებული ჰიო და ჰიდრომეტალურგოული ზერხებით გადამამუშავდება. პირობეტალურგოულ გადამამუშავებაში შედის შემდეგი ეტაპები: თუთიის სულფიდური კონცენტრატის გამოწევა, რომელიც გოგირდის ძირითადი ნაწილის განდევნასა და თუთიის ოქსიდური ნაწილის მიღებას ითვალისწინებს; ნაწილის აგლომერაცია, რომელიც ჩარჩენილი გოგირდის განდევნასა და დაქუცმაცებული ნაწილის ფორიან აგლომერატში გადაყვანას ითვალისწინებს; ვერტიკალურ ან ჰორიზონტალურ რეტორტაში ან შახტურ ლუმელში ZnO-ის ნახშირბადით აღდგენა, რომელიც ლითონური თუთიის მიღებას ითვალისწინებს.

უანგვითი გამოწევა თუთიის სულფიდის მაქსიმალურ დაყვანას უნდა ითვალისწინებდეს, ვინაიდან რეტორტაში ნახშირბადით თუთიის აღდგენა მხოლოდ ZnO-დან შეიძლება. თუ ნაწილში თუთია ZnS-ის სახითაა ჩარჩენილი, მაშინ იგი ნარჩენში გადავა და დაიკარგება. გამოწევის დროს, როგორც წესი, ლუმელში ჩატვირთულ კაშხში შემავალი გოგირდის 93-97% გადადის (იყანგება) SO₂-ში. ყვეტური გამოწევის მიზნით სხვადასხვა გამოსაწევი ლუმელი (მრავალკვდიანი ლუმელი, მასალის შეტვიტვიტებულ მდგომარეობაში ან მდულარე ფენაში გამოსაწევი ლუმელი და სააგლომერაციო მანქანა) ან მათი კომბინაციები გამოიყენება. სხვადასხვა სახის ლუმელიდან წარმავალი აირების ტემპერატურებისა და მათში შემავალი მყარი ნაწილაკებისა და SO₂-ის რაოდენობრივი საყარაულო სიდიდეები წარმოდგენილია IV.5. ცხრილში

ცხრილი IV.5.

სხვადასხვა გამოსაწევი ლუმელიდან გამოყოფილი აირები და მათი შემადგენლობები

ლუმელის ტიპი	მყარი ნაწილაკები აირში, % კაშხის რაოდენობიდან	SO ₂ -ის შემცველობა, %	აირის ტემპერატურა, °C
მრავალკვდიანი ლუმელი	5-15	4,5-6,5	704
შეტვიტვიტებულ მდგომარეობაში გამოსაწევი ლუმელი	50	8-12	982
მდულარე ფენაში გამოსაწევი ლუმელი	15-50	9-12	927

მრავალკვდიან ლუმელიდან წარმავალი აირი საკმაო რაოდენობით შეიცავს SO₂-ს და მისი გამოყენება შეიძლება გოგირდშეყვას წარმოებაში, ხოლო შეტვიტვიტებულ მდგომარეობაში და მდულარე ფენაში მასალის გამოსაწევი ლუმელიდან წარმავალ აირებში SO₂-ის შემცველობა გაცილებით მეტია და მათი გამოყენება ელემენტური გოგირდის მიღების მიზნით უფრო მიზანშეწონილია.

მასალის შეტვიტვიტებულ მდგომარეობაში და მდულარე ფენაში გამოსაწევი ლუმელიდან წარმავალი ამტვერიანებული ცხელი აირები, სითბოს არინების მიზნით, ჯერ ბოილერში შედის, ხოლო შემდეგ ციკლინებსა და ელექტროსტატიკურ სალექტებში მტერისგან სუფთავდება. განკალკევიტური მტერი სააგლომერაციო მანქანაზე გადასამუშავებულ მასალასთან ირევა, ხოლო გასუფთავებული აირები გოგირდის წარმოებაში გამოიყენება.

რეტორტებში და შახტურ ლუმელში გადამამუშავების მიზნით წმინდად დაქუცმაცებული თუთიის ოქსიდური ნაწილი (ზემოთ ჩამოთვლილი ლუმელიდან მიღებული) სააგლომერაციო მანქანაზე

ან დაბრიკეტებისა და შემდგომი შეცხოვის გზით გამსხვილებას ექვემდებარება. ამ ოპერაციების დროს ნაშენში ჩარჩინილი გოგირდის განდენაც ხდება. შეცხოვის პროცესების დროს გამოყოფილი დაბტვერიანებული აირები (ცხრილი IV.6.) ელექტროსტატიკურ საღეშში ან საცმან სარეცხულაში სუფთავდება მტვერისგან; გასუფთავებული აირი, მასში SO₂-ის დაბალი შემცველობის გამო, საკმალო ბილი შედის და ატმოსფეროში იფანტება.

ცხრილი IV.6.

აგლომერატისა და ბრიკეტების შეცხოვის დროს გამოყოფილი აირების სავარაუდო შემადგენლობა

გადასამუშავებელი მასალა	S-ის შემცველობა გადასამუშავებელ მასალაში, %	მყარი ნაწილაკები, % გადასამუშავებელი მასალის რაოდენობიდან	SO ₂ -ის შემცველობა აირში, %
ნაშენი	8	5	1,5-2
ნაშენი	2	5-7	0,1
კონცენტრირებული (80% რეაგენტობის)	31	5-10	1,7-2,4

თუთიის ნედლეულის პირობეტალირგიული გადაამუშავების ბოლო ეტაპი თუთიის ოქსიდის ნახშირბადით ლითონამდე აღდგენის (რეაქცია III.79.) პროცესია, რომელიც რეტორტებში ან მასტურ ლუმელში ტარდება. ვერტიკალურ რეტორტიდან გამოყოფილ აირში მყარი ნაწილაკების შემცველობა 1,25-დან 3,75 გ/მ³ შეადგენს, ხოლო პორიზონტალურ რეტორტის აირებში ნაწილაკების შემცველობა 0,1-0,3 გ/მ³-ია.

რეტორტაში პროცესები შვიდიდან მიმდინარეობს; რეტორტებს სითბო გარედან მიეწოდება, შიგნით კი ლითონური თუთიის ორთქლი და ნახშირბადის მონოოქსიდი გამოიყოფა. ორთქლიდან თუთია თხევადი ლითონის სახით კონდენსირდება, ხოლო CO-ს შემცველი აირი (მხოლოდ ვერტიკალური რეტორტიდან გამოყოფილი) სათბობთან ერთად გამოიყენება დამატებითი სითბოს წყაროს სახით. პორიზონტალური რეტორტიდან გამოყოფილ აირებში შემავალი CO სათბობის სახით არ გამოიყენება და ამიტომ ცხელი კონდენსატორიდან გამოსვლისთანავე სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით CO₂-მდე იწვევა.

მასტურ ლუმელში აგლომერატის გადაამუშავების დროსაც გამოიყოფა CO, თუმცა ლუმელის ქმინებიდან შეხერილი ჰაერით CO გაზაუებას განიცდის (გაზაუების შედეგად წარმავალი აირებში CO-ს შემცველობა 15%-მდე ვარდება) და მისი კალორიულობა საგრძობლად მცირდება. აირი სარეცხულა კოლექტორში გასუფთავების შემდეგ საცივარში შედის, სადაც მისი ტემპერატურა 40°C-მდე ვარდება და იგი დამატებით სუფთავდება. გასუფთავებული აირი ქმინებში შემავალი ჰაერის წინასწარი გაზურების სისტემაში გამოიყენება.

გამოწვა-გამოტუტვის ხერხით (პირო და პიდრომეტალურგიული პროცესებით) თუთიის გადაამუშავების დროს პირველ ეტაპზე პირომეტალურგიული ხერხი – ენგეითი გამოწვის პროცესი გამოიყენება, ხოლო მომდევნო ეტაპზე გადაამუშავება პიდრომეტალურგიული ხერხით ხორციელდება. პირველ ეტაპზე თუთიის კონცენტრატის გამოწვის შედეგად გამოყოფილი აირები გოგირდმტავის წარმოებაში გამოიყენება. აირების მტვერისგან გასუფთავება ზემოთ აღწერილი მეთოდებით ხდება.

6.5. დარიშხანის

დარიშხანანი მადნების გამოწვის დროს სააქროსა და ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფეროში შესაძლებელია დარიშხანის ანაიდრიდის (თეთრი დარიშხანის, As₂O₃) ორთქლისა და შეტივტრებული ნაწილაკების მოხვედრა. მათი სასუნთქ ორგანოებში და კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში შეღწევა დარიშხანით მძიმე და ქრონიკულ მოწამვლას იწვევს.

თეთრი დარიშხანის მოხვედრა სისხლში სისხლის შედეგებას იწვევს, რის შედეგადაც დაბლა (პარალიზი) ვითარდება. შეინიშნება აგრეთვე ლორწოვანი გარსისა და კანის დაზიანება. თეთრი დარიშხანის ტოქსიკური დოზა ადამიანისთვის 0,01-0,052 გ შეადგენს, ხოლო სასიცვლილო დოზა – 0,06-0,2 გ-ს. საწარმოს შენობების ქაერში თეთრი დარიშხანის (As₂O₃ და As₂O₅) ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 0,3 მგ/მ³ არ უნდა აღემატებოდეს. გამოსაწევ და სხვა ტიპის ლუმელებში

დადებითი წნევის განვითარებისას თეთრი დარიშხანის ორთქლი საამქროს ატმოსფეროში ზელება. თეთრი დარიშხანი კონცენტრირდება კოლექტორებით დაჭერილ მტერში, რომელიც დარიშხანის მდენისა და კონცენტრატების გამოწვისა და დნობის პროცესში წარმოიქმნება. ამიტომ, აირსაღწევის გასუფთავება, მტვერდამჭერი მოწყობილობების შენეღრევა და გასუფთავება, მტერის გადაზიდვა და მისი კაზმვა განსაკუთრებულ სიფრთხილეს საჭიროებს. საამქროს შენობებში დამზღარი მტერის რეგულარული მოცილება, იატაკების რეცხვა და კედლების შეთეთრება მომსახურე პერსონალს დარიშხანით მოწამელისგან იცავს.

უფრო საშიში ტოქსიკური ნაერთის, აირადი დარიშხანოვანი წყალბადის (არსინის, AsH₃) წარმოქმნის წყაროს წარმოადგენს დარიშხანის ნაერთების მჟავა ხსნარები. არსინი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც გამოტუტვის აპარატებისა და ფილტრების ამონავის დაშლის შედეგად მჟავა ხსნარის რკინასთან შეხების პირობები იქმნება (არსინის შესუნთქვა სასიკვდილოა).

განსაკუთრებით საშიშია დარიშხანოვანი ანართმეები, რომლებიც კალის რაფინირების (ალუმინის გამოყენებით) პროცესში წარმოიქმნება. ანართმეში შემაჯალი დარიშხანი (AlAs) ჰაერის ტენთან ურთიერთქმედებით არსინს წარმოქმნის:



ამიტომ ანართმეის საამქროში და საცაებში შენახვა დაუშვებელია. ქვაბიდან გადმოღებისთანავე ანართმეები გადაამუშავებაზე უნდა გაიზავნოს. არსინისგან თავის დასაცავად ჩვეულებრივი აირწინალი გამოუსადეგარია. არსინის შთანთქმისთვის გამოიყენება სპეციალური აირწინალი, რომელიც ყოველთვის უნდა ინახებოდეს საამქროში, არსინის (AsH₃) ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია (ზღკ) ჰაერში არ უნდა აღემატებოდეს 0,0003 მკ/მ³.

ბალზე ტოქსიკურია აგრეთვე დარიშხანის ქლორიდი (AsCl₃), რომელიც დარიშხანოვანი მასალების ქლორთან ან მარილმჟავასთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება.

დარიშხანის ტოქსიკური ნაერთებისგან თავდაცვის მიზნით აუცილებელია დანადგარების მაქსიმალური ჰერმეტიზაცია, დარიშხანის ნაერთებთან უშუალო კონტაქტისგან თავის არიდება, საწარმო შენობებში მძლავრი მომდენი და გამწოვი ვენტილაციისა და აგრეთვე ადგილობრივი გაწოვის სისტემების დაყენება, ინდივიდუალური თავდაცვის საშუალებების გამოყენება.

უსაფრთხო მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით მომსახურე პერსონალის მიერ აუცილებელია შემდეგი პირობების დაცვა:

– საამქროში და სამუშაო ადგილზე სისუფთავის უზრუნველყოფა; დარიშხანშემცველი ხსნარებისა და მტერის საამქროში დაგროვების დაუშვებლობა;

– სამუშაოს დაწყების წინ საკუთარი ტანსაცმლის მთლიანად გახდა და სპეცტანსაცმლის – საცვალი თეთრეულის და ხშულად სახური მჭიდრო ტანსაცმლის (სპეციალური კაპიშონებით) ჩაცმა;

– მტერიგერ დარიშხანშემცველ პროდუქტებთან მუშაობის დროს დამცავი სათვალის გამოყენება, რეზინის ხელთათმანისა და რეზინის ჩექმების ჩაცმა. ხელთათმანის ჩაცმის წინ ხელების საწინთ გულმოდგინედ დაბანვა და შრობა;

– სამუშაოს დამთავრების შემდეგ შხაპის ქვეშ თბილი წყლითა და საწინთ დაბანვა; სპეცტანსაცმლის, სათვალის, ხელთათმანების და ჩექმების ტანსაცმლის სპეციალურ გასახდელ განყოფილებაში დატოვება.

მოწამელის თავიდან აცილების მიზნით კატეგორიულად აკრძალულია საამქროში მოწევა და ჭამა. შხამსაწინააღმდეგო საშუალებას წარმოადგენს მზე და კაზინი; მათი მიღებით წარმოიქმნება დარიშხანის უსსნადი ნაერთები, რომელიც სისხლით არ შეიწოვება.

6.6. ოქრო

6.6.1. ოქროს წარმოების ჩამონადენი წყლების გასუფთავება

ოქროშემცველი მდენების ჰიდრომეტალურგოული გადაამუშავების დროს წარმოიქმნება ჩამონადენები – გამოიქროვებული ხსნარები, ეკუეუმ-ფილტრების განაჟლებული კევი, სორციის პროცესის

კულები და ა.შ. ჩამონადენების თხევადი ფაზა შეიცავს ისეთ მავნე კომპონენტებს, როგორიცაა ციანიდი და როდანიდი იონები, რკინის, თუთიის, სპილენძის, სიკლის და დარიშხანის, ტყვიისა და ვერცხლისწყლის ნაერთების კომპლექსური ციანანი ანიონები. იმ შემთხვევაში, თუ დაციანებასთან ერთად ფლოტაციურს გამოიღრუბაც გამოიყენება, მაშინ ჩამონადენი წყლების შემცველობაში შეინიშნება ორგანული ფლოტორეაგენტებიც – ქსანტოგენატები, ფიჭვის ზეთი და ა.შ.

ნარჩენების (კულების) საცავეში გადაადგილებამდე ჩამონადენის გაუვნებლბა აუცილებელია. წინააღმდეგ შემთხვევაში, საცავის კალაპოტიდან და ჯებირებიდან გაჟონით შესაძლებელია გრუნტის და ზედაპირული წყლების გაჭურჭყიანება, ხოლო ართქლებით – ატმოსფეროსი.

რეკომენდებულია, რომ გაუვნებლბა ზღერულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (ზღკ) ჩატარდეს. ჩამონადენებში მავნე ნივთიერებების შემცველობა დამოკიდებულია საწარმოს მიერ გამოყენებულ ტექნოლოგიურ სქემაზე, გადასამუშავებელი მადნის ნივთიერ შემადგენლობაზე და სხვა ფაქტორებზე. თუმცა, ყველა შემთხვევაში მავნე ნივთიერების შემცველობა ზღკ-ს აღემატება. ასე მაგალითად, ციანიდებისა და როდანიდების (CN⁻ და CNS⁻ იონებზე გადათვლით) კონცენტრაციამ შეიძლება მიაღწიოს 200-500, თუთიის 100-200, დარიშხანის 20-40, სპილენძის 40-50 მგ/ლ-ს. ამიტომ კულების საცავეში მოთავსებამდე ჩამონადენის გაუვნებლბა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

ქვემოთ, IV.7. ცხრილში მოყვანილია წყალსატევების წყალში ზოგიერთი მავნე ნივთიერების ზღერული დასაშვები კონცენტრაციები.

ცხრილი IV.7.

მაკნე ნივთიერებების ზღერული დასაშვები კონცენტრაციები წყალში

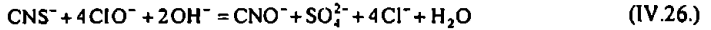
მაკნე ნივთიერებები	წყალსატევებში კონცენტრაცია მგ/ლ	
	სასმელი წყალი	თევზ-სამყურნო წყალი
ციანიდები	0,1	0,05
როდანიდები	0,1	-
რკინა	0,5	0,05
თუთია	1,0	0,01
სპილენძი	1,0	0,01
სიკლი	0,1	0,01
კობალტი	1,0	0,01
ტყვია	0,1	0,1
დარიშხანი	0,05	0,01
ვერცხლისწყალი	0,005	0,001
აქტიური ქლორი	არ არის	არ არის
თიონარდოფანა	0,03	-
ბეტაინის ქსანტოგენატი	0,001	0,03
ფიჭვის ზეთი	-	0,1

ოქროს საწარმოს ჩამონადენი წყლების გაუვნებლების სხედასხვა მეთოდები გამოიყენება.

ზოგიერთ საწარმომ ჩამონადენების გაუვნებლების მიზნით ციანიდი წყალბადციანმეაქას სახათ არში გადაყვანას ექვემდებარება. ამისათვის ხსნარები გოვირდმეაქათ ან გოვირდოქანი არ:თ შემეყვებასა (pH 2,8-3,5) და ჰერით გაქრეას განიცდის. წარმოქმნილი წყალბადციანმეაქას ორთქლის ნაკადის ტუტე ხსნარით სარწყავ ვერტიკალურ კოშკში (აბსორბერში) გატარებით დაჭირება და ციანანი ხსნარის სახით დაციანების პროცესს უბრუნდება. ციანიდის მნიშვნელოვანი ნაწილის რეგენერაცია ამ მეთოდის უპირატესობას წარმოადგენს, ხოლო მისი ნაკლია ხსნარის არასრული გასუფთავება, რაც იმით აიხსნება, რომ შემეყვების კომპლექსური ციანოქანი ანიონები მხოლოდ ნაწილობრივ განიცდის დამლას. ამიტომ აუცილებელი ხდება ჩამონადენების დამატებითი გასუფთავება.

ჩამონადენი წყლების გასუფთავების უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს ციანოქანი ნაერთების ნატროუმის ჰიპოქლორიტით (NaOCl), კალციუმის ჰიდროქლორიტით [Ca(OCl)₂] ან ქლორკრით Ca(OCl)₂ დაყენება. ამასთან, მარტივი და კომპლექსური ციანიდები და აგრეთვე როდანიდი-იონები არატოქსიკური CNO⁻-ის ციანატ-იონებამდე იყანება:

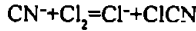




წარმოქმნილი ციანატი ჰიდროლიზს ექვემდებარება. ერთდროულად იყენება აგრეთვე ზოგიერთი ფლოტორაგენტები. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ოქროს წარმოებაში. გაუწებლების რეაგენტის სახით, როგორც წესი, გამოიყენება ყველაზე იაფი ქლორკირი, რომელიც ქლოროვანი მჟავასა და მარილმჟავას შერეულ მარილს ($\text{Ca} < \text{OCl}$) წარმოადგენს. გაუწებლებას ექვემდებარება როგორც

ხსნარები, ასევე უშუალოდ პულპაც. პულპის შემთხვევაში ქლორკირის ხარჯი მნიშვნელოვნად იზრდება, რადგანაც OCl^- იონების ნაწილი უსარგებლოდ იხარჯება მაღანში შემაჯალი სულფიდების დაჟანგვაზე.

ციანოვანი ნაერთების დასაქანვად გამოიყენება ქლორიც. მისი მოქმედება ჰიპოქლორიტისა და ქლორკირის ანალოგიურია. ამ შემთხვევაში გადასამუშავებელ ხსნარს ემატება კირი, ვინაიდან მჟავა გარემოში ქლორციანის შესამინი (აირადი) ნაერთი (ClCN) წარმოიქმნება:

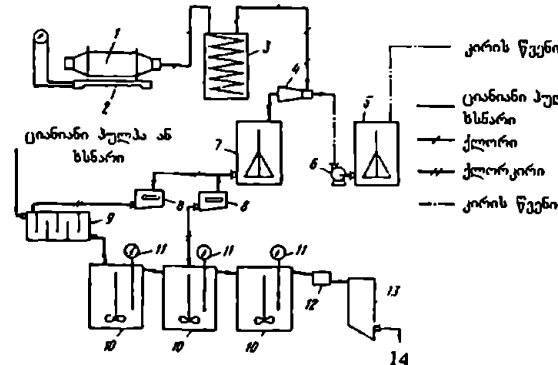


პრაქტიკაში უფრო მოსახერხებელია ჩამონადენის არა პირდაპირ ქლორით დამუშავება, არამედ ჯერ ქლორკირის მიღება და შემდეგ მისი გამოყენებით ჩამონადენის გაუწებებლება.

