

ს. იაკობაშვილი

მეგალომანია

სიქარტველის სსრ ემბლესი და საშუალო სპეცილური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებული სახელმძღვანელო პოლიტექნიკური ინსტიტუტის მეტალურგიის სპეციალიზის სტუდენტებისათვის

სახელმძღვანელოში განხილულია ფიზიკური ქიმიის საფუძვლები, მეტალურგიული პროცესების თერმოდინამიკა და კინეტიკა, მადნების დასასიათება და მონზაღება დნობისათვის, თუჯის, ფოლადის, ფეროშენადნობებისა და ფერადი ლითონების მეტალურგია და ტექნოლოგია და სხვ.

წიგნი განკუთვნილია მეტალურგიის სპეციალობის სტუდენტებისათვის; იგი დახმარების გაუწევს აგრეთვე წარმოებისა და სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულებების ინჟინერ-ტექნიკოსებს, რომლებიც მუშაობენ მეტალურგიის ტექნოლოგიის დარგში.

რეკენზენტები: ტენიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი, დოც. გ. ლომთათიძე
ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი თ. სიგუა

უმსავალი

„მეტალურგია“ შეისწავლის მადნებიდან და სხვა მასალებიდან შავი და ფერადი ლითონების წარმოებას, გარდა ამისა, სპეციალური მეთოდების გამოყენებით ლითონებისა და მენადნობების ხარისხის გაუმჯობესებას (სპეციალური მეტალურგია).

ლითონები იყოფა შავ (თოლადი, თუჯი), გარდამავალ (ქრომი, მანგანუმი) და ფერად ლითონებად; ბოლო ჯგუფი თავისთავად კიდევ იყოფა: მსუბუქ, იშვიათ და კეთილშობილ, ანუ ძვირუას, ლითონებად (ოქრო, ვერცხლი, პლატინა და სხვ.).

მეტალურგიის ძირითად მცენიერულ ეტაპებს პირველი საფუძველი ჩაუყარა დიდმა რუსმა მეცნიერმა მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვმა თავის ნაშრომში „მეტალურგიის, ანუ სამადნე საქმის პირველი საფუძვლები.“ მისი მოძღვრების უწვლად განგრაგლებებში პ. ანოსოვმა, მ. კურაკომ, დ. ჩერნოვმა, ა. ბაიკოვმა, მ. პავლოვმა და სხვებმა განავითარეს მ. ლომონოსოვის დებულებები და თანდათან ჩამოაყალიბეს თანამედროვე მეტალურგიის ძირითადი საფუძვლები.

ცნობილია, რომ უძველეს დროში ლითონის მიღება წარმოებდა არა თხევად, არამედ ცომისებრ-პლასტიკურ მდგომარეობაში „ცივებრვის“ ქურებში. ეს პროცესი წარმოადგენს, ჩვეულებრივ, მარტივ ქურებში მადნიდან რკინის უშუალო მიღების უძველეს მეთოდს. უპირველესად ქურებს თვით მიწაში თხრიდნენ, ხოლო შემდგომ მისი აგება ქვების მეშვეობით დაიწყეს. ასეთ ქურებში ტვირთავდნენ რკინის მადანსა და ხის ნახშირს შვირე ულუფებად. ქვედა ნაწილში ნახშირის გასაღვივებლად სპეციალურად დატოვებული ხერხელებით მიეწოდებოდა ჰაერი, რის შედეგადაც ვითარდებოდა მაღალი ტემპერატურა, რომელიც 1000—1150°C-ს აღწევდა. ამ დროს მიმდინარეობდა მადნიდან რკინის ეანგეულების აღდგენა, რის შედეგადაც წარმოიქმნებოდა ე. წ. „გუნდას“ სახით ღრუბლოვანი რკინა, რომელიც დაფარული იყო რკინის ეანგეულებით მდიდარი გამდნარი ან ნახევრად გამდნარი წილით. გარკვეული სიდიდის მიღწევის შედეგ გუნდას ქურიდან იღებდნენ და უროს ქვეშ წინხდნენ, რის შედეგადაც გუნდას ფორებიდან გამოიღვენებოდა თხევადი წილი და ლითონის ცალკეული ნაწილაკები ერთმანეთთან დუღდებოდა.

თავდაპირველად ქურებში ჰაერის მიწოდება ბუნებრივი გზით წარმოებდა, ხოლო შემდგომ ხელოვნურად—ხელის საბერველების გამოყენებით. დროთა განმავლობაში ადამიანის ფიზიკური ძალის გამოყენებამ ადგილი დაუთმო წყლის ენერჯიას. ამან პროცესის ტემპერატურა საგრძნობლად მაღლა ასწია და გამოიწვია მისი ფორსირება. ამასთან თანდათან დაიწყეს ცივებრვის ქურების სიმბლლის ზრდა და მათი შეცვლა 2—4 მ შახტური ღუმელებით—ე. წ. „ბრძმელებით“, რომლებშიც ხდებოდა გამოყოფილი აირების სითბოს კარგი გამოყენება. აქან გაპარვით ხაწვავის უფრო ეკონომიური და ეფექტური გამოყენება. ამგვარად, რკინის წარმოების ტექნიკის განვითარებას მოყვა

ქურაში ქანგეულების უფრო სრული აღდგენა და ღუშლის ქვედა ნაწილში თხევადი ლითონის მიღება, რომელიც ყო პალალნახშირბადიანი (3-4% C) შენადნობი. ამგვარად, წიდაში რჩებოდა რკინის ქანგეულების მცირე რაოდენობა. წიდასა და თხევადი ლითონის კუთხის წონების სხვაობაში განპირობება მათი იოლი განცალკევება. ამასთან, მდნეღეს გაღების შედეგად თხევადი წიდიდან მიმდინარეობდა აგრეთვე სილიციუმისა და მანგანუმის აღდგენა და ლითონში გაღება. ყოველივე ამის შედეგად მიღებოდა მეტად მკაფი, კედლისათვის გამოუსადეგარი ლითონი—თუჯი. თავდაპირველად თუჯს არასასურველ პროდუქტად თვლიდნენ და ყრიდნენ, ხოლო უკვე XIV საუკუნეში მეტალურგების ყურადღება მიიპყრო თუჯის სამსხმელო თვისებებმა, რის შედეგადაც დაიწყო მისგან მზადება დეტალების ჩამოსხმა. ხოლო თუჯის ის ნაწილი, რომელიც არ ვარგოდა ჩამოსახსიელად, რკინის მადანთან ერთად სპეციალურ ღუნებში გადადნებოდა. ასეთ ღუმლებში თანდათან დაიწყო თუჯის მეორეული გადამუშავება, რის შედეგადაც წარმოიქმნა მადნიდან ლითონის წარმოების ორსაფეხურიანი მეთოდი: ზატურ ღუმლებში (ბრძმელში) თუჯის მიღება და შემდგომ სპეციალურ ღუმლებში ფოლადად გადამუშავება.