ციანოვანი ჩამონადენების ქლორით გაუწებებლების აპარატურული სქემა ნაჩვენებია IV.19. სურათზე. სასწორზე (2) მოთავსებულ კონტინერიდან (1) თხევადი ქლორი საორთქლებელში (3) შედის. ორთქლის მდგომარეობაში გადასული ქლორი, საორთქლებლიდან გადადის ეფექტორში (4), რომელშიც კოლიდან (5) ტუმბოს (6) დასმარებით ჩადის აგრეთვე კირის წვენი. ეფექტორის მუშა კამერაში კირის წვენის აირად ქლორთან შერევით ქლორკირი წარმოიქმნება. ქლორკირის ხსნარი გროვდება შემკრებში (7), საიდანაც დონატორების (8) მეშვეობით გაუწებებაზე გადადის.

გადასამუშავებელი ციანიანი პულპა ჯერ შემრევი (9) შედის, ზოლო იქიდან თანმიმდევრულად განლაგებული კოდების ჯაჭვში (10) გადადის. ციანილის ნარჩენი კონცენტრაცია ციანსაზოშით (11) განისაზღვრება.

გაუწებლების კარგ მენაგე რეაგენტს წარმოადგენს ოზონი, რომელიც აირად ფანგბაღზე ან ჰაერზე ელექტროგანმუხტვის ზემოქმედებით მიიღება. ჩამონადენი წყლების ოზონირება მარტივი და კომპლექსური ციანიდების, როდანიდების და რიგი ორგანული ფლოტორაგენტების ღრმა ჟანგვას

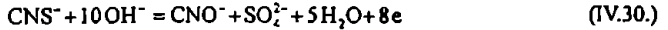


სურ. IV.19. ციანოვანი ჩამონადენების ქლორით გაუწებების აპარატურული სქემა.

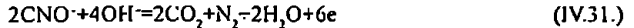
1. თხევადი ქლორის კონტინერი; 2. სასწორი; 3. საორთქლებელი;
4. ეფექტორი; 5. კოლი; 6. ტუმბო; 7. ქლორკირის შემკრები; 8. დონატორი;
9. შემრევი; 10. კოდები; 11. ციანსაზოში; 12. ფლტორი; 13. შემკრები;
14. კუდების საცავიკენ.

უზრუნველყოფს. ჰიპოქლორიტთან შედარებით ოზონის უპირატესობა ისაა, რომ იგი თავისი დაშლის პროდუქტებით არ ატოქსიანებს ჩამონადენებს. ოზონის გამოყენება შეზღუდულია ოზონატორების არასრულყოფილი კონსტრუქციისა და ელექტროენერგიის მაღალი ხარჯის გამო.

ჩამონადენ წყლებში ციანოვანი ნაერთების მაღალი შემცველობის დროს წყლების გაუწებლებისთვის შეიძლება ანოდური ჟანგვის მეთოდის გამოყენება. ამ პროცესის განხორციელების მიზნით გასასუფთავებელ ხსნარში მუდმივი დენი ტარდება, რის შედეგადაც ანოდზე ციანოვანი ნაერთები ციანატ-იონებად იყვანება:



ციანატ-იონები (CNO^-) ნაწილობრივ ჰიდროლიზს განიცდის, ნაწილობრივ კი ანოდზე იჟანგება ნახშირბადად და აზოტის წარმოქმნით:



თუ ხსნარი Cl-ს შეიცავს, მაშინ ანოდზე აირადი ქლორი გამოიყოფა. ქლორიც ვანგავს ციანოვან ნაერთებს და ამით გასუფთავების პროცესის დაჩქარებას ხელს უწყობს.

ციანიდების გარდა ჩამონადენი წყლების შემადგენლობაში ხშირად შედის დარიშხანი. თუ ოქროს გადამუშავების ტექნოლოგიურ სქემაში ამლუგამაციის პროცესიც გამოიყენება, მაშინ ჩამონადენებში შეიძლება ვერცხლისწყალად შედიოდეს. დარიშხანის განდენის მიზნით ხსნარს რკინის აჯასაბი ემატება. თუ ამ ოპერაციას წინ უბღვის ქლორკრით ციანიდებისგან გასუფთავება, მაშინ ჩამონადენი, როგორც წესი, ჭარბად შეიცავს ქლორკრის, რის გამოც რკინა სამულენტან რკინაზე იჟანგება და ჰიდროქსიდის $\text{Fe}(\text{OH})_3$ სახით ილექება, რკინის ჰიდროქსიდის ფოქებზე დარიშხანი აღსორბირებას განიცდის და შედეგად დარიშხანის შემცველობა ჩამონადენში იმდენად მცირდება, რომ მისი კულების საცაეში გადავლება დასაშვები ხდება. ვერცხლისწყლისგან გასუფთავება გოგირდიანი ნატრიუმის დახმარებით ხორციელდება. წარმოქმნილი ვერცხლისწყლის სულფიდის კოაგულაციისა და ჭარბი სულფიდ-იონის შეკერის მიზნით რკინის აჯასაბი გამოიყენება.

ჩამონადენების გაუვნებლების მიზნით ფართო გამოყენებას პოულობს იონმიმოცვლის ფისები. იონმიმოცვლის ხერხი ჩამონადენი წყლების არა მარტო პრაქტიკულად სრული გასუფთავების შესაძლებლობა იძლევა, არამედ ერთდროულად წყლებიდან ციანიდების და ფერადი ლითონების ამოღებასაც უზრუნველყოფს. თუმცა, ეს მეთოდი ჯერ კიდევ სირთულითა და სიძვირით გამოირჩევა.

ოქროს წარმოების ჩამონადენი წყლების გასუფთავება აუცილებელია, თუმცა, იგი ბუნებრივი წყალსატევების გაჭუჭყიანებისგან დაიცის არასაკმარის პარობას წარმოადგენს. პრობლემის რადიკალური გადაწყვეტისთვის საჭირო ხდება ჩამონადენების გასუფთავების სრული წყალბრუნის ორგანიზაციასთან მთავსება, რომლის დროსაც ჩამონადენი წყლები ბუნებრივ წყალსატევებში კი არ გადაიტუმბება, არამედ განმეორებითი გამოყენების მიზნით წარმოებაში ბრუნდება. ამ შემთხვევაში მკვეთრად მცირდება ახალი წყლის ხარჯვა, ვინაიდან წყალი მხოლოდ ხსნარის დანაკარგების შესავსებად გამოიყება (ხსნარი იკარგება აორთქლებით, ფოლტრაციის შედეგად, კულებთან ერთად და ა.შ.).

6.6.2. ციანდებთან მუშაობის უსაფრთხოების ტექნიკა

ოქროშემცველი მადნების გადამუშავების დროს ბლოკირდომწამელელი ვერცხლისწყალი და ციანიდი გამოიყენება. ამიტომ უბედური შემთხვევების თავიდან აცილების მიზნით მომსახურე პერსონალის მიერ აუცილებელია უსაფრთხოების ტექნიკის განსაზღვრული წესების დაცვა. მომსახურე პერსონალი ყოველი უბნის მომსახურების წესებს უნდა გაეცნოს. ყველა ქარხანაში აუცილებელია უსაფრთხო მუშაობის მეთოდების დაწვრილებითი წესებისა და ვერცხლისწყალთან და ციანიდებთან მუშაობის ინსტრუქციების დამუშავება. წესები და ინსტრუქციები სამუშაო ადგილებზე უნდა გამოიკრას.

ვერცხლმწყალთ მოწამელა მისი ორთქლის შესუნთქვითა და ვერცხლისწყლის ნაერთების კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში მოხვედრით ხდება.

ქრონიკული მოწამელის შემთხვევაში (ორგანიზმზე ვერცხლისწყლის ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგად ვითარდება) ნერვიული სისტემის ნორმალური მუშაობა ირღვევა, შეინიშნება სწრაფი დაღლილობა, მოთენთილობა, გაღიზიანება, თავის ტკივილი, ღრძილების დაპერჯა და ღრძილებიდან სისხლის დენა, გულიწრევა, მუცლის ტკივილი. მძიმე მოწამელის დროს დაშავებული ექიმის მისვლამდე გარეთ უნდა მოთავსდეს მუშთა ჰაერზე.

შენობების შიგნით ჰაერი, ზღკ-ს მიხედვით, 0,01 მგ/მ³ უფრო მეტ ვერცხლისწყალს არ უნდა შეიცავდეს. ამაღამაციის პროცესი უნდა ტარდებოდეს საეკოლოურ შენობაში, რომელიც მოძღვნი და

გაწეული სავენტილაციო სისტემებითა და ადგილობრივი ჰაერის გაწევის მოწყობილობებითაა აღჭურვილი. ამაღამის დამუშავების პროცესები მაქსიმალურად უნდა იყოს მექანიზებული და ავტომატიზებული, რათა მომსახურე პერსონალის ვერცხლისწყალთან კონტაქტი გამოირიცხოს. ვერცხლისწყლისა და ამაღამის სამუშაო მაგიდები გლევი და მკერევი ზედაპირით უნდა გამოირჩეოდეს (საჭიროა მაგიდების ლინოლიუმით ან ფოლადის ფურცლით გადაკერა). შენობებში აუცილებელია იატაკების სისტემატური სველი წმენდა და დაღვრილი ვერცხლისწყლის საეციალური საჭერით დაჭერა. ვერცხლისწყალთან და ამაღამასთან მუშაობა მხოლოდ რუზინის ხელთათმანების გამოყენებით უნდა ხდებოდეს.

განსაკუთრებული სიფრთხილეა საჭირო ამაღამის გამოორთქლის დროს. გამოორთქლის ღუმელები ცალკე შენობებში უნდა იყოს განლაგებული და სავენტილაციო სისტემით აღჭურვილი. რეტორტები ასბესტის შუასაღებების გამოყენებით პერმეტულად უნდა იხურებოდეს თავსახურაგით. დაუსაღასებელი ოქროს ვაღმორტირთვა შეიძლება მხოლოდ ვერცხლისწყლის მთლიანად აქროლისა და რეტორტის გაციეების შემდეგ.

საჭმლის მიღება დამუშავდნა მხოლოდ საეციალურ ადგილებში. სამუშაოს დამთავრებისთანავე მომსახურე პერსონალმა საექტანსაცმელის გახდის შემდეგ შხაპი უნდა მიიღოს და კბილები პერმანგანატის ხსნარით უნდა გაიწმინდოს.

ციანიდებით მოწამულა წყალბადციანმეავას ორთქლის შესუნთქვით ან ციანიდების კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში მოხვედრით ხდება. შესაძლებელია აგრეთვე ციანიდის შეღწევა სისხლში ჭრილობებიდან.

მოწამულის სიმპტომებია თვალის ღორწოვანი გარსის, საყლაპავისა და ზედა სასუნთქი გზების გაღიზიანება, ნერწყვედნა, თავის ტკივილი, გულის რევა, ღებინება, გულის ფრიალი, ქოშინი. მძიმე მოწამულის შემთხვევაში, გარდა ამისა, შეინიშნება პირისა და სახის გამშვება, გონების ბუნდოვანება და დაკარგვა, კრუნჩხვები, პულსის არქარება, გუგების გაფართოება, სახის სიმკრთალე, შეგრძნებისა და რეულექსების დაკარგვა, ქაფი პირიდან, სხეულის ტემპერატურისა და სისხლის წნევის ვარდნა, სუნთქვის გარკება და გულის პარალიზისგან სიკვდილი.

წყალბადციანმეავათი მოწამულის შემთხვევაში დამუშავდნს ამილნიტრატის ხსნარს ასუნთქებენ და იგი სუფთა ჰაერზე გაკაყთ; საჭიროების შემთხვევაში ზელოვნურ სუნთქვას უტარებენ. თუ ციანიდი (ხსნარში გახსნილი ან მყარი სახით) კუჭ-ნაწლავიდან სხეულში შეიჭრა, დამუშავდნს კალუმის პერმანგანატის 0,4%-იან ხსნარს ან 2%-იან წყალბადის ზეჟანგს აძლევენ, სოლო შემდეგ საყლაპავის ედლებს გაღიზიანებით ღებინებას აწყვებინებენ. ცნობილია სხვა შხამსაწინააღმდეგო საშუალებებიც. პირველი დახმარება ექიმის მოსვლამდე უნდა ჩატარდეს. სამუშაო შენობებში წყალბადციანმეავას ზღვ 0,3 მგ/მ³ არ უნდა აღემატებოდეს.

ციანთან ხსნარებთან დაკავშირებული სამუშაოების ჩასატარებლად განკუთვნილი ყველა შენობა საერთო და ადგილობრივი ვენტილაციის სისტემებით უნდა იყოს აღჭურვილი. ზოგ საწარმოში დაყენებულია სიგნალიზაციის ავტომატური სისტემა, რომელიც სამუშაო შენობებში წყალბადციანმეავას საშიშ დონემდე გაზრდის დროს სინათლის ან ზმოჯან სიგნალს იძლევა.

გარემოს გაჭუჭყიანების თავიდან აცილების მიზნით სავენტილაციო სისტემებიდან წარმავალი ჰაერი გასუფთავებას ექვემდებარება მასში მავნე ნივთიერებების ზღვ-მდე. ერთ შენობაში დაუშვებელია დაციანების პროცესთან ან ციანმეავად პროდუქტებთან დაკავშირებულ სხვა რომელიმე სამუშაოსთან ერთად მევა გარემოში მიმდინარე პროცესების ჩატარება.

შემთხვევითი გადმოსხმების გამოიცხვის მიზნით ციანანი ხსნარების ტექვადობები (აგიტატორები, სასქვლები, პანუკ კოდები, სარეგენერაციო სექტები და ა.შ.) აღჭურვილი უნდა იყოს გადასასხელი მიღებითა და ავტომატური მოწყობილობებით. ტექნოლოგიური პროცესის კონტროლი და დანადგარების მუშაობის მართვა მაქსიმალურად ავტომატიზებულ პირობებში დისტანციურად უნდა ხდებოდეს.

განსაკუთრებული სიფრთხილეა საჭირო შენობებში, სადაც მზადდება ციანოვანი ნატრიუმის ძლიერი (10%-ანი) ხსნარი, რომელიც ტექნოლოგიურ ხსნარებში სამუშაო კონცენტრაციის შესანარჩუნებლად გამოიყენება. ეს ოპერაცია ტარდება საეციალურ იზოლირებულ შენობაში, სადაც უცხო პირის დამუშავა აკრძალულია. ხსნარის მომზადების ყველა სამუშაო შეძლებისდაგვარად, მექანიზებული და ავტომატიზებული სისტემების გამოყენებით უნდა ტარდებოდეს. საერთო და

სავარაო ვენტილაციის სისტემების გარდა გათვალისწინებული უნდა იყოს აგრეთვე ადგილობრივი გაწოვა კოდეზიდან, რომლებშიც ციანიდების გახსნის პროცესი ტარდება. ციანოვანი ნატრიუმის ტარა ქლორკარით ან რკინის აუქსაპით დაუპირებლოვ გაუგებლებას ექვემდებარება. ციანიანი ნატრიუმის ხსნარების ტევადობები უნდა განირჩეოდეს წარწერით „შხაპი“ და გამაფრთხილებელი ნიშნით (თავის ქალით და ძელებით). აქ მოშახურე პერსონალი აუცილებლად უნდა იცნებდეს ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებს (აირწინაღს, რეზინის ხელთათმანებს, წინსაფარს).

ციანიან ხსნარებთან მოშუავე პერსონალმა საშუაოს დამთავრების შემდეგ შხაპი უნდა მიიღოს. საჭმლის მიღება მსოლოდ საცეალურ ადგილებშია დაშუებული.

6.7. ალუმინი

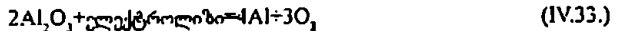
ალუმინის მისაღებ ძირითად ნედლეულს წარმოადგენს ბოქსიტი, რომელშიც ჰიდრატული ალუმინის ოქსიდი ასოცირებულია სილიციუმთან, ტიტანთან და რკინასთან. ბაიერის მეთოდით ბოქსიტის ჰიდრომეტალურეული გადამშუაგების შუდეგად პირეულ ეტაპზე სუფთა Al_2O_3 მიიღება. მეორე ეტაპზე Al_2O_3 -დან ლითონური ალუმინის მიღების მიზნით მაღალტემპერატურული ელექტროლიტური პროცესი გამოიყენება.

ბოქსიტის დამშუაგება მისი შრობით და ბურთულებიან წისქვილში დაქუცმაცებით იწყება. მომდევნო საფეხურზე დაქუცმაცებული ბოქსიტი ნატრიუმის ჰიდროოქსიდის ხსნარის ნარევი წნევის ქვეშ განიცდის გამოტუტვას, რომლის დროსაც რკინის ოქსიდი, კაჟმიწა და სხვა მინერალები უხსნად მყარ ნარინეში რჩება, ხოლო ხსნარში გახსნილი ალუმინი ბაიერის ჰიდროოქსიდის სახით გამოილეკება დედახსნარიდან. ჰიდროოქსიდის გავარვარებთ (კალცინირებით) სუფთა ალუმინის ოქსიდი მიიღება:



ბოქსიტების მსხერევისა და დაქუცმაცების პროცესში საკმაო რაოდენობის მტვერი გამოიყოფა. მტერის დასაჭერად ციკლონი, მულტიციკლონი და ელექტროსტატიკური სალექი გამოიყენება. დაჭერილი მტვერი გამოტუტვის პროცესს უბრუნდება.

სუფთა Al_2O_3 -ის კრიოლიტის გამდნარ მარილში (სხვადასხვა დანამატებით) გახსნით და პოლის ელექტროლიზოორში მისი ელექტროლიტური ადგენით ლითონური ალუმინი მიიღება:



ელექტროლიტური აბაზანები მასში ჩაშეებული ნახშირბადის ანოდებით განსხეელება ერთმანეთისგან. ერთ-ერთ მათგანში წინასწარ შემცხვარი ანოდები (სურ. III.97.) გამოიყენება, მეორეში- სოფერბერგის ანოდებში (სურ. III.98.) ჭილიკურები პორიზონტალურადაა განლაგებული, ხოლო მესამე აბაზანაში სოფერბერგის ანოდებში ჭილიკურები ვერტიკალურადაა ჩამარებული (სურ. III.99.). პრაქტიკაში უყურო ფართოდ წინასწარ შემცხვარი ანოდებიანი ელექტროლიზოორი გამოიყენება.

აბაზანიდან წარმავალ არებში შედის მტვერი, ფთორწყალბადი და ნახშირბადის მონოოქსიდი. მყარი ნაწილაკების სახით არებთ წაიტაცება თიხამიწა, ნახშირბადი (მტვერი) ანოდისგან წარმოიქმნება), კრიოლიტი, ალუმინის ფთორიდი, ჰოლიტი (Na_3AlF_6) და Fe_2O_3 . ფთორიდები გადლის აირში ელექტროლიტიდან, რომელიც კრიოლიტი (Na_3AlF_6), ალუმინის ფთორიდს (AlF_3) და ფლუორიტს (მლხობი შატი, CaF_2) შეიცავს. ელექტროლიზოორის მუშაობის ნორმალურ რეიში NaF -ისა და AlF_3 -ის წონითი ფარდობა შესაბამისად 1,36:1,43-ია. პროცესის მსვლელობის დროს ფარდობის შენარჩუნება ელექტროლიტში Na_2CO_3 -ის, NaF -ისა და AlF_3 -ის დანამატების შეტანი ხორციელდება. დიდგენილია, რომ აღნიშნული ფარდობის გაზრდით ფთორიდების შემცველობა წარმავალ არებში მცირდება. ფთორიდების გამოყოფას ამცირებს აგრეაუე მუშატემპერატურის შემცირება და აბაზანაში Al_2O_3 -ის რაოდენობის გაზრდა.

სხვადასხვა ტიპის აბაზანიდან წარმავალ არებში ფთორიდების შემცველობა IV.3. ცხრილშია წარმოდგენილი.

აღუშინის მისაღებ ელექტროლიტური აბაზანებიდან წარმავალ აირებში ფთორიდების შემცველობა X

აბაზანის ტიპი	აირადი ფთორიდი	ფთორიდის მყარი ნაწილაკები
წინასწარ შემცხვარ ანოდით	42,7,მგ/ტ	11,2,მგ/ტ
სოდეტბურგის ანოდი პორიზონ-ტადური ჰილდაიქურით	50,2,მგ/ტ	7,9,მგ/ტ
სოდეტბურგის ანოდი ევრტიკალური ჰილდაიქურით	38,8,მგ/ტ	5,5,მგ/ტ

X ერთ ტონა წარმოებულ გამდნარ აღუშინსუ

ცხრილიდან ჩანს, რომ სხვადასხვა ტიპის აბაზანიდან წარმავალი აირები განსხვავებული რაოდენობის ფთორიდებს შეიცავს, ამიტომ მათი გასუფთავება (გაუწმენლობა) სხვადასხვა მოწყობილობებით ხდება. წინასწარ შემცხვარ ანოდებიან აბაზანიდან წარმავალ აირებში შემაველი მყარი ნაწილაკების დასაჭერად მშრალი კოლექტორები გამოიყენება, ხოლო აირადი ფთორიდის დასაჭერად აირები სარეცხელაში მუშავდება. სოდეტბურგის ანოდებიანი აბაზანიდან წარმავალი აირები მშრალ კოლექტორებში გაელის გარეშე პირდაპირ სარეცხელაში ექვემდებარება გადამუშავებას.

ზოგიერთ აღუშინის ქარხანაში წარმავალი აირების გასასუფთავებლად მშრალი თიხამიწით ფთორიდების (როგორც აირადის, ასევე მყარი – ნაწილაკების) აღსორბირების მეთოდი გამოიყენება. აბაზანიდან წარმავალი აირი თიხამიწის გაფრქვევის ზონაში შედის, სადაც ფთორიდები Al_2O_3 -ზე აღსორბირებას განიცდის.

აბაზანიდან წარმავალი აირების გასასუფთავებლად გამოყენებული მოწყობილობების სახეობები წარმოღვენილია IV.9. ცხრილში.

აღუშინის ელექტროლიტური აბაზანებიდან წარმავალი აირების გასასუფთავებელი მოწყობილობები

აბაზანის ტიპი	მოწყობილობა
წინასწარ შემცხვარ ანოდებიანი აბაზანა	საწდომი კამერა, მულტიციკლონი, მშრალი ელექტროსტატიკური ხაღაქი, საშხეფე კოშკი, აღსორბტა მშრალი თიხამიწით
სოდეტბურგის ანოდებიანი აბაზანა პორისრტალური ჰილდაიქურით	საშხეფე კოშკი, ხეელი ელექტროსტატიკური ხაღაქი
სოდეტბურგის ანოდებიანი აბაზანა ევრტიკალური ჰილდაიქურით	საშხეფე კოშკი, ხეელი ელექტროსტატიკური ხაღაქი, საციქიანი სარეცხელა, აღსორბტა მშრალი თიხამიწით

აირებიდან ფთორიდების სხვადასხვა მოწყობილობებით ამოღების ეფექტიურობა ნაჩვენებია IV.10. ცხრილში.

წარმავალი აირებიდან ფთორიდების ამოღება

მოწყობილობა	აირადი FIF, %	მყარი ნაწილაკები, %	ჯამური F, %
მშრალი ელექტროსტატიკური ხაღაქი + სარეცხელა	98,3	90-95	95
ხეელი ელექტროსტატიკური ხაღაქი+სარეცხელა	99,5	99,3	99
საქიქიანი სარეცხელა	99	96,3	98
აღსორბტა მშრალი თიხამიწით	98,5	96,4	98

გასუფთავების შემდეგ წარმავალი აირები საკამლე მილში შედის.

ნ.8. ურანის

ურანის წარმოებაში, გარდა ჩვეულებრივი უსაფრთხოების ზომებისა, რომლებიც გათვალისწინებულია ქიმიურად ტოქსიკურ ნივთიერებებთან (მყარ და აირად), ცხელ მჟავა ხსნარებთან, ადვილად

აღლებად ორგანულ გამოსხივებთან, პირფორულ ფუნქციებთან და გახურებულ ნაღობებთან მომუშავე პერსონალისთვის, რადიოაქტიური გამოსხივების მატე ზემოქმედებისგან თავის დასაცავად აუცილებელია განსაკუთრებული ზომების მიღება.

ურანის ნაერთები თავისი ქიმიური ტოქსიკურობით დაახლოებით მძიმე ფერადი ლითონების (ტყვია, დარიშხანი, ანთიმონი და სხვა) ნაერთებს შეესაბამება. ტოქსიკური მოქმედებით განსაკუთრებით განიარჩევა ორგანიზმში მოხვედრილი ხსნადი ნივთიერებები, რომლებიც ბოლომდე არ განიღვრება ორგანიზმში. თუმცა, უფრო მნიშვნელოვანი მატე ზემოქმედება დაკავშირებულია ურანის რადიოაქტიურ დაშლასთან.

რადიოაქტიური გამოსხივების წინააღმდეგ ბრძოლის ქვემოთ განხილული ზომები, ერთდროულად, ურანის ქიმიურ ტოქსიკურობასთან დაკავშირებული მატე ზემოქმედების თავიდან აცილების შესაძლებლობას იძლევა.

ურანი და მისი დამზის პროდუქტები ალფა, ბეტა და გამა- გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს. გამოსხივების მატე მოქმედება განპირობებულია ცოცხალი ქსოვილის ატომებისა და მოლეკულების ორნიზაციით, რაც ქსოვილის შემადგენლობის ცვლასა და ახალი ქიმიური ნაერთების წარმოქმნას იწვევს, რის შედეგადაც ბიოქიმიური პროცესებისა და ნივთიერებათა ცვლის რღვევა იწყება.

გამოსხივება მისი მაიონებელი უნარის მიხედვით (ერთ სმ-იან გზაზე ნაწილაკებით შექმნილი იონების წყვილების რიცხვით) და შეღწევალობის თვისებით (განარბენის სიგრძით) ხასიათდება. როგორც IV.11. ცხრილიდან ჩანს, ყველაზე უფრო დიდი მაიონებელი უნარი ალფა-სხივებს გააჩნია, ხოლო ყველაზე დაბალი – გამა-სხივებს. ამასთან, გამა-სხივები ძალზე დიდი შეღწევალობის უნარით გამოირჩევა, ხოლო ალფა-სხივების შეღწევალობის უნარი უნიშვნელოა. მაიონებელი და შეღწევალობის უნარით ბეტა-სხივები შუალედურ ადგილზეა.

ცხრილი IV.11

გამოსხივების მაიონებელი და შეღწევალობის უნარი

გამოსხივების სახეობა	ჰაერში I სმ-იან გზაზე	შეღწევალობის უნარი ჰაერში
ალფა-გამოსხივება	რამდენიმე ათეული იონიზაცია	განარბენის სიგრძე რამდენიმე სმ-ია
ბეტა-გამოსხივება	დაახლოებით 100 წყვილი იონი	განარბენის სიგრძე რამდენიმე მეტრი
გამა-გამოსხივება	იონების რამდენიმე წყვილი	შესუსტება დაბოკიდებულია სხივების ენერჯიასე

ვინაიდან ალფა – სხივების მოქმედების რადიუსი მცირეა, კანის გარე დაზიანების საშიშროება მხოლოდ ბეტა და განსაკუთრებით გამა-სხივებით დასხივებასთანაა დაკავშირებული.

სხვადასხვა პიდრომეტალურგიული ოპერაციების და დახურულ აპარატებში მიმდინარე სხვა პროცესების ჩატარების დროს გარეგანი ბეტა-დასხივების საშიშროება გამოირიცხულია, ვინაიდან ბეტა – სხივები ხსნარის ფენებითა და აპარატის კედლებით შთანთქმება. ამიტომ ბეტა-სხივების მატე ზემოქმედება ურანის მასიურ ბლოკებთან მუშაობის დროსაა გასათვალისწინებელი. ბლოკებთან მუშაობის დროს აუცილებელია სქელი რეზინის ხელთათმანები და სპეციალური ტანსაცმლის ტარება და აგრეთვე სამუშაო დროის შეზღუდვა.

გამა სხივების ჰაერში და აგრეთვე თხევადი და მყარი მასალების ფენებში შეღწევალობის უნარი ძალზე მაღალია, ამიტომ დახურული ტიპის აპარატები უსაფრთხო მუშაობას ვერ უზრუნველყოფს. გამა-სხივებისგან დასაცავად რადიოაქტიურ მასალას და მომსახურე პერსონალს შორის აუცილებელია ბეტონის ან აგურის სქელი კედლების ან წყლის საფარის ჩაყენება.

გამა-გამოსხივების ინტენსიურობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მდიდარი მადნებისა და კონცენტრატების გადამუშავების დროს, როდესაც ნედლეულიდან რადიუმი ჯერ კიდევ განღვენილი არ არის. როგორც წესი, რადიუმი ურანის ნედლეულის გადამუშავების პირველ ეტაპზე ბარიუმისა და რადიუმის სულფატის ნაღების სახით განიღვრება.

აღმანისთვის ყველაზე საშიშია ე.წ. შინაგანი დასხივება, რომელიც რადიოაქტიური ნივთიერებების ორგანიზმში შეღწევით ხდება. ნივთიერების ორგანიზმში შეღწევა შესაძლებელია ჰერის შესუნთქვის, საკმლის მიღების, გაჭუჭყიანებული წყლის სმის ან სიგარეტის მოწევის დროს. შინაგანი დასხივება ყველა სხვითი საშიშია. ამასთან ყველაზე დიდ საშიშროებას წარმოადგენს უხსნადი რადიოაქტიური

ნაერთები, რომელთა შესუნთქვით მათი თანდათანობითი დაგროვება ხდება ფილტვებში (ნაერთები ორგანიზმში აღარ განიფენება). ამასთან დაკავშირებით აუცილებელია ჰაერის დამტვერიანების შესრულება და ვულდასმით მისი გაკონტროლება. დამტვერიანებასთან დაკავშირებული ოპერაციები (მაგალითად, ურანის სამუშაოს აღდგენა, ურანის ორგანების დაფთვორვა, ფთორიდების ან ოქსიდების აღმდგენელთან შერევა) პერმეტულ კამერებში უნდა ტარდებოდეს ადგილობრივი ვაწოვისა და აირების მტვერდამჭერ მოწყობილობებში გატანის პირობებში. ამ ოპერაციების ჩატარება რუსპირატორების გარეშე დაუშვებელია.

ძალზე მნიშვნელოვანია პირადი ჰიგიენის წესების დაცვა: საექტანასცმლის ტარება, საშუაოს შემდეგ ცხელი შხაპის მიღება, ჭამისა და მოწვეის წინ ხელების დაბანვა.

ჰაერისა და წყლის მაქსიმალურად დასაშვებ რადიოაქტიურობისა და ორგანიზმში რადიოაქტიური ნივთიერების დაგროვების ნორმატივები დგინდება მაიონებული გამოსხივების ზღვრული დასაშვები დოზიდან, რომელიც დღეში 0,05 რენტგენს შეადგენს.

რენტგენი (რ) – რენტგენული ან გამა – გამოსხივების შთანთქმული რაოდენობაა, რომლის დროსაც, ნორმალურ პირობებში, 1 სმ მშრალ ჰაერში 1 ელექტროსტატიკური ერთეულის სიდიდის ორივე ნიშნის მუხტი წარმოიქმნება, რაც 1 სმ ჰაერში $2,1 \cdot 10^9$ წვეილი იონის წარმოქმნას შესაბამება (ერთ რენტგენიან დოზაზე 1 გ ჰაერით შთანთქმული ენერჯია 85 ერგ/გ ტოლია). სხვა სახის გამოსხივების შესაფასებლად რენტგენის ფიზიკური ექვივალენტი (რფე) გამოიყენება.

რფე ნებისმიერი გამოსხივების (α, β, γ) დოზაა, რომელიც ზომვად მოცულობაში იმდენ წვეილ იონებს ქმნის, რამდენსაც გამა – გამოსხივების დოზა ერთ რენტგენში.

დასხივების ზღვრული დასაშვები დოზის დასადგენად საჭიროა სხვადასხვა სახის დასხივებისას განსხვავებული ბიოლოგიური ზემოქმედების გათვალისწინება. ამასთან დაკავშირებით შემოღებულია რენტგენის ბიოლოგიური ექვივალენტი (რბე), რომლის ერთეული განისაზღვრება კანით შთანთქმული გამოსხივების რაოდენობით, რომელიც თავისი ბიოლოგიური ზემოქმედებით ორგანიზმზე ექვივალენტურია გამა-გამოსხივების 1 რენტგენისა. რადიოაქტიური ნივთიერებების დასაშვები კონცენტრაციის დასადგენად ხშირად გამოიყენება მაიონებული გამოსხივების საზომი ერთეული – კიური (კ), რომელიც 1 წმ-ში იმდენივე ალფა-ნაწილაკს ასხივებს, რამდენსაც 1 გ რადიუმი, ანუ $3,7 \cdot 10^{10}$ ალფა-ნაწილაკს წამში; 1 მილიკიური = $1 \cdot 10^{-3}$, 1 მიკროკიური = $1 \cdot 10^{-6}$ კიურის.

დასხივების ზღვრული დასაშვები დოზები მოყვანილია IV.12. ცხრილში.

ცხრილი IV.12.

აღფა, ბეტა და გამა დასხივების ზღვრული დასაშვები დოზები

გამოსხივება	დასაშვები დოზა დღეში, რენტგენებში ან რფე	ფართობითი ბიოლოგიური ექვივალენტობა (ფბე)
გამა ან რენტგენის სხივი	0,05	1,0
ბეტა – ნაწილაკები და ელექტრონები	0,05	1,0
აღფა – ნაწილაკები და პროტონები	0,005	10,0

ბუნებრივი ურანის დასაშვები მაქსიმალური კონცენტრაცია ორგანიზმში წარმოდგენილია IV.13. ცხრილში.

ცხრილი IV.13.

ბუნებრივი ურანის დასაშვები მაქსიმალური კონცენტრაცია

ურანის ფორმა და საშუაოს დროის ხანგრძლივობა	მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაცია	
	ჰაერში	ორგანიზმში
სხანდი ურანი	–	30 მკ
უსხანდი ურანი	–	14 მკ
ხანგრძლივი შუშაობის დროს	0,26 მკ/მ ³	–
წელიწადში 49 კვირა (40 საათი კვირაში)	0,78 მკ/მ ³	–

კონტროლი რადიოაქტიურ მოწყობაზე სხვადასხვა მარეგისტრირებელი ხელსაწყოებით ხორციელდება (მაიონებული კამერები გეიგერის მრიცხველებით, სინცილაკიონალური მრიცხველები და სხვა). ჰაერის რადიოაქტიური მტვრით გაჭუჭყიანების განსაზღვრის მიზნით ჰაერის განსაზღვრული მოცულობა ქაღალდის ფილტრში ტარდება და ფილტრზე დამკვდარი ნალექის აქტიურობა იზომება მრიცხველით. ამისთვის სხვადასხვა პორტატული ხელსაწყოები გამოიყენება.

განსაზღვრული დროის მონაკვეთში, ბეტა და გამა დასხივების ინდივიდუალური განსაზღვრისთვის რეკომენდებულია შეუღლვე კონვერტებში მოთავსებული ფოტოფირის გამოყენება. ფირით ყველა მოსახურე პერსონალი უნდა იყოს მომარაგებული დასხივების ინტენსიურობის ხარისხის განსაზღვრა ფირის გაშვების ხარისხის მიხედვით ხდება. ფირის გაშვების ხარისხი კვირაში 0,3 რენტგენს შესაბამება და იგი საერთაშორისო მაქსიმალურ ნორმას წარმოადგენს.

6.9. ვერცხლისწყალი

ვერცხლისწყლის ნედლეულის გამოწევის დროს ღუმელებიდან წარმავალი აირები (ანუ აირები კონდენსაციის შემდეგ) 30–50 მგ/მ³ ვერცხლისწყალს შეიცავს. აირებით ატმოსფეროს გაბინძურების თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელია მათი გაუვნებლუბა (აირიდან ვერცხლისწყლის განდევნა), ანუ აირების ქიმიური გაწმენდა (საშუაო ნაგებობების ატმოსფეროში ვერცხლისწყლის შემცველობის ზღვარი 0,01 მგ/მ³ შეადგენს).

აირში შემავალი ვერცხლისწყლის დაჭერის მივლი რიგი ზერზებია ცნობილი. პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია მეთოდი, რომლის მიხედვითაც ვერცხლისწყალი სორბირებას ექვემდებარება (მანგანუმის ოქსიდით) საცმინი ტიპის სკრუბერში. ცნობილია აგრეთვე მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ვერცხლისწყლის დაჭერას ქლორით. ქლორ-აირადი მეთოდის დროს 1 მ³ აირის გასასუფთავებლად 350-450 მგ ქლორი იხარჯება. ელემენტური ქლორის გარდა შესაძლებელია ქლორიანი კირის სუსტი ხსნარის (0,5%) გამოყენება. ქლორ-კირიანი ხსნარით გასუფთავება პირიზონტალურ მექანიკურ სკრუბერში ხდება. ქლორიანი კირის ხარჯი 1 მ³ აირზე 1 გ შეადგენს. აღნიშნული მეთოდით ვერცხლისწყლის დაჭერის ხარისხი 92-99%-ია.

თავი 7. მატალურბიული და ქიმიური წარმოების ნარჩენების რეინტაბულირაცია გადასუფთავების ამრსაპეტივიზაცია

თანამედროვე მსოფლიოს ინდუსტრიული განვითარების პირობებში ბუნებრივი რესურსები სწრაფად იწურება და ამასთან ერთდროულად გარემო წარმოების ნარჩენებით ჭუჭყიანდება და იტვირთება. ვინაიდან ნარჩენების უმეტესი ნაწილის სარგებლიანი გამოყენების (გადამუშავების) მექანიზმი ან უცნობია ანდა ნარჩენების გადამუშავება – წამებინი, დღეს ნარჩენები მილიონი ტონობით ეკონომიკურ ტვირთად აწევს კაცობრიობას.

ნარჩენები ტიპურ ჰეტეროგენულ მასალებს განეკუთვნება. ტექნოლოგია, რომელიც მასალის დაყოფის სათანადო ნიშან-თვისებისკენა მიმართული, ხშირად მასალიდან სასარგებლო კომპონენტების უექტური ამოღების შესაძლებლობას იძლევა. დისტილაციის ზერხის დამუშავებამდე ნედლი ნაყოფი დაბალი ფასით გამოირჩეოდა. დისტილაციის მეთოდის გამოჩენამ, რომელიც თხევად მდგომარეობაში კომპონენტების აქროლის სხვადასხვა ხარისხს ეყარება, საუძეველი ჩაუყარა ნაყოფადამამუშავებულ წარმოებას, რომელის მეშვეობითაც ნაყოფიდან სხვადასხვა სახის ძვირადღირებულ პროდუქტებს ღებულობენ.

ნარჩენების გადამუშავებისა და მათი რაციონალური გამოყენების მიზნით მთელი რიგი ტექნოლოგიები მუშავდება და იხვეწება. მათ შორის გამოირჩევა პროცესები, რომლებშიც ნარჩენების დამუშავება არაორგანული ნივთიერების გამდნარ ნაღობებში ზორციელდება. არაორგანული ნივთიერებების სახით გამოიყენება ლითონი, წიდა ან მარილი.

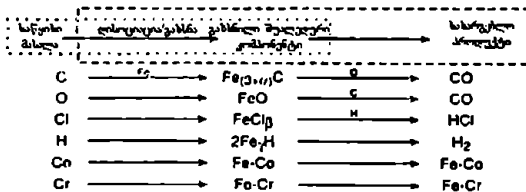
ამ წიგნში განიხილება მხოლოდ გამდნარი ლითონის აბაზანაში ნარჩენების გადამუშავების მეთოდი, რომელიც „კატალიზური ამოღების ტექნოლოგის“ (Catalytic Extraction Processing – CEP) სახელწოდებითაა ცნობილი. კატალიზური ამოღების ტექნოლოგია, შემოკლებით კატ დამუშავდა 1990-იან (1992-97 წ.წ.) წლებში მასაჩუსეტსის შტატის (აშშ) „გამდნარი ლითონის ტექნოლოგის“ კორპორაციაში. შერჩეული სახელწოდება კომერციულია და იგი არ ასახავს პროცესის ძირითად არსს რომელიც ფაქტობრივად მაღალ ტემპერატურაზე თხევადი ფაზის წვაში მდგომარეობს. გამდნარი ლითონის აბაზანაში ნარჩენის დამუშავებით მისი კომპონენტები ელემენტებად იშლება.