პირველი ბრძმელის წარმოქმნა XVIII საუკუნეს მიეკუთვნება. ამ დროისათვის ინგლისში პირველად ბრძმელში მიიღეს კოქსზე გამოძნარი თუჯი. რუსეთი უკვე XIX საუკუნის მიწურულიდან იწყებს თუჯის წარმოებაში კოქსის გამოყენებას.

ბრძმელის მწარმოებლურობის სწრაფ ზრდას ხელი შეუწყო ორთქლის მანქანების გამოგონებამ, რომლის საშუალებითაც გაიზარდა მიწოდებული ჰაერის წნევა, რათა გადაეღობა ღუმელში ჩატვირთული კაზმის ფენის სისქის წინააღმდეგობა. ამან გამოიწვია ბრძმელის ზომების კიდევ უფრო მეტად ზრდა. XIX საუკუნის 30-იან წლებში ბრძმელისთვის მიწოდებული ჰაერის წინასწარ გახურებამ კიდევ მეტი ბიძგი მისცა თუჯის გამოდნობის პროცესის დაჩქარებას. უფრო გვიან ბრძმელის აირი გამოყენებულ იქნა სათბობ მასალად ამგვარად, ჩამოყალიბდა გახურებულ ჰაერზე მუშავე ბრძმელები, რომლებიც პრინციპულად ერთმის არ განსხვავდებოდნენ თანამედროვესგან.

თუჯისა და ფოლადის გამოდნობის ტექნიკისა და ტექნოლოგიის განვითარება და გაუმჯობესება XVIII საუკუნის დასაწყისიდან მიმდინარეობს როცა შეიქმნა ფოლადად თუჯის გადასამუშავებელი ალქმელი ღუმლები. შემდგომში ფოლადად თუჯის გადასამუშავება წარმოიქმნა მარტენის, ბესემერისა და თომასის პროცესით, ხოლო ჩვენს დროში შეიქმნა ფოლადის მიღების ქანგბად-კონვერტერული პროცესი. ამგვარად, შეიქმნა მადნიდან ფოლადის მიღების თანამედროვე ორსაფეხურიანი სქემა. ამჟამად ფართოდ გავრცელებულია მარტენისა და ქანგბად-კონვერტერული პროცესები. ბრძმელში მიმდინარეობს აღდგენის პროცესები, რომლის დროსაც აღდგება რკინა, ფოსფორი, სილიციუმი და მანგანუმი. ამ დროს ლითონი ნახშირბადიანდება, ხოლო ნებისმიერ ფოლადსაღნობ ღუმელში (მარტენის, კონვერტულ ან ელექტროღუმლებში) მიმდინარეობს თუჯში შემავალი ელემენტებსა და მინარეების ქანგვა და მათი წიდაში ან აირში გადასვლა. მიუხედავად მაღალი ტემპერატურისა, ლითონში გადადის ქანგბადი. ამის შედეგად ლითონი ქანგბადით მდიდრდება, რაც იწვევს წნევით დამუშავების პროცესში მის წითელღეტეხობას, ე. ი. ცხლად დეფორმაციის პროცესში წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით ბზარები. უკანასკნელის თავიდან აცილებისათვის უკვე კიდევ თხევადი ლითონის აბზანაში შეყავთ ისეთი ელემენტები, რომელთა ქანგბადისაგან სწრაფვა შედარებით დიდია.

ვიდრე რკინისა. ასეთებია სფუთა ლითონები (ალმინის სახით) ან ფეროშენადნობები — ფეროსილიციუმი, ფერომაგნიუმი, სილიკომაგნიუმი და სხვ. გარდა ამისა, აღნიშნული ფეროშენადნობები ერთდროულად გამოიყენება ლითონის სასურველი ელემენტებით ლეგირებისათვის.

ფეროშენადნობები მიიღება ალდენითი პროცესებით ელექტროლუმბებით ან ბრძმდში.

XIX საუკუნის ბოლოსა და XX საუკუნის დანდეს დანუწავებულ იქნა ფოლადების დნობა ელექტროლუმბებში. ელექტროსენერჯის სიძობის წყაროდ გამოიყენება დიდი უნიარტელობა აქვს მყარ, სხვადასხვა ანოდიან საძობთან შედარებით. ელექტროლუმბების ერთერთ განსაკუთრებულ უპირატესობად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ მასში შესაძლოა ერთდროულად ლითონის ლეგირება გარკვეული ელემენტებით.

პარალელურად იქმნებოდა ფეროშენადნობების წარმოება. საშუალო კავშირში პირველი ფეროშენადნობის ქარხანა ამუშავდა 30 იან წლებში (ჩელიაბინსკის ფეროშენადნობების ქარხანა) შემდეგ იქმნა ზესტაფონის, ხაბოვოიეს აკტიუბინსკისა და სხვა ქარხნები.

ავიაციის კომპლექსური ტექნიკის, მანქანათმშენებლობისა და წარმოების სხვა სფეროების განვითარება ლითონის ხარისხს სულ უფრო მაღალ მოთხოვნებს უყენებს, რომლებიც შესაძლოა განხორციელდეს სპეციალურ დანადგარებში გადადნობის საშუალებით. ამის საფუძველზე წარმოიგნა სპეციალური ელექტროლუმბები, რომლებიც პროცესში, რომელიც ელექტროლუმბებში, ელექტროსხივური, პლანური-რკალური ელექტრო-რკალური და სხვ. ამჟამად ამ პროცესების განვითარება მიმდინარეობს სხვადასხვა ტონაჟის ზრდისა და მწარმოებლობის ზრდისაკენ.