7.1. კატალიზური ამოღების ტექნოლოგიის საფუძვლები

კატალიზური ამოღების ტექნოლოგიის დამუშავების იდეა მის ავტორებს (ქრისტოფორ ნეკელის ხელმძღვანელობით, მასარუსეტის შტატი, აშშ) დედამიწის წარმოქმნისა და განვითარების პიპოტეზიდან გამომდინარე დაებადათ. ამ პიპოტეზის მიხედვით ჩვენი მზის სისტემა 4,6 მილიარდი წლის წინათ (ამერიკელების მიერ 1993 წელს კოსმოსში გაშვებული ეწ. ჰაბლის სახელით ცნობილი ტელესკოპის მეშვეობით მეცნიერებმა 1999 წელს დაადგინეს, რომ სამყარო 12 მილიარდი წლის წინათ შეიქმნა და მას თან მიჰყვა გალაქტიკების თანდათანობითი ფორმირება) ვარსკლავთშორის აირისა და მტვერისგან შემდგარი მბრუნავი ღრუბნები ძლიერი შეკუმშვით წარმოიქმნა. დედამიწა კი Fe-Ni-ის შიგა და გარე გამდნარი დედამიწის გულის, ლითონ-სილიკატური (Ca-Mg-Fe) მანტიისა და სილიკატური ქერქის (მსუბუქი ელემენტები, დიდ-იონიანი ლიტოფილები ანუ ურანი და კალიუმი) დაფენების (განშრეების) გზით იქნა ფორმირებული. ეს განცალკევების პროცესი სიმკვრივისა და დნობის წერტილის სხვაობების, გრავიტაციული და მაგნიტური ძალებისა და ბუნებრივი ხსნადობის ხარჯზე 10000 წლის განმავლობაში მიმდინარეობდა. ამ დროის განმავლობაში წარმოიქმნა ნივთიერებები, რომლებიც ბუნებრივი რესურსების სახითაა წარმოდგენილი წიაღისეულში – ორგანული ნიადაგი, მყარი, თხევადი და აირადი სათბობი, ლითონური მადნები და ძვირფასი ქვები.

კატალიზური ამოღების ტექნოლოგია (კატ ან ინგლისურად შემოკლებით CEP) ეყრდნობა თერმოდინამიკასა და იმ განცალკევების პრინციპებს, რომელთა მეშვეობითაც დედამიწის განშრეება და ბუნებრივი რესურსების ფორმირება მოხდა. დედამიწის ფორმების მართვადი ფუნდამენტური პრინციპების გამოყენებით კატ-ი ორგანული, ლითონორგანული და არაორგანული ქეტეროგენული ნარჩენებიდან კომერციული პროდუქტების (ინდუსტრიული აირების, შენადნობების და კერამიკის) მიღების (წარმოების) შესაძლებლობას იძლევა. კატ-ის პროცესში ნარჩენი მასალის გადამუშავება ხორციელდება თხევადი ლითონის აბაზანაში, რომელიც ერთდროულად ელემენტ-მადისციირებელი კატალიზატორისა და ქიმიური რეაქციის ჩასატარებელი ხსნარის როლს ასრულებს.

გამდნარი ლითონის აბაზანაში მოხვედრილი გადასამუშავებელი მასალა გადის ორ სტადიას – მოლეკულური წარმონაქმნების ელემენტბად დისოციაციისა და გახსნის სტადიას და წარმოქმნილი შუალედური კომპონენტების ურთიერთქმედებით პროდუქტების წარმოქმნის სტადიას. რეაქციის სელა სქემატურად შემდეგნაირად შეიძლება გამოისახოს:



პროცესის განსაზღვრული რეჟიმის პირობებში (ტემპერატურა, T; წნევა, P და რეაქციაში მონაწილე კომპონენტების მოლები, N₁,.....,N_p) თხევად ლითონში იხსნება როგორც ორგანული და ლითონური, ასევე რადიოაქტიური მასალები. აბაზანის კატალიზური და ხსნარის ქიმიური თვისებებიდან გამომდინარე, ლითონი აქტიურად მონაწილეობს შუალედური ელემენტების ფორმირებაში, რითაც საწყისი მასალისა და პროდუქტის ქიმიურ-ფიზიკურ განცალკევების შესაძლებლობა იქმნება (ცხრილი IV.13.). გამდნარი ლითონის აბაზანაში განვითარებული ნარჩენების კატალიზური დისოციაციის თერმოდინამიკური მამოძრავებელი ძალა უზრუნველყოფს მასალის (მიუხედავად მასალის საწყისი ფიზიკური ფორმისა ან ქიმიური სტრუქტურისა) იმეარ განცალკევებას, რომელიც მსგავსია მეცნიერების მიერ წარმოდგენილი პიპოტეზისა – გამდნარი მდგომარეობიდან დედამიწის განშრეების შესახებ.

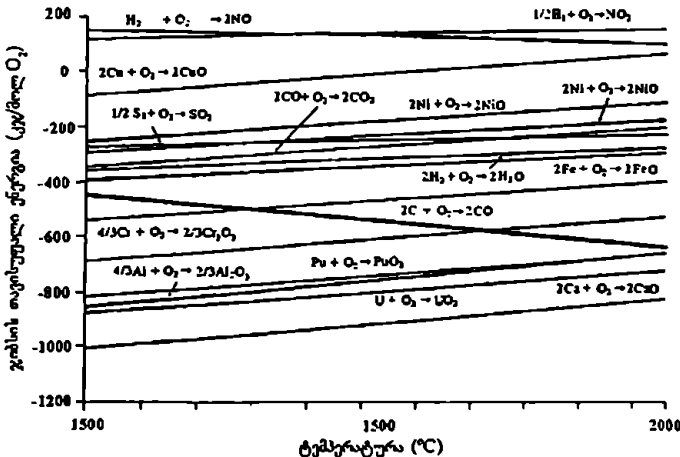
თხევად ლითონში გახსნილი კომპონენტებისა და დანამატი რეაგენტების ურთიერთქმედებით განსხვავებული სიმკვრივის შერევი ლითონური (შენადნობები), კერამიკული (არაორგანული ოქსიდები, ჰალოგენები, სულფიდები) და აირადი (ინდუსტრიული აირები) პროდუქტები წარმოიქმნება, რაც აღდგენილი ლითონის კერამიკისა და აირისგან განცალკევების შესაძლებლობას იძლევა. მსგავსად იმისა, როგორც 4 მილიარდი წლის წინ მოხდა, ამ შემთხვევაშიც პროდუქტების სახეობა თერმოდინამიკითა და ხსნარის წონასწორობით განისაზღვრება. უნდა აღინიშნოს, რომ დროის პერიოდის

შუალედური ელემენტების წარმოქმნის ჯიბის თავისუფალი ენერჯია თხევადი გამხსნელის გამოყენებით და მის გარეშე

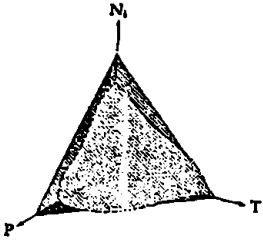
შუალედური ელემენტის წარმოქმნა	თხევადი გამხსნელი (ტონა)		გამხსნელის გარეშე	
	თხევად ოქსიანში გახსნის ΔG (ჯ/გ ატომი)	ΔG გას. 1800K-ზე (ჯ/გ ატომი)	დისოციაციის ΔG (ჯ/გ ატომი)	ΔG დისც. 1800K-ზე (ჯ/გ ატომი)
C (გრ) \rightarrow C	22,594 - 42.258 T(K)	-53,470	718,567 - 157.69 T(K)	434,725
1/2H ₂ (აირ) \rightarrow H	36,485 + 30.460 T(K)	91,313	222,132 - 54.47 T(K)	118,686
1/2O ₂ (აირ) \rightarrow O	-117,152 - 2.887 T(K)	0122,349	252,358 - 65.11 T(K)	133,260
1/2N ₂ (აირ) \rightarrow N	3,598 + 23.891 T(K)	46,602	476,310 - 64.81 T(K)	359,632
1/2S ₂ (აირ) \rightarrow S	-135,060 + 23.430 T(K)	-92,886	218,650 - 59.93 T(K)	110,776
1/2Cl ₂ (აირ) \rightarrow Cl	-204,820 + 0.418 T(K)	-204,067	124,349 - 59.8 T(K)	16,909

შეტვირებას ხელ უწყობს აგრეთვე ტექნოლოგიის თანამედროვე გაფორმება პრექტუოლი ასარტურით. ამრიგად, თერმოდინამიკა მისაღები პროდუქტის შერჩევის შესაძლებლობას იძლევა, ხოლო კატალიზი პროდუქტის მიღებას აჩქარებს. კატ-ის პროცესი ძალზე დაბალი წნევისა და ერთგვაროვანი გარემოს პირობებში ტარდება, რაც ნარჩენების გადამუშავების თანამედროვე ტარდითული ტექნოლოგიებისთვის დამახასიათებელი დაუანგული თანაური პროდუქტების (როგორცაა NO_x და SO_x) გამოყოფას გამორიცხავს. კატ-ის მონაცემების მიხედვით, NO_x-ისა და SO_x-ის დამოთით მათი განდენა, როგორც წესი, 99,9999%-ს აღემატება, რაც შესქელებული ნისლიანი ბოლისა და მგაუა წვიმების წარმოქმნას გამორიცხავს. კატ-ის აირად პროდუქტებში დიოქსიდები და ფურანები (აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტოს დასკვნით ეს ნივთიერებები მწვეავ და ქრონიკულ დაავადებებს იწვევს) არ ელინდება. მყარ პროდუქტებში საშიში ორგანული შემდგენნი არ განისაზღვრება (აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტოში არსებული თანამედროვე ანალიზების მიხედვით). მასაწესეტის შტატის (აშშ) გარემოს დაცვის სააგენტოს დასკვნით, კატ-ის გამოყენებით ნარჩენებიდან კომერციული პროდუქტების ამოღება 90%-ს შეადგენს, ხოლო აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტოს მიერ კატ-ი აღიარებულია, როგორც საუკეთესო ტექნოლოგია ნარჩენების გადამუშავების სფეროში.

მოლეკულური წარმონაქმნების დისოციაციის განვითარებით, დანამატი რეაგენტების გამოყენებითა და პროცესის პარამეტრების შერჩევით ნარჩენების ელემენტურ მდგომარეობაში გადაყანის შესაძლებლობა იქნება, რაც გარემოს სრული დაცვის გათვალისწინებით, წინასწარ განსაზღვრული სასურველი პროდუქტების წარმოებას უზრუნველყოფს. რეაქციის განვითარების შესახებ მსჯელობა შესაძლებელია ჯიბის თავისუფალი ენერჯიების უარყოფითი ხიდიდების შედარებით მოცემულ პირობებში (სურ. IV.20.)



სურ. IV.20. ჯიბის თავისუფალი ენერჯიის ციფრირება ზოგიერთი ოქსიდისთვის.



სურ. IV.21 თერმოდინამიკური სივრცე

თეორიასა და ოპტიმალური პირობების შერჩევაზე დამყარებული ნარჩენების შემადგენელ ნაწილებად გაყოფისა და გამიზნული სასარგებლო პროდუქტების მიღების ეს მეთოდი ექსპერიმენტულად შემოწმდა და დამტკიცდა საწარმოო მასშტაბებში მისი გამოყენების შესაძლებლობა. კატ-ის გამოყენებით მიღებული პროდუქტები ერთდროულად სარგებლიანი ეკონომიკის შემდგომ განვითარებასა და წიაღისეული ნედლეულის ხარჯვის შემცირებას შეუწყობს ხელს.

სასურველი პროდუქტის ფორმირება შესაძლებელია თერმოდინამიკური სივრცის (სურ. IV.21.) მართვით.

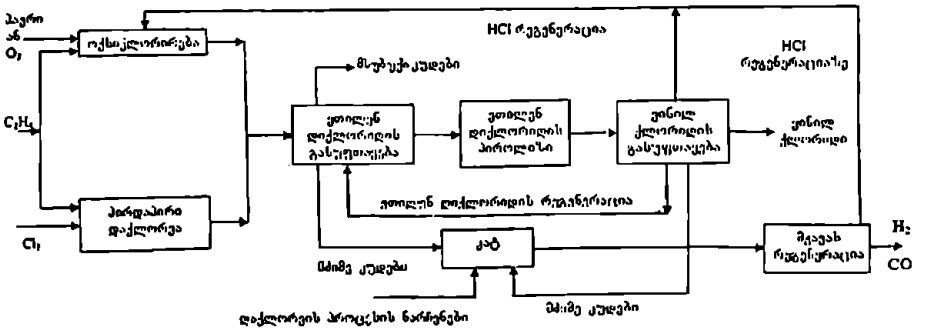
კატ-ის უპირატესობა კიდევ ისაა, რომ ჯიბისის თავისუფალი ენერჯიის დიაგრამაზე არა მარტო პირიზონტალური გადაადგილებით, არამედ წნევის მართვითა და ვერტიკალური მიმართულებით ახალი

კოორდინატის სისტემაში კომპონენტის სახეობის შეცვლით (დიაგრამაზე ვერტიკალური მიმართულებითაც შესაძლებელია მოძრაობა) შეიძლება პროდუქტის ფორმირებაზე ზემოქმედება. მაგალითად, კატ-ის გამოყენება შეიძლება დაქლორილი საშიში ნარჩენებიდან ფასეული სასაქონლო პროდუქტის მისაღებად. მსგავსი საშიში ნარჩენები ყოველ წელს 600 ათასი ტონის ოდენობით გროვდება აშშ-ში. როგორც წესი, ამ ნარჩენების გადასამუშავებლად გამოიყენება წვის პროცესი, რის შედეგადაც მყარი ნარჩენის ერთი ნაწილი ჰაერში იფანტება (NO_x დიოქსიდის სახით), ხოლო მეორე ნაწილი მიწას ეფინება (ნაცრის სახით). კატ-ის მეშვეობით კი დაჭერილი ექლორი კომპონენტის სახით შუშის დამზადებაში $CaCl_2$ -ის მისაღებად ან მისი განაწილების შემთხვევაში მარილმჟავასა და ლითონის აქროლადი ქლორიდების წარმოებაში გამოიყენება. გამხსნელის შეცვლა ნიკელით (რკინის მაგივრად) მარილმჟავას მიმართ შერჩევს უნარს ცვლის და მას ერთს უახლოებს. ამ შემთხვევაში ტექნოლოგიურ სქემაში კატ-ის ჩართვა კომერციული ხარისხის მარილმჟავას მიღებას უზრუნველყოფს (სურ. IV.22.).

ჩვეულებრივი იზოტოპების განცალკევების მსგავსად, კატ-ის მეშვეობით შესაძლებელია რადიოაქტიური იზოტოპების ნარჩენისგან არარადიოაქტიური კომპონენტების განცალკევება, რაც პროდუქტის გასუფთავებისა და გაუვნებლების, ნარჩენების შემცირებისა და ერთდროულად საშიში კომპონენტის გარდაქმნის შესაძლებლობას იძლევა. მაგალითად, მისი გამოყენებით შესაძლებელი ხდება ატომური ენერჯიის მწარმოებელი ინდუსტრიის იონშიმოცლის ნახშირი ფისების გარდაქმნა უვნებელ სინთეზურ აირად (გაუვნებლების ფაქტორი $>10^7$) და ერთდროულად მაღალი ხარისხის ცეზიუმის ($Cs-134$, $Cs-137$) მიღება, რომელიც საკვების რადიაციისთვის იხმარება.

რადიოაქტიური და სხვა სახის საშიში ნარჩენების გადამამუშავება ნახევრადსაწარმოო პირობებში მრავალჯერ განხორციელდა კატ-ის გამოყენებით.

კატალიზური ამოღების ტექნოლოგია, რომელიც დედამიწის ბუნებრივი განცალკევების მოდელზე დაყრდნობით დამუშავდა, თავისი ორიგინალურობითა და პერსპექტიულობით განირჩევა; იგი ერთდროულად დღევანდელი მრეწველობის, საზოგადოებისა და კანონის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს.



სურ. IV.22. ეთილენ დიქლორიდის წარმოების დაბალანსებული ტექნოლოგიური სქემა კატ-ის გამოყენებით.

7.2. ლითონური გამხსნელის შერჩევის კრიტერიუმები

კატალიზური ამოღების ტექნოლოგია გამდნარი ლითონის აბაზანაში კომპონენტების ელემენტებად დაშლას ითვალისწინებს. გამდნარი ლითონის აბაზანა წნიშენელოვან როლს ასრულებს პროცესის წარმართვაში, იგი:

– მაღალი ტემპერატურის (1300-1760°C) პირობებში ნარჩენის გახსნასა და საწყისი კომპონენტების ატომებად დაშლას უზრუნველყოფს;

– სარეაქციო გარემოში არეულირებს P_6 -ს, რაც განსზღვრული ელემენტების სელექტიური ჯანგვისა და თხევადი ოქსიდური (კერამიკული) ფაზის წარმოქმნის შესაძლებლობას იძლევა;

– შლის საშიშ და ტოქსიკურ ნაერთებს და, ერთდროულად, პროცესის მახასიათებლების მართვითა და რეაგენტების დამატებით განთავისუფლებული ელემენტების ატომების სასარგებლო პროდუქტებად (მაღალი ხარისხის ინდუსტრიული აირები, არაორგანული ნაერთები, ლითონები) გარდაქმნის შესაძლებლობას იძლევა.

კატ-ის პროცესისათვის ლითონის (გამხსნელის) შერჩევის მთავარ კრიტერიუმს წარმოადგენს:

– გადასამუშავებელი ნარჩენის შემადგენლობა: (ელემენტების ქიმიური შემადგენლობა) და ნარჩენის ფიზიკური მახასიათებლები;

– შევებით მითხოვნები: რეგენერაცია, ნარჩენის გაუვნებლება, ან ნარჩენის მოცულობის შემცირება და ა.შ.

ლითონის შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია აგრეთვე მასალის გადაუმუშავების პროცესთან დაკავშირებული ზოგადი მონაცემის მაჩვენებლები:

– კერამიკული ფაზა: წარმოქმნის თუ არა კერამიკულ ფაზას ნარჩენი (გადასამუშავებელი მასალა) ან აქმაფიფილებს თუ არა კერამიკული ფაზა მოცემულ მოთხოვნებს? მასალის ზედმეორედ გამოყენების ან მისი გაუვნებლების რა სპეციფიკაციაა მოცემული?

– შედეგობა: მოსალოდნელია ნარჩენის დაშლა დროთა განმავლობაში? (რა მონაცემებია მასალის მედეგობის შესახებ);

– ქიმიური ნაერთის განდგენა: არის თუ არა მოთხოვნა განსაზღვრული ქიმიური ნაერთის დაშლაზე და მის განდგენაზე ნარჩენიდან (გადაუმუშავებული მასალიდან)? თუ არის ასეთი მოთხოვნა, რომელი ნაერთია დასაშლელი და რა ხარისხით?"

– მტერის გადაამუშავება:

შეიცავს სასურველ პროდუქტს მტერი?

რეგენერაცია: გამართლებულია თუ არა მტერის რეგენერაცია ეკონომიკური თვალსაზრისით? საჭიროა განკალკეება? თუ საჭიროა, უნდა დაკონკრეტდეს.

– ელემენტების ხსნადობა: პროცესის მართვისთვის საჭიროა კრიტიკული ელემენტის ხსნადობის განსაზღვრა;

– აირადი პროდუქტის ხარისხი: არის თუ არა მოცემული სპეციფიკაცია? მოცემულია თუ არა გამოყენების სფერო?

– ლითონური პროდუქტის ხარისხი: არის თუ არა მოცემული სპეციფიკაცია და გამოყენების სფერო?

– გადაამუშავების პირობები: პროცესი ჩატარდება ვაკუუმის თუ წნევის პირობებში? პროცესი პერიოდულ თუ უწყვეტ რეჟიმს საჭიროებს? როგორია პროცესის ოპტიმალური ტემპერატურა? მასალის მიწოდების მეთოდი (მილით, ქვინით, ნაჭრების სასით)?

– მიღებული პროდუქტის თვითღირებულება.

კატ-ით სხვადასხვა სახის ნარჩენების გადაამუშავება და ლითონური გამხსნელის შერჩევის კრიტერიუმები მოცემულია IV.14. ცხრილში.