გრანდიოზული ამოცანებია დასახული სკვ XXVII ყრლობის მიერ საბჭოთა მეტალურგიის წინაშე სახალხო მეურნეობის განვითარების 1986—1990 წლებში. XXVII ყრლობამ დაკისბა XII ხუთწლეულში განხორციელდეს დაოგის ტექნიკური გარდაქმნა, არაბელა დანადგარების მოდერნიზაცია და საექსპლუატაციოდ ახალი მძლავრი მეტალურგიული აგრეგატების გადაცემა

XXVII ყრლობის დირექტივებია და სსრ კავშირის ეკონომიკური და სოციალური განვითარების 1985—1990 წლებისა და 2000 წლამდე პერიოდის ძირითად მიმართულებებში აღნიშნულია, რომ უზრუნველყოთ შავი მეტალურგიის ნედლეულის ბაზის უპირატესი განვითარება; ავანტაჟით მოპოვებული მადნებიდან კომპონენტების ანობება. გაუზარდოთ რკინის, მანგანუმისა და ქრომის შემცველობა კონცენტრატებში, ავითვისოთ სამრეწველო მასშტაბით დაჟანგული რკინის კვარციტების გამდიდრებისა და დაგუნდავების ტექნოლოგია.

ფოლადის წარმოების შემდგომი ზრდისა და ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით დასახულია უანუბალ-კონცენტრირებული და ელექტროფოლადსადნობი მეთოდების განვითარება, ელექტროფოლადის გამოწვევის ზრდა, სპეციალური გადადნობისა და ლუმბულვარეშე დანუწავების მეთოდებით ფოლადის წარმოების გაფართოება და შრომის ნაყოფიერების ზრდა.

1986—1990 წლებისა და 2000 წლამდე სსრ კავშირის ეკონომიკური და სოციალური განვითარების ძირითად მიმართულებებში ხაზგასმითაა მითითებული ფერად მეტალურგიაში მოქმედ საწარმოთა ნედლეული ბაზის განმტკიცება, აგრეთვე მისი უპირატესი განვითარება, მადნებისა და კონცენტრატე

ბის მოპოვებისა და გადამუშავების ტექნოლოგიის სრულყოფა, ეფექტიური ტექნოლოგიური პროცესებისა და დიდი სიმძლავრის აგრეგატების დანერგვა.

თითქმის ოცდაათ წელზე მეტია, რაც საქართველოს ვ. ი. ლენინის სახელობის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის მეტალურგიულ სპეციალობებზე იკითხება „მეტალურგიის“ კურსი. მიუხედავად ამისა, დღემდე ქართულ ენაზე არ არსებობს აღნიშნული კურსის სახელმძღვანელო, რაც საგრძნობლად აფერხებს ქართული სექტორის სტუდენტების მიერ კურსის საფუძვლიანად დაუფლებას. წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს არსებული ხარვეზის შევსების პირველ ცდას; მისი მიზანია განზოგადებულ იქნეს ლიტერატურული მონაცემები შავი და ფერადი მეტალურგიის წარმოების დარგში.

აღნიშნული სახელმძღვანელო შედგენილია სსრ კავშირის უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს სასწავლო-მეთოდური სამმართველოსა და საქართველოს ვ. ი. ლენინის სახელობის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის „შავი ლითონების მეტალურგიის“ კათედრის მიერ დამტკიცებული პროგრამების მიხედვით. იგი მიზნად ისახავს მისცეს ქართულ სექტორზე მოსწავლე სტუდენტებს აუცილებელი წარმოდგენა შავი და ფერადი ლითონების წარმოების შესახებ, ჰადნების კლასიფიკაციასა, მოპოვებასა და გადამუშავებაზე, ფეროშენადნობების წარმოებასა და ლითონების ხარისხის გაუმჯობესების მეთოდებზე და სხვ.

მეტალურგიული პროცესების ფიზიკურ-ქიმიური საფუძვლები

I ტ ა ვ ი

ქიმიური თერმოდინამიკის ძირითადი ცნებები
და განსაზღვრებები

§. 1-1. თერმოდინამიკის პირველი კანონი

თერმოდინამიკა წარმოადგენს მეცნიერულ დისციპლინას. რომელიც შეისწავლის: ა) ენერჯიის ერთი ფორმიდან მეორე ფორმაში გადასვლას; ბ) ფიზიკური და ქიმიური პროცესების ენერგეტიკულ ეფექტებსა და პროცესის მიმდინარეობის პირობებზე მათ დამოკიდებულებასა და გ) განხილულ პირობებში პროცესის მიმდინარეობას, მიმართულებასა და თვითღირებვის ზღვრებს. აგი ემყარება ორ ძირითად კანონს, რომლებიც წარმოადგენენ საუკუნეების განმავლობაში ჰრავალი ცდის განზოგადების შედეგს: I—ენერჯიის (ან ნივთიერების) მუდმივობის კანონს, და II—ნივთიერების მკარმოკულობაში ბუნებრივად თავისთავად მიმდინარე ფიზიკური და ქიმიური პროცესების განვითარების კანონს.

განასხვავებენ ზოგადს, ტექნიკურსა და ქიმიურ თერმოდინამიკას. ზოგადი თერმოდინამიკა შეისწავლის (აყალიბებს) თერმოდინამიკის ძირითად საწყისებსა და უშუალოდ მათგან გამომდინარე შედეგებს. ტექნიკური თერმოდინამიკა შეისწავლის ობიექტის მანქანებისადმი იგივე კანონებისა და მათგან გამომდინარე შედეგების გამოყენებას. ქიმიური თერმოდინამიკის დანიშნულებაა თერმოდინამიკის მეთოდების გამოყენებით ქიმიური პროცესების შესწავლა. იგი შეისწავლის ნივთიერებების თერმოდინამიკური თვისებების დამოკიდებულებას ნივთიერების ქიმიურ შედგენილობაზე, აგებულებაზე, ტემპერატურასა და წნევაზე.