ლითონური გამხსნელის შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია ხარჯების შემცირება, რეაქტორის ვარგისიანობა და მისი პერმეტულობის ხანგრძლივობის გაზრდა. ამა თუ იმ ნარჩენის გადაამუშავების დროს ლითონის შერჩევის პროცესში მთავარია:

– პროცესის ტემპერატურის შემცირება, რაც ხელს შეუწყობს რეაქტორის ხანგრძლივ და მუშაობას;

კატ-მ გამოყენება სხვადასხვა სახის ნარჩენების გადამუშავებაში და ლითონური გამსხეულის შერჩევის კრიტერიუმს

ნარჩენის სახეობა	ნარჩენის გადამუშავების პროდუქტი	გამსხეული (ფუბე ლითონი)	ლითონის შერჩევის მთავარი კრიტერიუმები
1	2	3	4
რადიოაქტიური იზოტოპების ნარჩენები	რადიოაქტიური ისოტოპის სელექციური განცდვით ნარჩენის არარადიოაქტიური ელემენტების რეგენერაცია	FeS	ნარჩენის მთავარი კომპონენტია გიგაგრადი (12-17 წონით %)
დაქლორილი ნახშირ-წყალბადოვანი ნარჩენები	რეგენერირებული ნახშირბადის, ჯანგაბადისა და წყალბადის გადამწმენა სინთეზურ აირში და HCl-ში	Ni	ნახშირბადის ხინდობა და ქლორთან აქტიური ურთიერთქმედება
აქროლადი ნაქარი	აქროლადი ნაქარის შემდგენის გარდაქმნა (დოიქსინის ჩათვლით) და გაეროთიანება კერამიკულ პროდუქტებთან	Cu	ნარჩენი შეიცავს 2 წონით % ალმდგენად ლითონისა და ~ 70 წონით % კერამიკულ შემადგენელს
აუტომანქანების ნარჩენები	აუტომანქანების დაქუცმაცებული ნარჩენების სელექციური განცდვით და მათი შემდგენის რეგენერაციით ლითონური, აირადი და კერამიკული პროდუქტების მიღება	Fe	ნარჩენი შეიცავს 20-30 წონით % ალმდგენად ლითონებს
საშუი ორგანული ნაერთების ნარჩენები	ფოსფორის, გოგირდის ან ღარიშხანის შემცველი საშუი ორგანული ნაერთების დაშლა	Fe	ლითონის შერჩევა ქიურული ნაერთის სახეობაზეა დამოკიდებული
UF ₆ -ის ნარჩენები	გადარიბებული UF ₆ -ის რეგენერაცია და უწყლო HF-ისა და UO ₂ -ის მიღება	Cu	ჯანგაბადისა და წყალბადის ხინდობა სილენში და აქტიური ურთიერთქმედება ფსორთან. პროდუქტის წარმოქმნის კონტროლი და მისი ერთგვაროვნების უზრუნველყოფა.
რადიოაქტიური ისოტოპების ნარჩენები	ისოტოპების რადიოაქტიური სელექციური განცდვით ლითონურ და კერამიკულ ფაზებად და ნაერთების რეგენერაცია	Fe(S,P)	ნარჩენის ევალბადი შემადგენლობა: ~ 20 წონით % Ni, 10-15 წონით % კერამიკული შემადგენელი, ~ 2 წონით % ალმდგენად ლითონები

- გამდნარი ლითონის აბაზანაში ელემენტების ხსნადობის უნარის შენარჩუნება, რაც P_0 -ის რეგულირებასა და ნახშირბადის ხსნადობის პირობების შექმნას შეუწყობს ხელს;

- გამდნარი ლითონისა და ნარჩენის (გადამუშავებული მასალის) აქტიური ელემენტების ურთიერთქმედების შენელება და შექცობა, რაც გამდნარი ლითონის დანაკარგებს შეამცირებს;

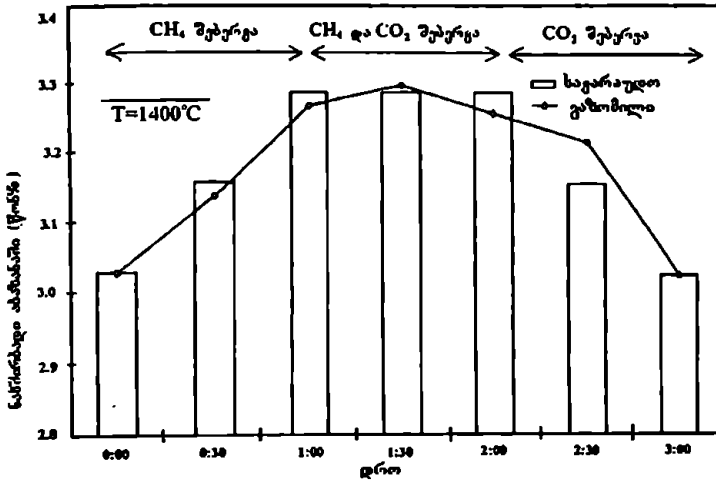
- გამდნარი ლითონის კატალიზური მოქმედების უნარის შენარჩუნება.

ლითონის შერჩევის დროს მისი კატალიზური უნარის დადგენა შეიძლება მეთანის (CH₄) გამოყენებით. მეთანის პირობის (CH₄=C+2H₂) შედეგად თავისუფალი რადიკალების სპექტრი წარმოიქმნება. თუ ვარაუდით გამდნარ ლითონში გახსნა (ერთადერთი სარეაქციო გარემო) წარმავალ არებში ნახშირწყალბადების ფუნქციას წარმოადგენს, მაშინ ლითონის კატალიზური ბუნების შეფასების შესაძლებლობა შეიქმნება. ამ მიზნით ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები წარმოადგენილია IV.15. ცხრილში.

შემდეგი ექსპერიმენტების სერია ითვალისწინებდა გამდნარი რკინის (5კგ-ის ოდენობით) აბაზანაში მეთანის გახსნას. მეთანის შეტრვა ნადნობში 8 მმ-იანი მილის მეშვეობით ზორციელდებოდა. ექსპერიმენტის დროს მტერის წარმოქმნას ადგილი არ ქონია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ პარტიკულად, რეაქტია გამდნარ ნადნობში მიმდინარეობდა. ექსპერიმენტის შედეგები წარმოადგენილია IV.23. სურათზე.

სხვადასხვა გამდნარი ლითონის (კერამიკის) აბაზანიდან წარმავალ აირებში ნახშირწყალბადოვანი ნაერთების შემცველობა

კომპონენტები	წარმავალ აირებში ნახშირწყალბადოვანი ნაერთების შემცველობა, წილი/მილიონზე გამდნარი აბაზანის ტემპერატურა - 1400°C			
	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆
რკინა	1287	16	33	არ/გან
გამდნარი კერამიკა	3546	705	1607	15
მანგანუმი	83	არ/გან	არ/გან	1
სპილენძი	2585	96	598	17
ქადა	1288	36	109	4



სურ. IV.23. გამდნარ რკინაში ნახშირბადის ხსნადობის დაბრუნდულობა ხანგრძლივობაზე.

ექსპერიმენტების შედეგებიდან გამოდინარე დადგინდა, რომ:

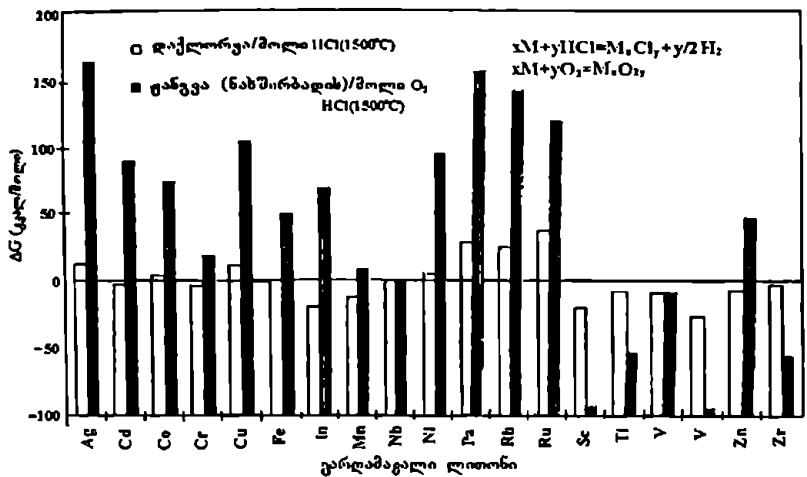
- გამდნარი ლითონის აბაზანა, რომელშიც ნახშირბადი არ იხსნება, არააქტიური (მთლიანად თერმული) სარეაქციო ვარგისი აირადი ფაზის ექვივალენტური მარეზინებით განირჩევა;
- გამდნარი ლითონის აბაზანა, რომელშიც ნახშირბადი იხსნება (Fe, Mn), ნახშირწყალბადოვანი და არომატული ნაერთების დაბალი კონცენტრაციით განირჩევა;
- აირადი პროდუქტების ხარისხის გაუარესების თავიდან აცილების მიზნით ლითონის შერჩევის დროს ელემენტის (ანუ ნახშირბადის) ხსნადობის გათვალისწინება აუცილებელია.

7.2.1 ლითონის შერჩევა დაქლორილი ნახშირწყალბადოვანი ნარჩენების გადასამუშაველად

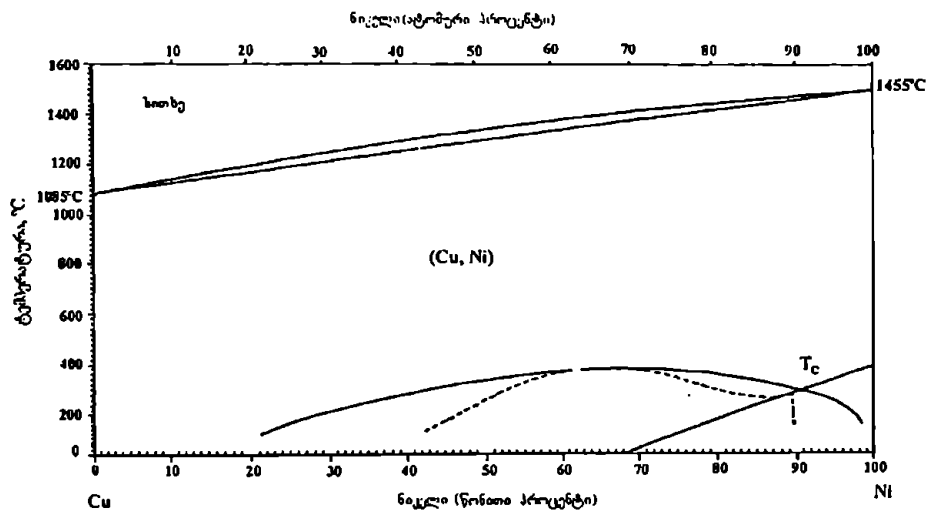
დაქლორილი ნახშირწყალბადოვანი ნარჩენების გადასამუშაველად ლითონური გამხსნელის შერჩევის კრიტერიუმად აღებულია დაქლორების და ჟანგის რეაქციები:



ლითონების დაქლორების და ჟანგის რეაქციების თავისუფალი ენერგიების ცვლილება 1500°C-ზე წარმოდგენილია IV.24. სურათზე. პროცესის ღირებულებიდან და ლითონის დნობის წერტილიდან გამომდინარე, ლითონებად შერჩეულ იქნა სპილენძი და ნიკელი და მათი შენადნობი (სურ. IV.25.).



სურ. IV.24. ლითონის დაქლორებისა და ფანგვის თავისუფალი ენერგიების ცუვილება.



სურ. IV.25. სპილენძ-ნიკელის მდგომარეობის დიაგრამა.

ნახშირბადიანი ქლორიდული ნარჩენების გადაკუმშვების დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წარმოქმნილი აირადი პროდუქტების ხარისხს (დოქსინისა და ფურანის შემცველობის მიხედვით). მისი მაჩვენებლები უნდა აკმაყოფილებდეს გარემოს დაცვის მკაცრ მოთხოვნებს. ნახშირბადი პრაქტიკულად არ იხსნება სპილენძში, ამიტომ ლითონური გამზსნელის სახით შერჩეულ იქნა სპილენძ-ნიკელის შენადნობისა და ნიკელის გამდნარი ნაღნობები (ცხრილი IV.16.).

სპელენს-ნიკელისა და ნიკელის ნადნობების ზოგიერთი შედარებითი მანვენებლები

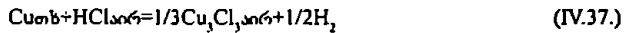
მანვენებლები	Cu-Ni შენადნობი	Ni
ნადნობის ტემპერატურა (°C)	$T_{\text{პროექციის}} = 100 + (1085 + 370 \times x_{\text{Ni}})$	$> 1550^{\circ}\text{C}$
ნახშირბადის ხსნადობა	0-დან 2,5 წონ.%	2,5 წონ.%
აირადი პროდუქტების ხარისხი	კარგი - საუკეთესო	საუკეთესო
პროექციის მსკლკლერობა	კარგი	საუკეთესო

შერჩეული ქლორიდების წარმოქმნის თავისუფალი ენერგიების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (სურ. IV.26.) და დაქლორვის საგარაულო რეაქციები და მათი წონასწორობის კონსტანტები მოყვანილია ქვემოთ.

დაქლორვის შემდეგი საგარაულო რეაქციები შეიძლება განვითარდეს:



$$K_1 = \frac{P_{\text{HCl}} P_{\text{H}_2}^{1/2}}{a_{\text{Cu}} P_{\text{HCl}}} \quad (\text{IV.36.})$$

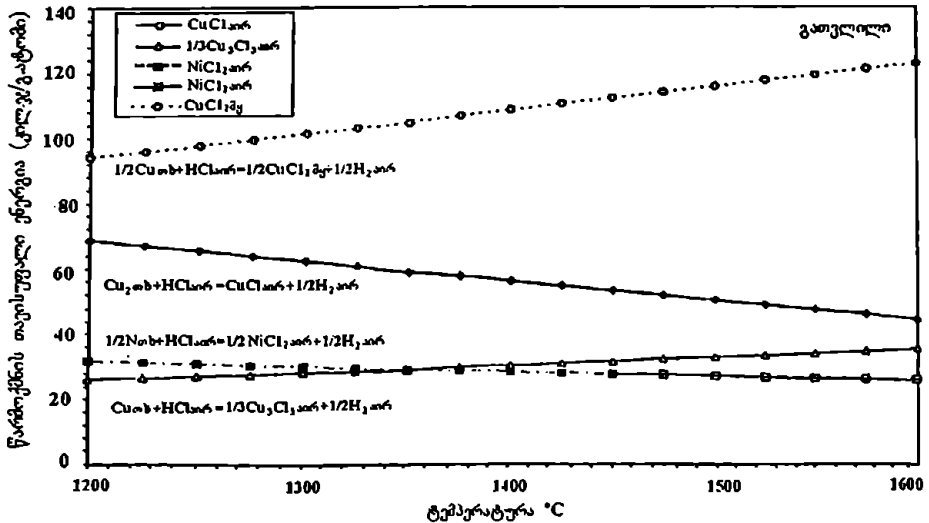


$$K_2 = \frac{P_{\text{Cu}_3\text{Cl}_3}^{1/3} P_{\text{H}_2}^{1/2}}{a_{\text{Cu}} P_{\text{HCl}}} \quad (\text{IV.38.})$$



$$K_3 = \frac{P_{\text{HCl}_2} P_{\text{H}_2}}{a_{\text{Ni}} P_{\text{HCl}}^2}$$

ლითონის დაქლორვის მახასიათებლების წინასწარი შეფასება შესაძლებელია თერმოდინამიკური მოდელის მეშვეობით ან ვარაუდით:



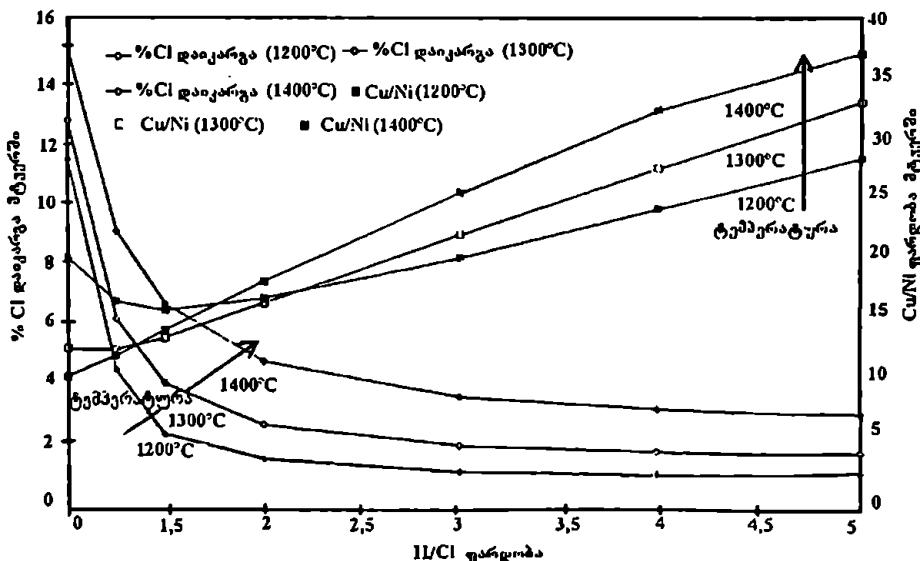
სურ. IV.26. ქლორიდების წარმოქმნის თავისუფალი ენერგიების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

- გამდნარ აბაზანაში ადგილი არ ექნება წყალბადის, ჟანგბადის ან ქლორის დაგროვებას (არამდგრად რეაქციებს ადგილი არ ექნება);
 - გადასამუშავებელი მასლიდან შეტანილი ქლორი მხოლოდ HCl-ის წარმოქმნის რეაქციაში მონაწილეობს;
 - აბაზანის ტემპერატურაზე ლითონის ყველა ქლორიდი HCl-ის აღდგენის შედეგად წარმოიქმნება;
 - ლითონების ქლორიდების (წარმოქმნის შემდეგ) აირადი ფაზა არ ურთიერთქმედებს CO, O₂, N₂ და H₂-თან (იდეალური აირის ქცევა);
 - სპილენძ-ნიკელის შენადნობის თხევადი ფაზა იდეალური ხსნარის მსგავსია.
- სამი განტოლება და სამი უცნობი (CuCl, Cu₂Cl₂ და NiCl₂-ის პარციალური წნევები) შეიძლება ამოხსნას წონასწორობის (მოდელის) კონსტანტის სხვაობის ჯამების მინიმიზაციით:

$$\sum_{i=1}^3 [K_p(\text{რეალური}) - K_p(\text{ჰიპოთ})] \rightarrow 0 \quad (IV.40.)$$

ჯამის სულში კონვერგენცია (ლათ. - convergere-შეკრება, შეგროვება) CuCl, Cu₂Cl₂-ისა და NiCl₂-ის წილების განმეორებადი კორექტირებით ხდება (მასის ბალანსი და რეაქციის სტექიომეტროლოგია უცვლელი რჩება). თერმოდინამიკური მოდელის მეშვეობით (გრაფიკულად წარმოდგენილია IV.27. სურათზე) შეიძლება წინასწარ განისაზღვროს CuCl, Cu₂Cl₂-ისა და NiCl₂-ის რაოდენობები წარმატებულ აირში და სპილენძისა და ქლორის წილობრივი წონითი რაოდენობები - მტკერში. თერმოდინამიკური მოდელიდან ჩანს, რომ პროცესის მთავარ პარამეტრებს (რომლებიც ლითონის დაქლორებაზე მოქმედებს) წამოადგენს H/Cl-ის ფარდობა (გადასამუშავებელ მასალაში) და ტემპერატურა. ამ ორ პარამეტრზე დამოკიდებულია ქლორის კარგვა მტკერში და ნაღობში მიმდინარე რეაქციები, რომლებიც ნაღობის კომპონენტების კარგვასთანაა დაკავშირებული.

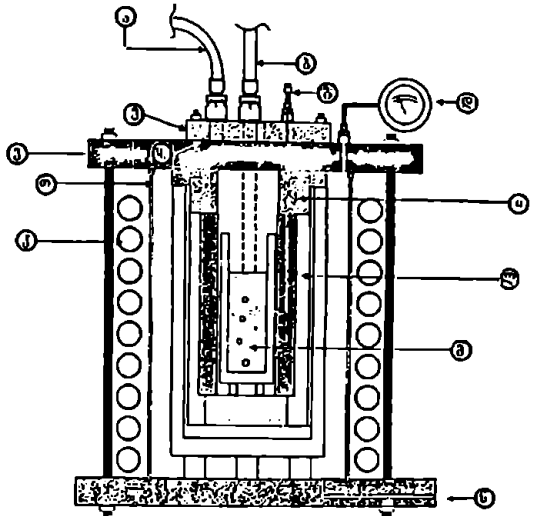
ნახშიბადიანი ქლორიდული ნარჩენების გადასამუშავებლად Cu-Ni-ის შენადნობების გამოყენების შესაძლებლობების შეფასების მიზნით ლაბორატორიული ტიპის დანადგარზე (სურ. IV.28., IV.29., IV.30.) ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევები. კვლევის ძირითად ობიექტს წარმოადგენდა სპილენძის, ნიკელისა და სპილენძ-ნიკელის შენადნობის გამდნარ აბაზანებში 1,2,3, ტრიკლორბენზოლის შეტანილი



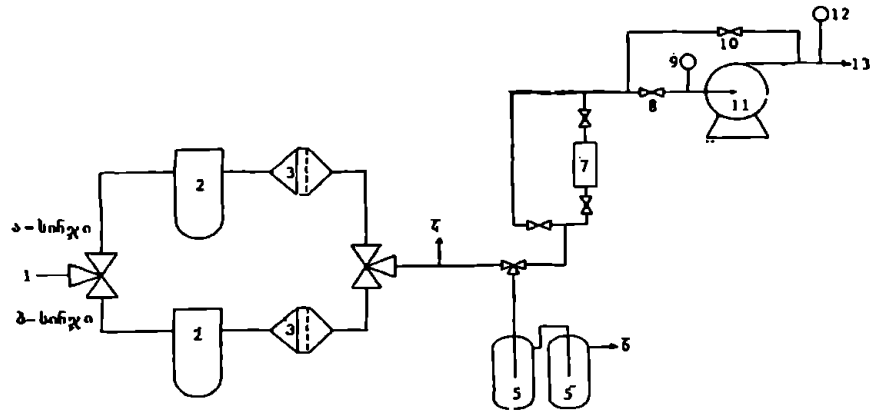
სურ. IV.27. ქლორის განაწილებისა და Cu/Ni-ის ფარდობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე და H/Cl-ის ფარდობაზე (თერმოდინამიკური მოდელი) Cu-Ni-ის შენადნობის გამდნარი აბაზანისთვის (Cu - 90 წონ.%, Ni - 10 წონ.%).