მეტალურგიული პროცესების ერთ-ერთი მთავარი პირობაა ქიმიური რეაქციების სწორად წარმართვა, რომლის მიღწევაც მხოლოდ თერმოდინამიკის კანონებზე დაყრდნობით შეიძლება. თუ გვეცოდინება თერმოდინამიკის კანონები, შეგვეძლება წინასწარ განვსაზღვროთ მოცემულ პირობებში ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის მიმართულება.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი ემყარება ენერჯიის მუდმივობის კანონს, რომლის ფორმულირებაც პირველად დიდი რუსმა მეცნიერმა მ. ლომონოსოვმა (1748 წ.) ჩამოაყალიბა. თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანამედროვე ფორმულირებაში დიდი როლი შეასრულეს ჰესის, მაიერის, ჯოული-სა და ჰემპოლის გამოკვლევებმა. იგი შესაძლოა შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს: ბუნებაში ენერჯია არ ისპობა და ახლად არ წარმოიქმნება, არამედ ერთი სახეობიდან მეორეში გადადის. ამგვარად, თუ რომელიმე პროცესში ერთი სახის ენერჯია ქრება, მაშინ მის ნაცვლად წარმოიქმნება სხვა სახის მისივე ეკვივალენტური რაოდენობის ენერჯია.

იმისათვის, რომ გავერკვეთ პირველი კანონის მათემატიკურ ფორმულირებასა და მისგან გამომდინარე შედეგებში, პირველ რიგში უნდა გავიცნოთ ისეთ თერმოდინამიკურ ცნებას, როგორცაა შებვა ენერჯია (U).

შიგა ენერგია არის სისტემის შემადგენელი ნაწილების კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამი.

შიგა ენერგია დამოკიდებულია სხეულის ბუნებასა და მდგომარეობაზე, ე. ი. იმ პირობებზე რომელთა იმპულსი იმპულსი სხეული; ამასთან, ძირითად როლს ასრულებს სხეულის მასა (V), წნევა, (P), რომელსაც განიცდის, და ტემპერატურა (T). ეს სამი ცვლადი პარამეტრი განსაზღვრავს ერთგვარად სხეულის თერმოდინამიკურ მდგომარეობას და ისინი გეტ-ნაგლებად იცვლებიან ყოველი ფიზიკურ-ქიმიური პროცესის დროს. შიგა ენერგია, როგორც ფუნქცია, შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$U = f(V, P, T). \quad (I.1)$$

შიგა ენერგია ექსტენსიური სიდიდეა, ე. ი. დამოკიდებულია ნივთიერების რაოდენობაზე. იგი განიხილება თბური ერთეულების 1 მოლ ნივთიერებასთან შეფარდებით: კალ/მოლი ან კალ/მოლი (C_H სისტემის მიხედვით ჯოული/მოლი ან კჯოული/მოლი).

სისტემის შიგა ენერგიის აბსოლუტური მნიშვნელობის განსაზღვრა აშკარად არ არის სათანადოდ შესწავლილი. უფრო ხშირად შეიძლება განვსაზღვროთ სისტემის ენერგიის ცვლილება ΔU . სისტემის მდგომარეობის შეცვლა, შესაბამისად, იწვევს მათი შიგა ენერგიის ცვლილებას. ენერგია შეიძლება გადაეცეს სისტემის ერთი ნაწილიდან მეორე ნაწილში სათბოს (გამოყოფით ან შთანთქმით) ან შესრულებული მუშაობის ფორმით მუდმივი ტემპერატურისა და მუდმივი მოცულობის ან წნევის პირობებში. სისტემის შიგა ენერგიის ცვლილება გამოიხატება ტოლობით: $\Delta U = U_2 - U_1$, სადაც U_1 და U_2 სისტემის ენერგიებია, შესაბამისად, საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში. ეს დამოკიდებულება გეიზენგებს, რომ შიგა ენერგია არის სისტემის მდგომარეობის ფუნქცია, ე. ი. შიგა ენერგიის ცვლილება განსაზღვრება სისტემის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობებით და არ არის დამოკიდებული გადასვლის გზაზე. ეს განსაზღვრა არის თერმოდინამიკის პირველი კანონის კიდევ ერთი ფორმულირება. შიგა ენერგია არის მდგომარეობის ცალსახა ფუნქცია.

სისტემის შიგა ენერგიის ცვლილება შეიძლება მოხდეს გარემომცველი არიდან სისტემის მიერ სითბოს გარკვეული რაოდენობის მიღებით ან გაცემით. პირველ შემთხვევაში შიგა ენერგიის მარაგი იზრდება, ხოლო მეორეში — მცირდება.

სისტემის შიგა ენერგიის მარაგი შეიძლება იცვლებოდეს სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობის ან გარე ძალების ზემოქმედების შედეგად.

იმ შემთხვევაში, თუ სისტემა ასრულებს მუშაობას გარე ძალების საწინააღმდეგოდ (გაფართოება), მისი შიგა ენერგია მცირდება; თუ მუშაობა სრულდება სისტემაზე გარე ძალების ზემოქმედებით (კუმშვა) — მისი შიგა ენერგია იზრდება.

სისტემის მიერ გარედან შექმნილ სითბოს თერმოდინამიკაში დადებითად თვლიან ($Q > 0$), ხოლო სისტემის მიერ გაცემულ სითბოს — უარყოფითად ($Q < 0$). თვით სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა (გაფართოების მუშაობა) ითვლება დადებითად ($A > 0$), ხოლო გარე ძალების მოქმედებით შესრულებული მუშაობა (კუმშვის მუშაობა) — უარყოფითად ($A < 0$) აქასთან დაკავშირებით, შიგა ენერგიის ცვლილება იქნება დადებითი

თუ პროცესს ახლავს შიგა ენერჯიის მატება და, პირიქით, ამგვარად, თერმოდინამიკის პირველი კანონი შეიძლება შემდეგნაირადც ჩამოყალიბდეს: რომელიმე სისტემის შიგა ენერჯიის მატება (ΔU) ტოლია სისტემაზე მიყვანილ სითბოს რაოდენობესა (Q) და სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობის (A) ალგებრული ჯამისა

$$\Delta U = Q - A. \quad (1.2)$$

ქიმიური გარდაქმნებისას იცვლება სისტემის შიგა ენერჯია, როგორც მიმდინარეობს სითბოს შთანთქმით ან გამოყოფით და მუშაობის შესრულებით.

ქიმიური რეაქციის შედეგად შიგა ენერჯიის ცვლალება (თერმოდინამიკის პირველი კანონის საფუძველზე), როგორც აღვნიშნეთ, არაა დამოკიდებული იმ გზაზე, რომლითაც მიმდინარეობს რეაქცია, არამედ დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერებათა საწყის და საბოლოო მდგომარეობასა და ბუნებაზე, ხოლო რეაქციის სითბო და მუშაობა დამოკიდებულია პროცესის მიმდინარეობის გზაზე. ამიტომ წთლიანი დიფერენციალის თვისება ახსნათებს ნხოლოდ შიგა ენერჯიას. ამიტომ სისტემის მდგომარეობის უსასრულოდ მცირე ცვლილებებისათვის გვექნება

$$dU = \delta Q - \delta A, \quad (1.3)$$

სადაც dU არის შიგა ენერჯიის მთლიანი დიფერენციალი; δQ და δA — შესაბამისად, სითბოსა და მუშაობის უსასრულოდ მცირე ცვლილებები, რომლებიც დამოკიდებულია სისტემის მდგომარეობის ცვლილების გზასა და პროცესის ხასიათზე.

პირველი კანონის (1.3) მათემატიკური გაზოსახელება სწორია მიღებული პირობითი აღნიშვნების შემთხვევაში, როცა სისტემის შიგა ენერჯიისა და შთანთქმული სითბოს მატება დადებითი სიდიდეება. თერმოქიმიასა (რომელიც ექსპერიმენტრულად ნებისწავლის რეაქციის თბურ ეფექტებს) მიღებულია ნიშნების სხვა სისტემა: სისტემის მიერ შთანთქმული სითბო თერმოქიმიასა განიხილება, როგორც უარყოფითი, ხოლო სისტემის მიერ გამოყოფილი სითბო — დადებითი. ამ შემთხვევაში აღნიშვნის ასოებს ზემოდან ხაზი ემატება და წინ ნიშანი ეცვლება, ე. ი.

$$-Q = \bar{Q} \text{ ან } Q = -\bar{Q}, \quad (1.4)$$

ე. ი. სისტემის შიგა ენერჯიის კლება წარმოადგენს მისგან გამოყოფილ სითბოსა და შესრულებული მუშაობის შედეგს. ამასთან საქირა ვიცოდეთ, რომ თერმოქიმიასი სითბოს, რომელიც ქიმიური რეაქციის შედეგად გამოყოფა ან შთანთქმება, თბური ეფექტი ეწოდება. რეაქციებს, რომლებიც სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობენ, ეგზოთერმული ეწოდება, ხოლო სითბოს შთანთქმით — ენდოთერმული.

იმ შემთხვევაში, როდესაც რეაქცია მიმდინარეობს მუდმივი მოცულობით (იზოქორული პროცესი), თბური ეფექტი აღინიშნება Q_p -ით, ხოლო როდესაც მიმდინარეობს მუდმივი წნევის პირობებში (იზობარული პროცესი), იგი აღინიშნება Q_p თი.

თუ ქიმიური რეაქცია მოცულობის უცვლელად მიმდინარეობს, მაშინ გარე წნევის ძალის გადალახვაზე მუშაობა არ იხარჯება ($A=0$), და, ამგვარად,

$$\Delta \bar{U} = \bar{Q}_p = -Q_p. \quad (1.5)$$

ასეთი პროცესი შეიძინება. აიროვანი თაზის წარმოუქმნელად მუარო ან

თხვეალი ნივთიერებების ურთიერთქმედებისას. ამ შემთხვევაში მოცულობის ცვლილება იქნება უმნიშვნელოა, რომ იგი შესაძლოა უგულებელყოფილი იქნეს.

თუ ქიმიური რეაქცია მუდმივი წნევის პირობებში მიმდინარეობს, სისტემის ენერჯიის ნაწილი შესაძლოა დაიხარჯოს გაფართოების მუშაობის შესრულებაზე, ამ შემთხვევაში შეიძლება მოცულობის ცვლილება ΔV -ით და სრულდება მუშაობა

$$A = p\Delta V. \quad (1.6)$$

მაშინ შიგა ენერჯიის ცვლილება შესაძლოა შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$\Delta \bar{U} = Q_p + A$$

ან (1.6) გათვალისწინებით

$$\Delta \bar{U} = \bar{Q}_p + p\Delta V. \quad (1.7)$$

სისტემის გადასვლისას 1 მდგომარეობიდან მე-2-ში გვექნება

$$-(U_2 - U_1) = \bar{Q}_p + p(V_2 - V_1)$$

ან

$$-\bar{Q}_p = Q_l = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1). \quad (1.8)$$

$U + pV = H$ გამოსახულებას ენტალპია (ანუ თბოქიმიკური ენთალპია) ეწოდება. იგი თერმოდინამიკური ფუნქციაა და წარმოადგენს შიგა ენერჯიისა და გაფართოებაზე დახარჯული მუშაობის (A) ან მოცულობითი ენერჯიის (pV) (რომელიც გარემოს გადაეცემა) ჯამს. შიგა ენერჯიის მსგავსად, ენტალპია მდგომარეობის ფუნქციაა. ამგვარად, (1.8) განტოლება ზოგადად შესაძლოა შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$Q_p = H_2 - H_1 = \Delta H. \quad (1.9)$$