აირადი ფაზის რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტების მახასიათებლების განსაზღვრა. გარდა ამისა, ექსპერიმენტით გათვალისწინებული იყო სპილენძ-ნიკელის ნადნობის გამდნარ აბაზანაში მასალის შეტანის დროს მტერის წარმოქმნასთან დაკავშირებული კვლევების ჩატარება. ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ სპილენძ-ნიკელის შენადნობისა და ნიკელის გამდნარი აბაზანები უზრუნველყოფს ნახშირწყალბადიანი ქლორიდული ნარჩენების ეფექტურ გადამუშავებას.

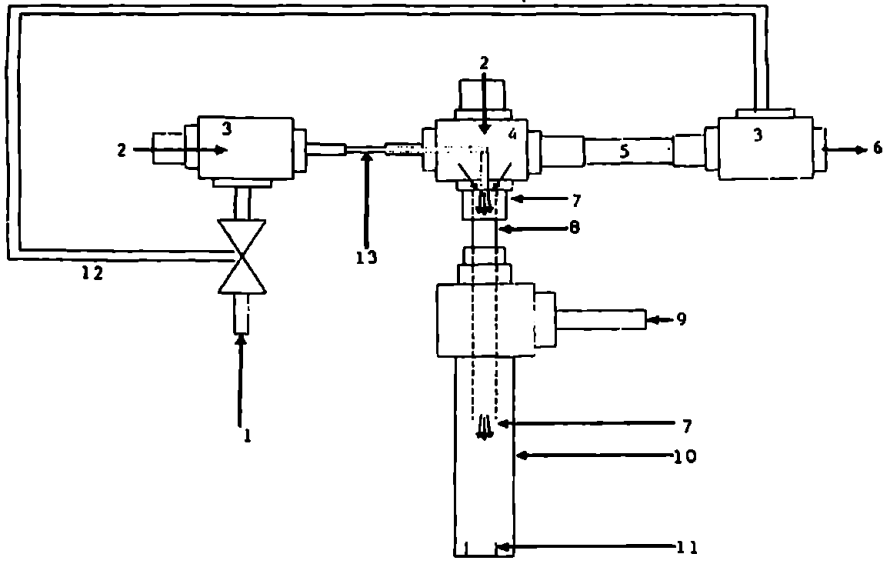
გამდნარი ლითონის ტექნოლოგიის კორპორაციის (აშშ) მიერ დამუშავებული „კატალიზური ამოღების ტექნოლოგიის“ საწარმოო გამოცდა 1997 წელს განხორციელდა. ტექნოლოგიის საწარმოო პირობებში გამოცდამ აჩვენა, რომ ლითონის აბაზანა უზრუნველყოფს ნარჩენების გარდაქმნას სასარგებლო სასაქონლო მასალებად. გამდნარი ლითონის კატალიზური თვისებების მეშვეობით აბაზანაში (სურ. IV.31.) შეტანილი ნარჩენების მოლეკულური ბმები იხსნება ნადნობში და ცალკეულ ელემენტებად აღდგენას განიცდის. ნადნობში წარმოქმნილი ელემენტები კი „საშენ ბლოკებად“ გამოიყენება ამა თუ იმ სასაქონლო მასალის (აირი, ლითონი, კერამიკა) მისაღებად. ტექნოლოგია უზრუნველყოფს საშიში ნარჩენების მთლიანად დაშლას და გაუვნებლებას და ამავდროს სასარგებლო მასალებად მათი გარდაქმნის შესაძლებლობას იძლევა.



სურ. IV.28. ლაბორატორიული ტიპის რეაქტორი.
 ა - აირის გამოსასვლელი; ბ - მასალის შესაშვები მილა; გ - თერმოსწყვილი; დ - წნევის მაჩვენებელი; ე - მრეგული ფილა; ვ - წყლით სავსე ზედა ფილა; ზ - ზედა ფილის რგოლი; თ - კვარცხის შუშა; ი - იზოლაცია; კ - სპირალი; ლ - თანამისწის იზოლაცია; მ - ჩანატვირთი; ნ - საქრეცი პილი.



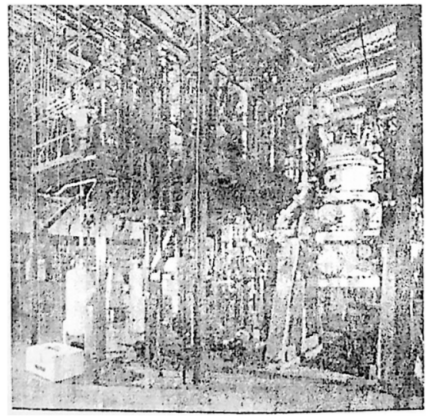
სურ. IV.29. აირის გადატანის სისტემის სქემა.
 1. რეაქტორის გამოსასვლელი მილა 2. სემპლი ფილტრი 3. წმინდა ფილტრი 4. აქრილადი ნაერიების გამოსასვლები 5. სარეცხელები (სერუბერები) 6. სახედი 7. აღხორბენტი 8. ვაკუუმის მარეგულირებელი სარქველი 9. წნევის მარეგულირებელი სარქველი 10. ვაკუუმის მარეგულირებელი სარქველი 11. ვაკუუმური ტუმბო 12. წნევის საზომი ხელსაწყო 13. ანალიზატორისენ.



სურ. IV.20. ლაბორატორიული ტიპის სითხის შესაშხაუნებელი სისტემის სქემა.

1. ობიექტი მასის შესაშვები; 2. ინერტული აირი (1 ლ/წთ სითხის გადაშტანი); 3. ხაჭაპა (6 მმ); 4. ჯვარდი (6 მმ); 5. წნევის ვარდის; 6. სარეცხელასუ (ვახახუყუყუებლად); 7. სიფრქვეველა; 8. თხამაწის მილი (6 მმ); 9. პაერო; 10. თხამაწის მილი (10 მმ); 11. ვაქრული ძარა; 12. ვადასაშვები მილი; 13. ნეშა (შეა დამატერი მწმმ-ის ტილია).

კატ-ის აქტიურ ზონას წარმოადგენს გამდნარი ლითონის პერმეტიზებული აბაზანა, რომელშიც ტემპერატურა 2000°K-ზე ეითარდება. აქტიურ ზონაში შეტანილი გადასამუშავებელი მასალა ელემენტების სახით იხსნება ნაღობში. აბაზანაში დანამატი რეაგენტების შეტანით და მათი ელემენტებთან ურთიერთქმედებით სასარგებლო პროდუქტი წარმოიქმნება. რეაგენტების დამატებით შესაძლებელი ხდება კომპონენტების განცალკევება და ამა თუ იმ სასაკონლო პროდუქტის წარმოება, რაც კატ-ის მთავარ მახასიათებელს წარმოადგენს. კატ-ის აპარატურა უზრუნველყოფს სხვადასხვა სახის პროდუქტის (არი, ლითონი, კერამიკა) მიღებას. აპარატურა უწყვეტ რეჟიმში მუშაობს და მეტალურგიული თუ ქიმიური წარმოების როგორც მარტივი ნაერთების შემცველი მასალების (პარაფინი, ალკოჰოლი, წყალი), ასევე კომპლექსური ნარჩენების (ტოქსიკური ნაერთების შემცველი ლითონები, ჰალოგენები, ციანიდები, პოლიარომატული ნახშირწყლები და სხვა) გადასამუშავებლად გამოიყენება.



სურ. IV.21. კატალიზური ამოღების ტექნოლოგიური პროცესის ჩახატარებელი საწარმოს დანადგარის საერთო სედი.

ამჟამად კატ-ის ტექნოლოგია აშშ-სა და ავსტრალიაში გამოიყენება სხვადასხვა ნარჩენების გადასამუშავებლად.

დაბატევა

ცხრილი 1

ელემენტების თვისებები

ელემენტი	სიმ-ზომ-ლო	ატომ-ური ნომერი	ატომ-ური მასა	სიმ-კრი-ვა	დროშის ტემპერატურა, °C	მუდ-ობის ტემპერატურა, °C	ქიმიური მდგომარეობა	მომდ-ობის სიმ-კრი-ვა (ფ. კლ.)	სხვა მნიშვნე-ლოვანი მონაცემები	სხვა მნიშვნე-ლოვანი მონაცემები
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ლითონი	N	7	14.01	1.25	-210	-196	-3.2	14.53	-	-
ბერილი	Al	13	26.98	2.70	660	2434	3	5.98	16	0.8
ბორი	Am	95	(243)	11.7	996	-	3,4,5,6	6.0	-	-
ბრინჯი	Sb	51	121.75	6.62	630.7	1382	3,5	6.84	-	4.10 ⁴
ბრომი	Ar	18	39.95	1.78	-189	-166	0	13.79	-	-
ბრინჯი	Al	85	(210)	-	-	-	-	-	-	-
ბერილი	Ac	89	(227)	-	1051	-	3	6.9	-	-
ბრინჯი	Ba	56	137.34	3.5	714	1643	2	3.21	-	0.85
ბრომი	De	4	9.01	1.85	1279	2775	2	9.22	-	-
ბრინჯი	Bk	97	(249)	-	-	-	3,4	-	-	-
ბერილი	Bi	83	208.98	9.60	272	1562	3,5	7.29	-	2.10 ⁴
ბრომი	B	5	10.81	2.34	2031	2555	3	8.30	-	-
ბერილი	Br	35	79.91	3.12	-7	58	±1.5	11.81	-	-
ბრომი	Cd	64	112.41	7.86	1314	3240	3	6.16	-	0.001
ბერილი	Gn	31	69.72	3.91	30	2741	3	6.0	-	0.0013
ბრომი	Ge	32	72.59	3.22	938	2815	4	7.90	-	0.0027
ბერილი	S	16	32.06	2.07	113	444.7	6,4,-2	10.26	-	-
ბრომი	As	33	74.92	3.72	-	613	±3.5	9.81	-	-
ბერილი	Dy	66	162.50	3.55	1469	2739	3	-	-	4.5·10 ⁴
ბრომი	Eu	63	151.96	3.24	627	1399	3,2	3.67	-	1.3·10 ⁴
ბერილი	Es	99	(254)	-	-	-	-	-	-	-
ბრომი	Er	68	167.26	2.15	1459	2533	3	6.08	-	0.0024
ბერილი	V	23	50.94	6.1	1963	3467	3,4,3	7.24	264	0.02
ბრომი	Ag	47	107.87	10.49	981.9	2214	1	7.37	-	1.10 ⁴
ბერილი	Hg	80	200.59	13.55	-38.1	337	2,1	10.43	-	-
ბრომი	W	74	183.85	19.3	3417	5930	6	7.98	350	0.0069
ბერილი	Tl	81	204.37	11.35	303	1459	1,3	6.11	-	0.002
ბრომი	Th	90	232.04	11.69	1753	2850	4	6.85	-	0.0028
ბერილი	Zn	30	65.38	7.13	419.6	907	2	9.59	32	0.005
ბრომი	Tm	69	168.93	7.31	1527	1755	3	3.81	-	8.10 ⁴
ბერილი	In	49	114.82	7.31	186	2003	3	3.78	-	1.10 ⁴
ბრომი	I	53	126.90	4.94	114	183	-1,3,7	10.45	-	-
ბერილი	Ir	77	192.22	22.5	2458	5300	4,3,6	9.1	170	1.10 ⁴
ბრომი	Yb	70	173.04	3.50	825	1195	3,2	6.22	-	3.10 ⁴
ბერილი	Y	39	88.90	4.47	1511	3343	3	6.38	-	0.0029
ბრომი	Cd	48	112.40	3.63	321.1	765	2	6.89	-	3.10 ⁴
ბერილი	Su	50	118.69	3.01	231.9	2274	4,2	7.34	5	0.001
ბრომი	K	19	39.10	3.86	64	761	1	4.34	-	2.6
ბერილი	Cr	98	(251)	-	-	-	3	-	-	-
ბრომი	Ca	20	40.08	1.55	839	1442	2	6.11	-	3.6
ბერილი	Cm	96	(247)	-	1342	-	3	-	-	-
ბრომი	Co	27	58.93	6.85	1497	2906	2,3	7.86	10	0.003
ბერილი	Kr	36	83.80	3.74	-157	-152	0	14.00	-	-
ბრომი	La	57	138.91	6.19	921	3461	3	5.61	-	0.018
ბერილი	Li	3	6.94	0.53	181	1338	1	5.39	-	0.0085
ბრომი	Lw	103	(257)	-	-	-	-	-	-	-
ბერილი	Iu	71	174.97	3.85	1654	3322	3	6.15	-	0.001
ბრომი	Mg	12	24.31	1.734	650	1109	2	7.64	35	2.1
ბერილი	Mn	25	54.94	7.43	1147	2154	2,7,4,6,3	7.43	21	0.09
ბრომი	Md	101	(256)	-	-	-	-	-	-	-
ბერილი	Mo	42	95.94	10.22	2615	5560	6,3,5	7.10	160	0.0003
ბრომი	Na	11	22.99	0.97	98	853	1	5.14	-	-
ბერილი	C	6	12.01	2.23	3735	4830	±2	11.26	-	-
ბრომი	Nd	60	144.24	7.00	1020	1020	3	5.46	-	0.0023
ბერილი	Ne	10	20.18	0.90	-249	-246	0	21.56	-	-
ბრომი	Np	93	(237)	19.5	637	-	5,6,4,3	-	-	-
ბერილი	Ni	28	58.71	8.90	1455	2715	2,3	7.63	75	0.008
ბრომი	Nb	41	92.91	8.57	2472	4977	3,3	6.88	-	0.001
ბერილი	Ne	102	(234)	-	-	-	-	-	-	-
ბრომი	O	76	190.2	22.57	2700	5590	4,6,8	8.5	-	3.10 ⁴
ბერილი	Au	79	196.97	19.32	1063.4	2976	3,1	9.22	25	5.10 ⁴
ბრომი	Pd	46	106.4	12.02	1354	3989	2,4	8.33	30	3.10 ⁴
ბერილი	Pr	78	195.09	21.45	1772	4530	4,2	9.3	50	3.10 ⁴

ველეენტების თვისებები (გაგრძელება)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ლითონები	Pu	84	(242)	19,0	640	3212	4,6-5,1	5,8	-	-
პლუტონიუმი	Po	84	(210)	(9,24)	254	-	2,4	8,43	-	-
პოლონიუმი	Pr	59	140,91	6,77 ¹	920	3219	3	5,48	-	0,0007
პრომიტიუმი	Pm	61	(145)	-	1028	-	3	-	-	-
პრომიტიუმი	Pm	61	(231)	15,4	1332	-	5,4	-	-	-
ოსმიუმი	O	8	16,00	1,43	-210	-183	2	13,61	-	-
ოსმიუმი	Os	88	(226)	5,0	700	1142	2	5,28	-	1,10 ¹⁰
რადიუმი	Ra	86	(222)	9,96	-71	-62	0	10,73	-	-
რადიუმი	Ra	79	186,2	21,04	3186	5900	7,4-1	7,87	250	1,10 ¹
რენიუმი	Re	76	55,85	7,87	1538	3000	3,2	7,87	70	5,1
რენიუმი	Rh	45	102,90	12,44	1969	4500	3,4	7,46	139	1,10 ¹
რენიუმი	Rb	37	85,47	1,33	39	639	1	4,18	-	0,031
რენიუმი	Ru	44	101,07	13,2	2500	4500	3,4,6,8	7,36	220	5,10 ¹
სამარინი	Sm	62	150,35	7,49	1073	1755	-	-	-	0,0007
სელენი	Se	34	78,96	2,70 ¹	217 ¹	685 ¹	4,6-2	9,75	-	-
სელენი	Se	14	28,09	2,33	1412	2685	4	8,51	-	-
სერენი	Sc	21	44,96	2,99 ¹	1541	2837	3	6,54	-	-
სერენი	Sc	29	63,54	8,96	1084,5	2600	2,1	7,72	40	0,01
სერენი	Sc	38	87,62	2,60	769	1382	2	5,69	-	0,04
ტანტალი	Ta	73	180,95	16,6	2996	5425	5	7,88	-	0,0002
ტანტალი	Ta	52	127,60	6,24 ¹	450	991	4,6-2	9,01	-	-
ტანტალი	Tb	65	158,92	8,25	1358	3047	3	5,98	-	-
ტანტალი	Tc	43	(99)	11,46	2130	-	7	7,28	-	-
ტიტანი	Ti	22	47,90	4,31	1670	3267	4,3	6,82	160	0,5
ტიტანი	Pb	82	207,19	11,36	327,5	1756	2,4	7,41	4	0,0016
ტიტანი	U	92	238,03	19,07	1132	3827	6,3,3,3	6,08	-	0,0003
ფერმიუმი	Fm	100	(253)	-	-	-	-	-	-	-
ფერმიუმი	F	15	30,97	1,87 ¹	44	260	5-1	10,48	-	-
ფერმიუმი	F	9	19,00	1,70	-220	-198	-1	17,42	-	-
ფერმიუმი	Fr	87	(223)	-	-	-	1	-	-	-
კალიუმი	K	17	39,09	0,86	-101	-35	±17,5	13,01	-	-
კალიუმი	Kr	24	83,80	7,19	1878	2670	3,6,2	6,76	80	0,03
კალიუმი	Kr	54	131,30	5,90	-112	-108	0	12,13	-	-
კალიუმი	Cs	55	132,91	1,90	29	640	1	3,89	-	0,007
კალიუმი	Cs	58	141,12	6,77 ¹	805	3254	2,4	5,60	-	0,0045
კალიუმი	Zr	40	91,22	6,49	1855	3558	4	6,84	-	0,02
ნიობიუმი	H	1	1,01	1,09	-259	-253	1	13,59	-	-
ნიობიუმი	Hf	72	178,49	13,09	2226	5430	4	6,8	-	-
ნიობიუმი	Hf	2	4,60	5,18	-278	-269	0	24,58	-	-
ნიობიუმი	Hf	67	164,93	8,70 ¹	1463	2577	3	-	-	1,3-10 ¹

1-X=12;

* მკარი და თხევადი: კ/სმ³, 20°C. იარი: კ/ს;

** მარტი ველენტობა, ექვლასე სტაბილური რიგში პირველია;

() ველაზე დადგინდნ მოქმედი ისოტოპის ინტეგრალური მასა;

1. გარეოტი. აღმასი 2,51;
2. სუბლიმაციას განიცდის;
3. წახნაგდაცენტრებული - კუბური;
4. მტიდროდ შეყუთული - პექსაგონალური;
5. პექსაგონალური;
6. რიზბისებრი, მონოკლინური=1,96;
7. რიზბისებრი, მონოკლინური=119°C;
8. ნორმალური ტეტრაგონური (β ან თყირი).

ზოგიერთი ლითონის სასაბურთლო სორტები შროშილ საბავთა ქაშვირში

საილენბი

განირწოდდა ხისლენის შექმნის სორტები:

დაუხალასებელი ხისლენის; რაც „შესხვევებში“ დაუხალასებელ საილენბსე დგინდებოდა დარგობრივი სტანდარტები, რომლებითაც რეკლამენტრდებოდა ურთიერთობა დაუხალასებელი ლითონების მწარმოებლებსა და მარაყინრებელ ქარხნებს შორის (ხშირად მარაყინრებელი ქარხნები ტერიტორიულად ეკლკეა განლაგებული). ხისლენისადნობ და ელექტროლიტურ ქარხნებს შორის ურთიერთობა დგინდებოდა დარგობრივი სტანდარტებით (ცხრილი 2).