ამგვარად, მუდმივი წნევის პირობებში მიმდინარე პროცესების დროს შთანთქმული სითბო მთლიანად იხარჯება ენტალპიის შიგთებაზე. სხვადასხვა, წარმოქმნილ ნივთიერებათა (ΣH_2) და საწყისი ნივთიერებათა (ΣH_1) ენტალპიათა სხვაობა (მუდმივ წნევაზე და სტანდარტულ ტემპერატურულ პირობებში) გამოხატავს რეაქციის თბურ ეფექტს იმ შემთხვევაში, როდესაც $\Sigma H_1 > \Sigma H_2$, $\Delta H < 0$, ე. ი. სისტემის ენტალპიის ცვლილება უარყოფითია, რეაქცია სითბოს გამოყოფით ($+\bar{Q}_p$) მიმდინარეობს (ეგზოთერმულია), ხოლო, როდესაც $\Sigma H_1 < \Sigma H_2$, $\Delta H > 0$, რეაქცია სითბოს შთანთქმით ($-\bar{Q}_p$) მიმდინარეობს (ენდოთერმულია). ამგვარად

$$+\bar{Q}_p = -\Delta H \text{ და } -\bar{Q}_p = \Delta H.$$

ქიმიური თერმოდინამიკაში მუდმივი წნევის პირობებში მიმდინარე რეაქციის თბური ეფექტი განსხვავდება მოცულობის ცვლილების გარეშე მიმდინარე რეაქციის თბური ეფექტისაგან შესრულებული მუშაობის სიდიდით

$$Q_p = Q_v + p\Delta V. \quad (1.10)$$

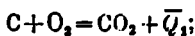
§1.2. ჰესის კანონი და ჩაბმცის თბური მუშაობის გამოთვლა

ქიმიური პროცესების შესწავლისას საჭიროა მათი თბური ეფექტების ცოდნა. ეს ეფექტები განისაზღვრება კალორიმეტრული მეთოდებით. მაგრამ შეუძლებელია ამ მეთოდების გამოყენებით ყველა რეაქციის თბური ეფექტი-

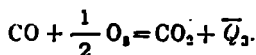
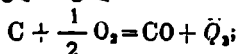
ბის განსაზღვრა. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში რეაქციების თბური ეფექტები შესაძლოა ვიანგარიშოთ ჰესის კანონის გამოყენებით, რომლის თანახმადაც რეაქციის თბური ეფექტი არაა დამოკიდებული შუალედურ სტადიებზე და განისაზღვრება სისტემის მხოლოდ საწყის და საბოლოო მდგომარეობებით.

თუ მივიღებთ მწველობაში, რომ $\bar{Q}_1 = -\Delta U$ და $\bar{Q}_2 = -\Delta H$, მაშინ გარდაქმნების თბური ეფექტები ნამდვილად არ არის დამოკიდებული სისტემის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის გზაზე (ისევე, როგორც მდგომარეობის ფუნქციების U და H ცვლილება). მაგალითისათვის შეგვიძლია მოვიყვანოთ ნახშირბადის წვის რეაქცია, რომელიც შეიძლება წარინართოს ორი გზით:

1. უშუალოდ ნახშირბადის პირდაპირი წვის რეაქციით



2. ორი თანამიმდევრული სტადიით



ქვეს კანონის თანახმად, ორი ბოლო რეაქციის თბური ეფექტების ჯამი ტოლია ნახშირბადის მთლიანი წვის თბური ეფექტისა, ჩადგანაც ორივე გზას აქვს ერთი და იგივე საწყისი (C და O_2) და საბოლოო (CO_2) მდგომარეობა, ე. ო.

$$\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3.$$

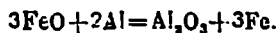
ასის კანონი საშუალებას გვაძლევს ნებისმიერ რეაქციისათვის დავადგინოთ თბური ეფექტის სიდიდე და ნიშანი. ამისათვის გამოიყენება თერმოქიმიური ცხრილები, სადაც მოცემულია რეაქციაში მონაწილე ყველა ნივთიერების წარმოქმნის ენტალპიის სიდიდეები. მაშინ რეაქციის თბური ეფექტი ტოლია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების ენტალპიების ალგებრული ჯამისა (ქიმიური განტოლების კოეფიციენტების გათვალისწინებით). ჩვეულებრივ, ცხრილებში მოცემულია ენტალპიის ინიშვნელობანი სტანდარტულ პირობებში, ე. ო. $25^\circ C$ ($298K$) და 1 ატმოსფერულ წნევაზე.

რეაქციის თბური ეფექტი იანგარიშება შემდეგი განტოლებით:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum \Delta H_{298(2)}^0 - \sum \Delta H_{298(1)}^0 \quad (I.11)$$

სადაც $\Delta H_{298(1)}^0$ და $\Delta H_{298(2)}^0$ აღნიშნავს, შესაბამისად, რეაქციის ალბულ და მიღებული ნივთიერებების წარმოქმნის სითბოს.

მაგალითისათვის გამოვიანგარიშოთ რკინის ქვეანგიდან ალუმინით რკინის ალდგენის რეაქციის თბური ეფექტი



თერმოქიმიური ცხრილების მეშვეობით ვპოულობთ რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების ენტალპიების მნიშვნელობებს

$$\Delta H_{FeO}^0 = -64,3 \text{ კკალ/მოლი}; \quad \Delta H_{Al}^0 = 0;$$

$$\Delta H_{Al_2O_3}^0 = -400,4 \text{ კკალ/მოლი}; \quad \Delta H_{Fe}^0 = 0.$$

მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ენტალპიის წინ დასმული ნიშანი „მინუსი“ გვიჩვენებს, რომ ქანკეულენის წარმოქმნა სითბოს გამოყოფთა მიმდინარეობს. ამგვარად,

$$\Delta H_{298}^{\circ} = -400, 4 - 3(-64,3) = -217,5 \text{ კკალ/მოლი,}$$

$$\text{ანუ } Q = 217,5 \text{ კკალ/მოლი}$$

$$(\text{CH სისტემაში } Q = 910 \text{ კჯ/მოლი}).$$

§ 1.3. თბოტევალობა

თბოტევალობა თერმოდინამიკის ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელი პარამეტრია. ფიზიკურ კიბიაში ძირითადად კეშმარიტი თბოტევალობა იხმარება. იგი განსაზღვრება სითბოს იმ უსასრულოდ მცირე რაოდენობით რომელიც საჭიროა ნივთიერების ტემპერატურის უსასრულოდ მცირე სიდიდით ასაწევად, და გამოისახება

$$C = \frac{dQ}{dT}. \quad (I.12)$$

თუ თბოტევალობა მიეკუთვნება ნივთიერების 1 გრამატომს, ატომური ეწოდება; 1 გრამ-მოლეკულას — მოლეკული, ანუ მოლეკულური, თბოტევალობა. მისი განზომილებაა: კალ/გრატომი ან კალ/მოლი °C.* განასხვავებენ საშუალო თბოტევალობებს მკდმივ მოცულობასა \bar{C}_V (იზოქორულს) და მუდმივ წნევაზე \bar{C}_p (იზობარულს), რომლებიც შემდეგი ტოლობებით გამოისახებიან:

$$\bar{C}_p = \frac{Q_p}{t_2 - t_1}; \quad \bar{C}_v = \frac{Q_v}{t_2 - t_1}. \quad (I.13)$$