ცხრილი 2

დაუხალასებელი (კონვერტრული) საილენბის ქიმიური შემადგენლობა
დარგობრივი სტანდარტის (48-33-72) მიხედვით

მარკა	Cu+Ag+Au, არა უმეტეს, %	ზინარეუები, არა უმეტეს, %				
		Sb	As	Ni	Bi	სულ
Mn1	99,4	0,03	0,03	0,2	0,005	0,6
Mn2	99,2	0,08	0,08	0,3	0,01	0,8
Mn3	98,8	0,015	0,015	არ დამსიტრდება	0,02	1,2
Mn4	98,3	0,20	0,20	არ დამსიტრდება	0,03	1,7
Mn5	97,5	0,30	0,30	არ დამსიტრდება	0,04	2,5
Mn6	96,0	0,35	0,35	არ დამსიტრდება	0,05	4,0

რაყინრებული სასაქონლო ხისლენის რეკლამენტრდებოდა სახელმწიფო სტანდარტით – 859-66 (ცხრილი 3).

ცხრილი 3

რაყინრებული (ელექტროლიტური) საილენბის ქიმიური შემადგენლობა
სახელმწიფო სტანდარტის (859-66) მიხედვით

მარკა	Cu, არაუმეტეს	მინარეუების, არა უმეტეს, %										სულ	შახლდებითი დანშულება	
		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn			
M00	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	-	0,001	0,01	დუნგამტარებისა და შახლდი სისუფთავის შესაღვენდობებისათვის
M10	99,95		0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,004	0,05	დუნგამტარებისა და შახლდი ხარისხის ბრინჯაოებისთვის, ნახვეარფაბრიკებისათვის
M06	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	-	0,003	0,03	სსმულებისა და ნახვეარფაბრიკებისთვის	
M1	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,005	0,005	0,005	0,10	ნახვეარფაბრიკებისთვის	

შენიშვნა. ინდექსი „6“ (M06) საილენბის მარკაში – ნიშნავს – უკანგბადო საილენბს.

ნიმუში

სასაქონლო ნიკელის მარკები წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

ნიკელის ქიმიური შემადგენლობა სახელმწიფო სტანდარტის (840-70) მიხედვით, %

ელემენტი	ნიკელის მარკა					
	H0	H1y	H1	H2	H3	H4
Ni+Co არანაკლებ;	99,99	99,93	99,93	98,8	98,6	97,6
მათ რიცხვში; Co არა უმეტეს	0,005	0,10	0,10	0,15	0,7	0,7
C	0,005	0,1	0,1	0,02	0,1	0,15
Mg	0,001	0,001	0,001	-	-	-
Al	0,001	-	-	-	-	-
Si	0,001	0,002	0,002	0,002	-	-
P	0,001	0,001	0,001	-	-	-
S	0,001	0,001	0,001	0,003	0,03	0,04
Mn	0,001	-	-	-	-	-
Fe	0,002	0,1	0,1	0,04	-	-
Cu	0,001	0,015	0,02	0,04	0,6	1,0
Zn	0,0005	0,0008	0,001	0,0005	-	-
As	0,0005	0,001	0,001	-	-	-
Cd	0,0003	0,0005	0,001	-	-	-
Sn	0,0003	0,0005	0,001	-	-	-
Sb	0,0003	0,0005	0,001	-	-	-
Pb	0,0003	0,0005	0,001	-	-	-
Bi	0,0003	0,0005	0,001	-	-	-

ტყვია

სასაქონლო ტყეის მარკები წარმოდგენილია მე-5 ცხრილში

ცხრილი 5

ტყეის ქიმიური შემადგენლობა სახელმწიფო სტანდარტის (3776-56) მიხედვით

მარკა	Pb არა უმეტეს %	მინარეულები, არა უმეტეს, %												
		Mg	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Bi	Ca+Na	As+Sb+Sn	Mg+Ca+Na	სულ
C0	99,992	0,001	0,001	0,005	0,001	0,0005	0,0003	0,0005	0,0005	0,004	0,002	-	-	0,008
C1	99,985	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	-	-	0,003	0,015
C2	99,95	0,005	0,003	0,001	0,002	0,002	0,0015	0,002	0,005	0,03	0,01	-	-	0,05
C3	99,9	0,01	0,005	0,002	0,005	0,005	0,0015	0,005	0,005	0,06	0,03	-	-	0,1
C3Cy	0,07	0,01	0,005	0,002	0,005	0,005	0,0015	0,008	0,4-0,8	0,06	0,03	-	-	-
C4	99,6	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,002	-	-	0,1	0,05	0,25	-	0,4

თუთია

სასაქონლო თუთიის მარკები წარმოდგენილია მენ (ჯხრილში

ცხრილი 6

თუთიის ქიმიური შემადგენლობა სახელმწიფო სტანდარტის (3540-47) მიხედვით

მარკა	Zn არა უმეტეს, %	მინარეუები, არა უმეტეს %							
		Pb	Fe	Cd	Cu	As	Sb	Sn	სულ
118	99,99	0,005	0,03	0,02	0,001	–	–	–	0,01
110	99,96	0,015	0,010	0,010	0,001	–	–	–	0,04
111	99,94	0,024	0,015	0,014	0,002	–	–	–	0,06
112	99,9	0,05	0,04	0,02	0,002	–	–	–	0,1
113	98,7	1,0	0,07	0,2	0,005	0,01	0,02	0,002	1,3
114	97,5	2,0	0,15	0,2	0,05	0,01	0,02	0,5	2,5

ზოგიერთი საწარმო მცირე რაოდენობა აწარმოებდა გაზრდილი სისუფთავის (განსაკუთრებული სისუფთავის) ლითონებს. ასეთი ლითონების მიღება დიდ დაბატებით შრომასთან, დროსთან და სახსრებთანაა დაკავშირებული, ამიტომ მათი გამოშვება შესაძლებელი იყო და ამ ხარისხის ლითონები მხოლოდ სპეციალური შეკვეთების მოთხოვნებიდან გამოდინარე აწარმოებოდა.

გამომყვანებზელი ლიტერატურის სია

1. Anderson, J. N. and P. E. Queneau, Eds. – Pyrometallurgical Processes in Nonferrous Metallurgy, Metallurgical Society Conference AIME, Vol. 39, Gordon and Breach, New York, 1965.
2. Biswas, A. K. and W. G. Davenport – Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon, New York, 1976.
3. Boldt, J. R., Jr., – The Winning of Nickel, Methuen, London, 1967.
4. Bunshah, R. F. Ed. – Techniques of Metals Research, Vol. 1, Pt. 2, Techniques of Materials Preparation, and Handling, Interscience, New York, 1965.
5. Cotterill, C. H. and J. M. Cigan, Eds. – AIME World Symposium on Mining and Metallurgy of Lead and Zinc, Vol. 2, Extractive Metallurgy of Lead and Zinc, Port City Press, Baltimore, 1970.
6. Dennis, W. H. – Metallurgy of the Nonferrous Metals, Pitman, New York, 1961.
7. Diaz, Carlos, Ed. – The Future of Copper Pyrometallurgy, Chilean Institute of Mining Engineers Santiago, Chile, 1973.
8. Ehrlich, R. P. Ed. – Copper Metallurgy, Extractive Metallurgy Division Symposium on Copper Metallurgy, AIME, New York, 1970.
9. Griffith, W. A. et al. – Development of the roast-leach-electrowin process for Lakeshore, J. Metall., Vol. 27, No. 2, 1975, p. 19.
10. Habashi, F. – Principles of Extractive Metallurgy, Vol. 1, Gordon and Breach, New York, 1969.
11. Habashi, F. – Principles of Extractive Metallurgy, Vol. 2, Gordon and Breach, New York, 1970.
12. Burkin, A. R. – The Chemistry of Hydrometallurgical Processes, D. Van Nostrand, New York, 1966.
13. Harbison, E. J. and J. A. Davidson – Oxygen in Copper Smelting, Air Products and Chemicals, Inc., Allentown, Pennsylvania, 1972.
14. Hampel, C. A., Ed. – Rare Metals Handbook, Chapman and Hall., London, 1956.
15. Harjavalta Nickel Refinery, Can. Inst. Min. Metall Bull, Vol. 57, No. 626, 1964.
16. Herbert I. C. – New Copper Extraction Processes, J. Metall., Vol. 26, No. 8, 1974.
17. Hydro-metallurgy Applied to Copper Ores, Denver Equipment Division, Iroy Manufacturing Co., Bul. G3-D146, Deco Trefoil, Denver, 1969.
18. Inco Pressure Carbonyl Process, J. Metall., Vol. 21, No. 7, 1969.
19. Jones, M. J., Ed. – Advances in Extractive Metallurgy and Refining, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1972.
20. Pehlke, R. – Unit Processes of Extractive Metallurgy, Elsevier, New York, 1972.
21. Queneau, F. Ed. – Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt, Interscience, New York, 1961.
22. Refining of Non-ferrous Metals, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1950.
23. Roast-Leach-Electrowin Process, J. Metall., Vol. 27, No. 2, 1975.
24. Rosenbaum, J. B. – Minerals Extraction and Processing: New Developments, in Materials: Renewable and Nonrenewable Resources, Abelson, P. H. and A. L. Hammon, Eds., American Association for the Advancement of Science, Washington, B.C., 1976.
25. Rosenqvist, T. – Principles of Extractive Metallurgy, McGraw-Hill, New York, 1974. Sohn, H. Y. and M. E. Wadsworth, Coordinators, Rate Processes of Extractive Metallurgy, The Metallurgical Society of AIME, New York, 1976.
26. Spedden, H. R. – Cone Type Copper Precipitators, J. Metall., Vol. 18, No. 10, 1966.
27. Thomas, R. Ed. – Engineering and Mining Journal Operating Handbook of Mineral Processing, Vol. 1, McGraw-Hill, New York, 1977.
28. Wadsworth, M. E. and F. T. Davis, Eds., Unit Processes in Hydrometallurgy, Metallurgical Society Conference AIME, Vol. 24, Gordon and Breach, New York, 1964.
29. World Minerals Availability, 1975-2000, Vol. 2, Outlook for Mineral Processing, Nodule Mining, and Transportation, Stanford Research Institute, SRI Project ECC 3742, Stanford, California, 1976.
30. Yannopoulos, J. C. and J. C. Agarwal, Eds., Extractive Metallurgy of Copper, Vol. 2, Hydrometallurgy and Electrowinning, Metallurgical Society of AIME, New York, 1976.
31. Young, R. S., Cobalt, Its Chemistry, Metallurgy and Uses, Reinhold, New York, 1960.
32. Van Arsdale, G. D., Hydrometallurgy of Base Metals, McGraw-Hill, New York, 1953.
33. Miller, J. D. A., Ed., Microbial Aspects of Metallurgy, Elsevier, New York, 1972.
34. Mineral Facis and Problems, U.S. Bureau of Mines Bul. 667, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., 1975.
35. New Copper Extraction Processes, J. Metall., Vol. 26, No. 8, 1974.
36. Themelis, N. J., G. McKerrow P. Tarasoff and G. Hallett, Noranda Process, J. Metall., Vol. 24, No. 4; 1972.
37. Ryan, W., Ed., Non-ferrous Extractive Metallurgy in the United Kingdom, The Institute of Mining and Metallurgy, London, 1968.
38. Аглицкий В. А. Пирометаллургическое рафинирование меди. – М.: Металлургия, – 1571 – 315 с.
39. Астафьева А. Ф., Алексеев Ю. В. Окислительный обжиг никелевых сульфидных полупродуктов в кипящем слое. – М.: Металлургия. – 1982. – 170 с.
40. Багров О. И. Испарительное охлаждение печей в цветной металлургии. – М.: Металлургия. – 1979. – 157 с.

41. Басов, А. И. Механическое оборудование обогатительных фабрик и заводов тяжелых цветных металлов. 3-е изд. – М.: Металлургия. – 1984. – 526 с.
42. Баймаков Ю. В., Журин А. И. Электролиз в гидрометаллургии. 2-е изд. – М.: Металлургия. – 1977. – 336 с.
43. Борбат В. Ф., Воронов А. Б. Автоклавная технология переработки никельпирротитовых концентратов. – М.: Металлургия. – 1980. – 184 с.
44. Ванюков А. В. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Ч. 1 – Алма-Ата: Наука. – 1980. – 371 с.
45. Ванюков А. В., Зайцев З. Я. Теория пирометаллургических процессов – М.: Металлургия. – 1973. – 504 с.
46. Ванюков А. В., Зайцев З. Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. – М.: Металлургия. – 1969. – 389 с.
47. Гордон Т. М., Пейсахов И. Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. 3-е изд. – М.: Металлургия. – 1977 – 456 с.
48. Гудина Н. З., Шейн Я.-П. Краткий справочник по металлургии тяжелых цветных металлов – М.: Металлургия, – 1977 – 1536 с.
49. Зеликман А. П., Вольдман Г. М., Беляевская Л. В. Теория гидрометаллургических процессов. 2-е изд. – М.: Металлургия. – 1983. – 424 с.
50. Клушник Д. И., Резник И. Д., Соболев С. И. Применение Кислорода в цветной металлургии, – М.: Металлургия. – 1983. – 255 с.
51. Купряков Ю. П. – Автогенная плавка медных концентратов во взвешенном состоянии. – М.: Металлургия. – 1979. – 1230 с.
52. Купряков Ю. П. – Отражательная плавка медных концентратов. – М.: Металлургия, – 1976 – 343 с.
53. Меретуков М. А. – Процессы жидкостной экстракции в цветной металлургии – М.: Металлургия – 1985. – 222 с.
54. Металлургия меди, никеля и кобальта. Ч. 1/Худяков И. Ф., Тихонов А. И., Деев Д. И., Набойченко С. С. – М.: Металлургия. – 1977 – 295 с.
55. Металлургия меди, никеля и кобальта. Ч. 2/Худяков И. Ф., Тихонов А. И., Деев Д. И., Набойченко С. С. – М.: Металлургия. – 1977 – 263 с.
56. Мечев В. В. – Конвертирование никельсодержащих медных штейнов. – М., Металлургия, – 1973, – 180 с.
57. Набойченко С. С., Смирнов В. И. – Гидрометаллургия меди. – М. Металлургия. – 1974. – 256 с.
58. Пигарев А. Д. Медно-серное производство. – М. Металлургия, 1977 – 118 с.
59. Пименов Л. И., Михайлов В. И. Переработка окисленных никелевых руд. М., Металлургия – 1972 – 335 с.
60. Резник И. Д. – Совершенствование шахтной плавки окисленных никелевых руд. – М.: Металлургия, – 1983. – 181 с.
61. Серебрянникова Э. Я. – Обжиг сульфидных материалов в кипящем слое. – М.: Металлургия, 1982. – 112с.
62. Серебряный Я. Я. – Электроплавка медно-никелевых руд и концентратов. М.: Металлургия, – 1974. – 247 с.
63. Спурников А. П. – Комплексное использование сырья в цветной металлургии 2-е изд. – М.: Металлургия, – 1986, 383 с.
64. Технология вторичных цветных металлов/Худяков И. Ф., Дорошкевич Л.Л., Кляйн С. Э. – М.: Металлургия. – 1985, – 276 с.
65. Уткин Н. И. Металлургия цветных металлов. М., Металлургия, 1985 – 437 с.
66. Чижов Д. И., Кессельман А. Е. Техника безопасности при производстве тяжелых цветных металлов. – М.: Металлургия. – 1977 – 189 с.
67. Аветисян Х. К. Металлургия меди, "Металлургиздат", 1943.
68. Баймаков Ю. В. Электролиз в металлургии, ОНТИ, 1939.
69. Бочвар А. А. Металловедение, "Металлургиздат", 1945.
70. Вольский А. Н. Теория металлургических процессов, ОНТИ, 1935.
71. Вольский А. Н. Основы теории металлургических плавок. "Металлургиздат", 1943.
72. Есин О. А. и Гельд В. П. Физическая химия пирометаллургических процессов, "Металлургиздат", 1949.
73. Лоскутов Ф. М. Металлургия свинца, "Металлургиздат", 1941.
74. Лоскутов Ф. М. Металлургия цинка. "Металлургиздат", 1945.
75. Лоскутов Ф. М. и Цейдлер А. А. – Расчет по металлургии тяжелых цветных металлов, "Металлургиздат", 1948.
76. Мостович В. Я. и Новиков Д. Г. – Пирометаллургия меди, "Металлургиздат", 1944.
77. Мостович В. Я. и Анисимов С. М. – Металлургия свинца, "Металлургиздат", 1940.
78. Цейдлер А. А. – Металлургия никеля, "Металлургиздат", 1947.
79. Чижинов Д. М. Металлургия тяжелых цветных металлов, изд. АН СССР, 1946.
80. Шахов Г. А. Металлургия (общий курс), "Металлургиздат", 1948.
81. Смирнов В. И. Металлургия меди и никеля. "Металлургиздат", 1950.
82. Смирнов В. И. Отражательная плавка, "Металлургиздат", 1952.
83. Смирнов В. И. Шахтная плавка медных и никелевых руд, ОНТИ. 1939.
84. Рцхилдизе В.Г. – Мышьяк. – М., "Металлургия", 1969, – 187 с.
85. Рцхилдизе В.Г. – Исследование процесса получения металлического мышьяка из арсениспиритной руды Цанского месторождения. – Дисс. канд. техн. наук. – Москва, 1964, 125 с.
86. Рцхилдизе В.Г. – Научные основы и Экологически чистые технологии извлечения мышьяка из руд и получения технического и полупроводникового мышьяка, Дисс. доктора техн. наук – Москва, 1988, 407 с.

87. Лоскутов М.Ф. – Свойства, применение, мировое производство и источники для получения мышьяка. - Цветные металлы, 1930, № 10, с. 1434-1439.
88. Асеев Н.П. Проблема получения мышьяка в СССР -Т.Э.В, 1924, №10, с. 695-699.
89. Федорова Н.А. Положение с мышьяком в промышленно развитых капиталистических и развивающихся странах. - По материалам Всесоюзного научно-исследовательского конъюнктурного института Министерства внешней торговли СССР, 1983.
90. Несмеянов А.Н. Давление пара химических элементов. - М., АН СССР, 1961. - 393 с.
91. Вольский А.М., Сергиевская Е.М. Теория металлургических процессов, - М., Металлургия, 1968, 344 с.
92. Вольский А.Я., Танкман Т.Ф. Взаимодействие сернистого газа, окиси углерода, двуокиси углерода и воздуха с арсениопиритом при нагревании. - В сб. Металлургия цветных металлов, "Металлургиядзат", 1945, № 14, с. 89-106.
93. Lukesh. J.S. Termal decomposition of arsenopyrite – Am. mineralogist, 1940, v. 25, p. 539-542.
94. Узда Ясуаки. Термическое разложение арсениопирита, - РЖ. Хим., 1964, 17 Л47.
95. Дерлюкова Л.Е., Тараканов Б.М., Евдокимов В.И. О взаимодействии арсениопирита с сернистым газом -Ж, неорг.хим., 1976, т. 21, выл. 3, с. 607.
96. Тигтов В.А. Чусева Т.П., Коковин Г.А. Химические равновесия в насыщенный паре мышьяка. - Известия АН СССР сер.хим., 1983, № 7/3, с. 42-48.
97. Сирота Н.Н., Зябкевич Н.Н. Термодинамические свойства витаминидов индия и галлия и арсенида галлия. - В сб.: Химическая связь в полупроводниках и твердых телах. Минск, 1965, с. 122-124.
98. Полупроводниковые соединения АIIIВV, под редакцией Виллардсона Р., Геринга Х. - Изд. металлургии, Москва, 1967, - 727с.
99. Пинберг Е.Е., Абдеева Л.С., Ефремов А.А. О новых возможностях получения особо чистого мышьяка гидридным методом. - В сб.: Тезисы докладов научно-технической конференции по перспективам развития производства мышьяка и его соединений, в том числе особо чистых, XI пятилетке и до 2000 года, Тбилиси, "Мецниереба", 1983, с. 19.
100. Вакуумная дистилляция металлов с конденсацией на нагретой поверхности. - Физ.металлов и металловед., 1959, т. 7, вып. 6., с. 862-807.
101. Базилевский, В. М. Вторичные драгоценные металлы. М., "Металлургиядзат", 1947, 379 с.
102. Баймаков Ю. В., Журин А, И. Электролиз в гидрометаллургии. М., Металлургия, 1977. 336 с.
103. Баренцов В. В. Основы сорбционной технологии плавления золота и серебра из руд. М., Металлургия, 1982. 128 с.
104. Бек Р. Ю., Варенцов В. К. Масляк А. И. и др. – В кн.: Гидрометаллургия золота. М., Наука, 1980, с. 173–189.
105. Благородные металлы: Справочник/Под ред. Савицкого Е М М., Металлургия, 1984. 592 с.
106. Вольман Г.М. Основы экстракционных и ионообменных процессов в гидрометаллургии. М., Металлургии. М.: 1982. 376 с.
107. Вторичные драгоценные металлы/Под ред. Базилевского В. М.М., Цветметинформация, 1971. 206 с.
108. Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. М., Атомиздат, 1978, 336 с.
109. Гучель И.С., Друкер Е.Я., Барышников И.Ф. Переработка упорных золотосодержащих руд и концентратов. М: Цветметинформация, 1972, 60 с.
110. Зеленев В. И. Методика исследования золотосодержащих руд. М., Недра, 1978. 302 с.
111. Зеламаман А.Н., Вольман Г. М., Беляевская Л. В. Теория гидрометаллургических процессов. М., Металлургия, 1983, 424 с.
112. Иваковский М. Д. Влияние некоторых компонентов жидкой фазы на скорость растворения золота, и серебра в шлангистых растворах. Труды/Московский институт цветных металлов и золота им. М. И. Калинина. М., "Металлургиядзат", 1958, № 31, с. 283–297.
113. Ивановский М. Д. – В кн.: Обогащение руд и песков благородных металлов. М., Наука, 1971, с. 89–97.
114. Казювский И. А, Теоретические исследования в области гидрометаллургии благородных металлов. – Изв. вузов. Цветная металлургия, 1979, № 3, с. 45-55.
115. Казювский И. А., Потышников Ю. М. Кинетика процессов растворения. М., Металлургия, 1975, 224 с.
116. Казювский И. А., Черкасов Г. Ф. О механизме взаимодействия меди, серебра и золота с водными растворами шлангистового калия. – Изв. вузов. Цветная металлургия, 1974, № 4, с. 87–91.
117. Колодин С. М. – В кн.: Основы металлургии. Т. V. М., Металлургия, 1968, с. 322–374.
118. Ласкорин Ё. Я. – В кн.: Гидрометаллургия. Автоклавное выщелачивание, сорбция, экстракция. М., Наука, 1976, с. 7–19.
119. Ласкорин Б.Н., Вялков В. И., Доброслюкин В. В. – В кн.: Гидрометаллургия золота. М., Наука, 1980, с. 173–179.
120. Ласкорин Б. Н., Саловникова Г. И., Петрова Л. Н. и др.–ЖПХ, в. 8, 1974, с. 1747-1750.
121. Ласкорин Б. И., Токарев Н. И., Водолазов Л. И. – В кн.: Ионообменная технология. М., Наука, 1965, с. 55–62.
122. Лодейшиков В. В. – В кн.: Гидрометаллургия золота. М., Наука, 1980, с. 5–18.
123. Лодейшиков В. В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов. М., Недра, 1968, 204 с.
124. Лодейшиков В. В., Игнатьева К. Д. – Рациональное использование серебросодержащих руд. М., Недра, 1973, 224 с.
125. Пласкин И.Н. Гидрометаллургия. Избранные труды. М., Наука, 1972, 278 с.