ამგვარად, საშუალო თბოტევალობა ტოლია სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც საჭიროა სხეულის 1°C-ით გათბობისათვის (t_1 და t_2 სხეულის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია). თუ $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ და t_2 იღებს t -ს სიდიდეს, მაშინ ზოგადი სახით საშუალო თბოტევალობის განტოლება შეიძლება ასე დაიწეროს

$$\bar{C} = \frac{Q}{t}. \quad (I.14)$$

ნივთიერებების თბოტევალობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ეს დამოკიდებულება შეიქლება გამოისახოს ემპირიული ხარისხობრივი რიგის განტოლებით:

$$C_p = a + bT + cT^{-2} + dT^{-3} + \dots \quad (I.15)$$

თერმოდინამიკურ გაანგარიშებებში, ჩვეულებრივ, იღებენ განტოლების პირველ ორ-სამ წევრს

$$C_p = a + bT + cT^{-2}, \quad (I.16)$$

სადაც a , b და c არის ცდების შედეგად მიღებული კოეფიციენტები, ხოლო T — აბსოლუტური ტემპერატურა (K). ზოგიერთი ნივთიერებებისათვის a , b და c კოეფიციენტების მნიშვნელობანი მოყვანილია სპეციალურ თერმოქიმიურ სიდიდეების ცხრილებში.

* CH სისტემაში შესაბამისად იქნება კოული/გრატომი °C (კოული/გრამ-ატომი °C) და კოული/მოლი °C (კოული/მოლი °C).

ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის პროცესში შესაძლოა მარეაგირებელ ნივთიერებათა თვისებების ცვლილება და ანასთან დაკავშირებით წლიინად სისტემის თბოტრევალობის ცვლილება. ასეთ შემთხვევაში სისტემის თბოტრევალობის ცვლილების (ΔC_p) განგარაშებისათვის აუცილებელია მოცემულ ტემპერატურაზე პროცესში მონაწილე ნივთიერებების თბოტრევალობების ცოდნა. მაშინ სისტემის ΔC_p შესაძლოა გამოვანგარიშოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\Delta C_p = \sum C_{p(2)} - \sum C_{p(1)} \quad (I.17)$$

ქიმიური რეაქციის თბური ეფექტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან ემორჩილება კირხჰოფის კანონს, რომელიც შესაძლებელია გამოყვანილ იქნეს შემდეგი მსჯელობის საფუძველზე: დაეუშვათ, მოცემული გვაქვს გარდაქმნის რეაქცია $A \rightarrow B$, რომელიც ზუღშივი მოცულობით მიმდინარეობს. ამ რეაქციისათვის $Q_V = \Delta U$. ხოლო თუ რეაქცია მიმდინარეობს ზუღშივი წნევის პირობებში, მაშინ $Q_p = \Delta H$. თუ ავიღებთ მათ წარპიებულებს ტემპერატურაზე, მივიღებთ

$$\left[\frac{d(\Delta U)}{dT} \right]_V = \frac{dU_B}{dT} - \frac{dU_A}{dT} = C_V^B - C_V^A = \Delta C_V,$$

$$\left[\frac{d(\Delta H)}{dT} \right]_p = \frac{dH_B}{dT} - \frac{dH_A}{dT} = C_p^B - C_p^A = \Delta C_p,$$

მ. მ.

$$\frac{dQ_V}{dT} = \Delta C_V \quad \text{და} \quad \frac{dQ_p}{dT} = \Delta C_p. \quad (I.17, a)$$

ამგვარად, კირხჰოფის კანონი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: რეაქციის თბური ეფექტის ტემპერატურული კოეფიციენტი ტოლია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებთა მოლური თბოტრევალობათა ალგებრული ჯამისა. ამ შემთხვევაში რეაქციის პროდუქტების თბოტრევალობები აიღება ვაღებით, ხოლო საწყისი ნივთიერებებისა — უარყოფითი ნიშნით.

კირხჰოფის განტოლებების საშუალებით შესაძლოა ვიანგარიშოთ რეაქციის თბური ეფექტი ნებისმიერ ტემპერატურაზე, თუ ცნობილია ამ რეაქციის თბური ეფექტი ერთ რომელიმე ტემპერატურაზე. ამისათვის ვახდენთ კირხჰოფის განტოლებების ინტეგრირებას ($T_1 - T_2$) ინტერვალში

$$Q_{V, T_2} - Q_{V, T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_V dT;$$

$$Q_{p, T_2} - Q_{p, T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT.$$

თუ T_1 მივიღებთ სტანდარტულ ტემპერატურად, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} Q_{V, T} &= Q_{V, 298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_V dT; \\ Q_{p, T} &= Q_{p, 298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT. \end{aligned} \right\} (I.18)$$

§ 1.4. თერმოდინამიკის მეორე კანონი და მისი მათემატიკური გამოხატულება

როგორც აღვნიშნეთ, თერმოდინამიკის პირველი კანონი ერთმანეთთან აკავშირებს კიმიური პროცესების ენერგეტიკულ ეფექტებს და არ ეხება ამ პროცესების მიმდინარეობის შესაძლებლობასა და მიმართულებას, რომლის დროსაც შესაძლოა მოხდეს ენერჯიის ესა თუ ის გარდაქმნები.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი, უპირველეს ყოვლისა, განსაზღვრავს განხილულ სისტემაში მოცემულ ტემპერატურაზე, წნევისა და კონცენტრაციაზე. თუ რომელი პროცესი წარმოადგენს თავისთავად (ე. ი. გარე მუშაობის დახარჯვის გარეშე), როგორია ამ დროს მიღებული მუშაობის რაოდენობა და როგორია პროცესის თავისთავად მიმდინარეობის ზღვრები, ე. ი. მოცემულ პირობებში როგორია წონასწორობის მდგომარეობა.