126. Польшкин С. И., Адамов Э. В., Папин В. В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М., Недра, 1982, 288 с.
127. Правила технической эксплуатации технологического оборудования золотоплавильных фабрик. М., МЦМ СССР, 1978, 128 с.
128. Пунишко А. А. Современное состояние и перспективы применения сорбционных процессов в гидрометаллургии золота. М.: Цветметинформация, 1974, 60 с.
129. Пунишко А. А., Ласкорин Б. Н., Чернов В. К. и др. – Цветная металлургия. Бюл. НТИ, 1975, № 3, с. 15–19.
130. Разумов К. А., Перов В. А. Проектирование обогатительных фабрик. М., Недра, 1982, 518 с.
131. Скобеев И. К., Сименас Я. С. Коллоидно-химические явления в процессах гидрометаллургии и обезвоживания. Труды/Иргиредмет. Иркутск: Восточно-Сибирское кн. изд. 1972, № 27, с. 3-13.
131. Сошников Л. А., Купченко М. М. Переработка медьэлектралитных шламов. М., Металлургия, 1978, 200 с.
132. Справочник по обогащению руд. Основные процессы. М., Недра, 1980, 399 с.
133. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы, испытание обогатимости, контроль и автоматика. М., Недра, 1983, 370 с.
134. Телегина Л. Е. – Цветные металлы, 1984, № 4, с. 93–99.
135. Телегина Л. Е., Давыдова Л. А. Современное состояние ионнообменной технологии извлечения золота из руд за рубежом. М.: Цветметинформация, 1983, 37 с.
136. Техника и технология извлечения золота из руд за рубежом/Под: ред. Лодейщикова В. В. М., Металлургия, 1973, 288 с.
137. Тюфтин Е. П. Промывка гидрометаллургических пульп. М., Металлургия, 1970, 224 с.
138. Федоренко И. В. Развитие исследований платиновых металлов в России. М., Наука, 1985, 264 с.
139. Фицимонова Л. А., Зеленов В. Я. Методы обезвреживания стоков и водооборот при переработке золотосодержащих руд. М.: Цветметинформация, 1979, 38 с.
140. Carbon in pulp to recover gold. World Mining, Vol. 27, No. 11, 1974.
141. Шиврин Г. Н., Стрижко В. С. Технологические расчеты процессов и оборудования золотоплавильных заводов. Красноярск: Красноярский ИЦМ им. М. И. Калинина, 1976, 92 с.
142. Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1980, 400 с.
143. Иваловский М. Д. и Зефирова А. П. Металлургия золота. 1938.
144. Меретуков М. А. Процессы жидкостной экстракции и ионнообменной сорбции в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1978, 120 с.
145. Меретуков М. А., Стрижко Л. С. Современное состояние производства золота за рубежом. М., Цветметинформация, 1985, 59 с.
146. Металлургия осмия/Синицын Н. М., Кунаев А. М., Пономарева Е. И и др./Алма-Ата: Наука, 1981, 186 с.
147. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов/Замятин О. В., Лопатин А. Г., Санникова И. П., Чугунов А. Д. М., Недра, 1975, 262 с.
148. Петровская Н. В. Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М., Наука, 1973, 347; с.
149. Беляев А. И. Металлургия легких металлов, "Металлургиядзат", 1949.
150. Беляев А. И., Рапопорт М. Б. и Фирсанова Л. А. Электрометаллургия алюминия, "Металлургиядзат", 1953.
151. Пазухин В. А. Кристаллохимические представления в приложении к выплавке алюминия электролизом, «Успехи химии», т. XXI, вып 3, 1952.
152. Мпшовец В. П. и Форсом Г. В. Электролитическое производство алюминия, Металлургия, 1951.
153. Gerard, G. and P. T. Stroup, Eds., Extractive Metallurgy of Aluminium, Vol. I, Interscience, New York, 1965.
154. Мазель В. А. производство глинозема, "Металлургиядзат", 1950.
155. Стрелец Х. Л., Тайц Б. С., Гулянский Б. С. Металлургия магния, "Металлургиядзат", 1950.
156. Hampel, C. A., Ed., Rare Metals Handbook, Chapman and Hall, London, 1956.
157. Меерсон Г. А., Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. М. Металлургиядзат, 1955. 608 с.
158. Сергеев В. Д., Безикладников А. К., Мальшин В. М. Металлургия титана М: Металлургия, 1979. 264 с.
159. Зеликман А. Н. Металлургия вольфрама и молибдена, "Металлургиядзат", 1949.
160. Арутюнов Э. А., Петрунько А. М., Меерсон Г. А., Демченко О. Я. – Металлургия титана. М., Г Металлургия, 1970, с. 59–77.
161. Огурцов С. В., Резниченко В. Д. – В кн.: Титан и его сплавы. М., -Изд. АН СССР, 1960, вып. 4, с. 132–139. 1961.
- Радикян В. В., Гегер В. Э., Скрипняков В. М. – Магнетермическая производство губчатого титана. М. Металлургия, 1971, 213 с.

- 162 Bellamy, R.G and N.A. Hill, *Extraction and Metallurgy of Uranium, Thorium, and Beryllium*, Pergaman Press, New-York, 1963.
163. Wilkinson, W.D., *Uranium Metallurgy*, Vol. I, *Uranium Process Metallurgy*, Wiley, New York, 1962.
164. И.И. Черняев, В. А. Голован, Л.В. Эллерт, Р. Н. Щедоков, В. П. Марков. К вопросу о строении комплексных соединений уранила. Доклад № 2138 на 2-й Женевской конференции.
165. В.И. Герасимовский – О формах нахождения урана в горных породах, *Атомная энергия*, № 12, 1959, 525.
166. Б.В. Невский – Комплексное использование урановых руд. *Атомная энергия*, №. 1, 1959, 5.
167. В.С. Домарев – Геология урановых месторождений капиталистических стран. Госгеолгиздат, 1966.
168. Урановые месторождения. *Атомная энергия*. Краткая энциклопедия, Изд. БСЭ, 1956.
169. Г. Е. Каллаи, Б. Н. Ласкорин, Б. В. – Невский, *Промышленные методы переработки бедных урановых руд*, *Атомная энергия*, № 2 1950, 113.
170. Б. Гольдшмидт, Ц.Берт. Получение чистого металлического урана. Труды 1-й Женевской конференции, т. 8, доклад М. 341, "Металлургиядат", 1958: стр. 187.
171. *Rare Metals Handbook Edited by Hampel*. New York 1954.
172. Грейнджер. Производство металлического урана. Труды 1-й Женевской конференции, т. 8, доклад № 407, "Металлургиядат", 1958, стр. 183.
173. *Металлургия урана в Бельгии*, там же, доклад 1104, стр. 192.
174. Уидхелм. Производство металлического урана восстановлением четырехфтористого урана магнием. Там же. Доклад № 817, стр. 199.
175. Л. Мак-Клефли, Е. Баллвинкель, Д. Ж. Хиггинс. Химия карбонатных соединений урана, Труды 1-й Женевской конференции, т. 8, доклад №25, "Металлургиядат", 1958, стр. 38.
176. Шанкар, Д. Бхарнагар, Т. Мюрти. Применение ионного обмена для извлечения урана из растворов карбонатного выщелачивания, там же, доклад № 87, стр. 83.
177. Дж. Кац и Е. Д. Рабинович. Химия урана. ИЛ, 1954.
178. ASARCO liquifies SO₂ from smelter gas, *Min. Eng.* Vol. 26., No. 11, 1974.
179. Agarwal, J. C. H. Flood and R. Giberti, *J Metall.*, Vol. 26, No. 12, 1974.
180. Biswas, A. D. and W. G. Davenport, *Extractive Metallurgy of Copper*, Pergamon, New York, 1976.
181. Boldt, J. R.. *The Winning of Nickel*, Methuen, London, 1967.
182. Campbell, F. E., *The Removal of Sulphur Dioxide from Copper Reverberatory Furnace Gas by Wet Limestone Scrubbing*, Smelter Control Research Association, 1972, Manning, Selvae and Lee, Inc, New York.
183. Chanlen, E. T., *Environmental Protection*, McGraw-Hill, New York, 1973.
184. Cherenisimoff, P. N., *Pollution Engineering Fundamentals Technical Update Seminar, Eng. Dig.*, Vol. 2L.No 10, 1975.
185. *Compilation of Air Pollution Emission Factors*, U.S. EPA, Office of Air and Water Programs, Bulletin AP-42, 2nd ed., Washington, D.C., 1973.
186. Conerili, C. H. and J. M. Cigan, Eds., *AIME World Symposium on Mining and Metallurgy of Lead and Zinc*, Vol. 2, *Extractive Metallurgy of Lead and Zinc*, Port City Press, Baltimore, 1970.
187. *Zinc*, Vol. 2, *Extractive Metallurgy of Lead and Zinc*, Port City Press, Baltimore, 1970.
188. Deju, R. A., *Extraction of Minerals and Energy: Today's Dilemmas*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, 1974.
189. Ehrlich, R. P., Ed., *Copper Metallurgy, Extractive Metallurgy Division Symposium on Copper Metallurgy*, AIME, New York, 1970.
190. *Environmental control*, *Min. Eng. Ann. Rev.*, Vol. 25, No. 2, 1973.
191. Calspan Corp., *Environmental Impacts of Virgin and Recycled Aluminum*, prepared for U.S. EPA, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, Washington, D.C., PB-253 487, 1976.
192. Iverson, R. E., *Air pollution in the aluminum industry*, *J. Metall.*, Vol. 25, No. 1, 1973.
193. *Annual Review Issue*, *J. Metall.*, Vol. 29, No. 3, 1977.
194. Lynn, D. A., *Air Pollution-Threat and Response*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1976.
195. *Lurgi Geselleschaften, Lurgi Manual*, Frankfurt am Main, 1961.
196. Marston, E. H., *The Dynamic Environment*, Xerox College Publishing, Lexington, Mass., 1975.
197. *Mineral Facts and Problems*, Bureau of Mines Bulletin 667, U.S. Department of Interior, Washington, D.C., 1975.
198. *Mineral Resources and the Environment*, Commission on Natural Resources, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1975.
199. Moriber, G., *Environmental Science*, Allyn and Bacon, Rockieigh, New Jersey, 1974.
200. *Oroya Metallurgical Operations*, Cerro De Pasco Corp. (now Centromin Pera), 1972.
201. Perkins, H. C., *Air Pollution*, McGraw-Hill, New York, 1974.
202. *Pollution control systems*, *J. Metall.*, Vol. 27, No. 2, 1975.
203. Priest, J., *Problems of Our Physical Environment*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1973.
204. Pryor, E. J., *Mineral Processing*, Elsevier, London, 1965.
205. Rosenbaum, J. B., *Minerals Extraction and Processing: New Developments, in Materials: Renewable and Nonrenewable*

- Resources, Abelson, P. H. and A. L. Hammond, Eds., American Association for the Advancement of Science., Washington, D.C., 1976, pp. 113-117.
206. Shaheen, E. L., Environmental Pollution: Awareness and Control, Engineering Technology Incorp., Mahomet, Michigan, 1973.
 207. Shonle, J. L., Environmental Applications of General Physics, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1975.
 208. Solid Waste Processing, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Environmental Control Administration, Bureau of Solid Waste Management, Bulletin SW-4c, Washington, D.C., 1969.
 209. Stack gas cleaning equipment. Pollution Equipment News, Vol. 10, No. 1, 1977.
 210. Siem, A. C., Ed., Air Pollution, Vol. 3, Sources of Air Pollution and Their Control, Academic Press, New York, 1968.
 211. Acharya, P., S. DeCicco, and R. Novak. 1991. Factors that can influence and control the emissions of dioxins and furans from hazardous waste incinerators. Journal of the Air Waste Management Association 41(12):607.
 212. Anderson, D. L. Theory of the Earth. Boston, Mass.: Blackwell. 1989.
 213. Bach, R. D., and C. J. Nagel. March 11, 1986. Destruction of Toxic Chemicals. United States Patent 4,574,714.
 214. Cundy, V. A., C. Lu, C. A. Cook, A. M. Sterling, C. B. Leger, A. L. Jakway, A. N. Montestruc, R. Conway, and T. N. Lester. 1991. Rotary kiln incineration of dichloromethane and xyliene: A comparison of incinerability characteristics. Journal of the Air Waste Management Association 41:1084-1094.
 215. Feizollahi, F., and W. J. Quapp. 1994. Integrated Thermal Treatment System Study Phase 2 Results. Idaho National Engineering Laboratory, DOE Contract No. DE-AC07-94ID13223. November.
 216. Kirk-Othmer. 1991. Encyclopedia of Chemical Technology, 4th ed. New York: John Wiley & Sons.
 217. Mark, C. J., and O.B. Henke. 1992. Emissions from the incineration of nerve agent rockets containing low-level PCBs. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 27(6): 1549-1575.
 218. Milligan, M. S., and E. Altwicker. 1993. The relationship between de novo synthesis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and low-temperature carbon gasification in fly ash. Environmental Science and Technology 27:1595-1601.
 219. Mohamed, F., I. Y. Chaneg, R. S. Huang, and E. C. Santos. 1991. Chemical fixation of sewage sludge derived ash. Journal of Environmental Science and Health Part A Environmental Science and Engineering 26(3)(April):353-371.
 220. Moore, J. J. 1990. Chemical Metallurgy, 2nd ed. London: Butterworth & Co.
 221. H. Wioesta. 1992. Thermodynamic study on the reduction of the polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in incinerator exhausts. Environmental Science and Technology 26(4).
 222. Nagel, C. J., R. D. Bach, and W. M. Haney III. April 13, 1993. Method for Reducing Volume of a Radioactive Composition. United States Patent 5,202,100.
 223. Nagel, C. J., C. A. Chanchuk, E. W. Wong, and R. D. Bach. 1995 (submitted). Catalytic extraction processing: An elemental recycling technology. Journal of Environmental Science and Technology. Forthcoming.
 223. Peters, R., K. Whittington, and R. Kerrile. 1994. Mixed Waste Vitrification Process Limits and Effluent Characterization, Mixed Waste Integrated Program (MWIP) Mid-Year Review. U.S. DOE Contract No. DE-AC06-76RLO 1830. Gaithersburg, Md.
 224. Rao, Y. K. 1985. Stoichiometry and Thermodynamics of Metallurgical Processes. New York: Cambridge University Press.
 225. Smith, P., ed. 1986. The Earth. New York: Macmillan.
 226. U.S. Environmental Protection Agency. 1992. Vitrification Technologies for Treatment of Hazardous and Radioactive Waste. EPA Handbook, EPA/625/R-92/002. Office of Solid Wastes, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
 227. Nagel, C. J. C. A. 1996. Novel chemical processing of Hazardous Waste. First Annual Symposium on Frontiers of Engineering. National Academy Press, Washington, D.C.
 228. World non-ferrous Metal Statistics, 16, N4, 1963.
 229. А.Н. Зелникман, Г.М. Вольман. Известия высшей школы, цветная металлургия, 1962, №4.
 230. А. Степанов, О.Т. Илекулов, цветные металлы, 1964, №1, 27.
 231. W. Wendt, Antimon und seine Verhüttung, Wien, 1960.
 232. ე. რცხილაძე და სხვები. ლუხუმის (რაჭა) ხელყოფილი მადნიდან მეტალოთერმული აღდგენის მეთოდით ლითონური დარიშხანის მიღება. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის შტაბი, ქიმიის სერია, 2004, ტ. 30, №1-2, 121.
 233. ე. რცხილაძე და სხვები. ტყეის მრავალჯერადი გამოყენება მაღალი სისუფთავის ლითონური დარიშხანის წარმოებისას. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის შტაბი, ქიმიის სერია, 2004, ტ. 30, №1-2, 179.
 234. ე. რცხილაძე და სხვები. იშვიათი მწვანე ლითონების არხნიდების სინთეზის პირობები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის შტაბი, ქიმიის სერია, 2005, ტ. 31, №1-2, 152.
 235. ე. რცხილაძე და სხვები. იშვიათი მწვანე ლითონების დარიშხანის წარმოების სოციალური თერმოდინამიკური მახასიათებლების განაგრაობა. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის შტაბი, ქიმიის სერია, 2005, ტ. 31, №3-4, 335.

V. Rtskhiladze, D. Oziashvili-Rtskhiladze

NONFERROUS METALLURGY

Summary

This edition is the first book in Georgian presenting the metallurgical processing for the major nonferrous metals – copper, nickel, lead, zinc, aluminum, gold, silver, tungsten, titanium, uranium, magnesium, arsenic, antimony, mercury, etc.

The text is divided into four main sections. The first section considers a pretreatment of ores by various combinations of specific gravity, magnetic permeability and froth floatation methods. In the second section are discussed the various types of metallurgical processes in current use for extracting and refining the major nonferrous metals. In the third section the exact processes are considered in detail for the specific metal compound or metal being treated by that process.

An additional section considers such environmental factors as the pollution of air and water, and the treatment of product and residues, which are increasingly becoming major concerns in metallurgical processing.

Рцхილადე ვასილი გეორგიევიჩ, ოზიასვილი-რცხილადე დისლო შალვონა

ЦВЕТНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Резюме

Настоящее издание является первой книгой по металлургии цветных металлов на Грузинском языке. В ней изложены основы теории и практики производства большинства цветных металлов: меди, никеля, свинца, цинка, алюминия, золота, серебра, вольфрама, титана, урана, магния, мышьяка, сурьмы, ртути и др.

Состоит из четырех частей. В первой части представлены способы подготовки руд к металлургической переработке. Во второй части освещены основные пирометаллургические, гидрометаллургические и электрометаллургические процессы. При описании каждого процесса даются теоретические основы и краткий исторический очерк развития процесса. Приведено описание конструкций основного металлургического оборудования с анализом технических показателей. В третьей части рассмотрены современные способы производства отдельных металлов. Даны технологические схемы переработки сырья и полупродуктов производства. В четвертой части изложены проблемы охраны воздушного и водного бассейнов и способы обезвреживания остатков производства в цветной металлургии.

შპს „აბი“
ჯეოქონს ქ. 8