არსებობს თერმოდინამიკის მეორე კანონის სხვადასხვა ფორმულირება, რომელთაგან ერთ-ერთს წარმოადგენს მტკიცება, რომ ნაკლებ გახურებული სხეულიდან სითბო თავისთავად არ გადაეცემა უფრო მეტად გახურებულ სხეულს.

როგორც ნახვენიბია, თერმოდინამიკის პირველ კანონს შემოყავს სისტემის მდგომარეობის ფუნქცია—შიგა ენერჯია, მეორე კანონს კი შემოყავს მდგომარეობის ახალი ფუნქცია, რომელსაც ენტროპია (S) ეწოდება. მეორე კანონის თანახმად, თუ იზოლირებული სისტემის შიგა ენერჯია რჩება უცვლელი, მაშინ მისი ენტროპია (ყველა თავისთავად მიმდინარე პროცესის შემთხვევაში) იზრდება.

სისტემის ენტროპიის ცვლილების ხასიათი პროცესის მიმდინარეობას ორ სახედ ყოფს: 1. შეუქცევადი, რომლის დროსაც ხდება პროცესის ცალმხრივი თავისთავადი დინება წონასწორობის მიღწევის მიმართულებით. ამ პროცესის მაგალითს წარმოადგენს გახურებულიდან ცივ სხეულზე სითბოს გადაცემა, აირებისა და სითხეების ურთიერთდიფუზია, გახურებული სითბის აორთქლება და სხვ. ყველა ამ პროცესისათვის საერთოა სხვადასხვა სახის ენერჯიების სითბოდ გარდაქმნა, რომელიც სისტემის ყველა შემდგენელში თანაბრად ნაწილდება. ამ შემთხვევაში ენტროპია იზრდება.

2. შექცევადი, რომლის დროსაც თავისთავადი დინება მიმდინარეობს პროცესის არა მხოლოდ პირდაპირი, არამედ უკუმიმართულებითაც. ამ შემთხვევაში თვით სისტემა და გარემოც უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. ბუნებაში მთლიანად შექცევადი თერმოდინამიკური პროცესები პრაქტიკულად არ არსებობს, რადგანაც არის ნაწილობრივ შეუქცევადი პროცესები (მაგალითად, ხახუნის სახით, ელექტრული, სხივური და სხვა სახის ენერჯიების სითბოდ გარდაქმნა და სხვ.).

რადგანაც ენტროპია წარმოადგენს მდგომარეობის ფუნქციას, ამიტომ მისი უსასრულოდ მცირე ცვლილება გამოისახება მთლიანი dS დიფერენციალით. თავისთავად მიმდინარე შექცევადი იზოთერმული პროცესისათვის

$$dS = \frac{\delta Q}{T},$$

სადაც $\frac{\delta Q}{T}$ დაყვანილი სითბოა.

შეუქცევადი პროცესებისათვის კი

$$dS > \frac{\delta Q}{T}.$$

ამგვარად, შექცევადი და შეუქცევი პროცესებისათვის შესაძლოა და წეროს ერთი გამოსახულება

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \text{ ან } \delta Q \leq T dS. \quad (19)$$

აქედან იზოლირებული სისტემისათვის ($\delta Q = 0$) გვექნება $T dS \geq 0$. ყველა რეალური პირობისათვის $T > 0$. ამიტომ იზოლირებული სისტემებისათვის გვექნება

$$dS \geq 0. \quad (I.20)$$

ნებისმიერ პროცესში ენტროპიის ცვლილება არ არის დამოკიდებული გადასვლის გზაზე, იგი დამოკიდებულია მხოლოდ საწყის და საბოლოო მდგომარეობებზე ($\Delta S = S_2 - S_1$).

(I.20) გამოსახულებიდან გამოპლანდინარეობს, რომ ნებისმიერ იზოლირებულ სისტემაში (სადაც შესაძლოა მიმდინარეობდეს მხოლოდ ადიაბატური პროცესები) სისტემის ენტროპია ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას ($dS = 0$), თუ სისტემაში მიმდინარეობს მხოლოდ შექცევადი პროცესები და ენტროპია იზრდება ($dS > 0$) ყველა პროცესისათვის. ამგვარად, იზოლირებულ სისტემებში ყველა თავისთავად მიმდინარე პროცესს თან ახლავს ენტროპიის ზრდა. პროცესი თავისთავად მიმდინარეობს მანამ, სანამ სისტემა არ გადავა წონასწორულ მდგომარეობაში, რომელშიც მოცემულ პირობებში ენტროპიის მნიშვნელობა მაქსიმუმს აღწევს.

ენტროპიის განზომილება თბოტეადობის განზომილებას ემთხვევა (კალ/მოლი·გრად; CH სისტემაში ჯოული/მოლი·გრად), მაგრამ მათ შორის ანალოგია არ არსებობს. ენტროპია ხასიათდება გაბნეული ენერჯიის რაოდენობით, რომელიც შეფარდებულია 1° ტემპერატურასთან.

თერმოდინამიკურ ცხრილებში მოცემულია ენტროპიის მნიშვნელობანი სტანდარტული პირობებისათვის, რომელიც ნაანგარიშებია განტოლებით

$$S_{293}^0 = \int_0^{293} \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (I.21)$$

სხვა ტემპერატურებისათვის ენტროპიის საანგარიშოდ გამოიყენება შემდეგი განტოლება:

$$S_T = S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (I.22)$$

§ 15. იზოტოპური და იზოტაქსური პოტენციალები. მაქსიმალური მუშაობა

როგორც წინა პარაგრაფში განვიხილეთ, პროცესის ენტროპიის ცვლილებით შესაძლოა დავახასიათოთ პროცესის მიმართულება და თერმოდინამიკური წონასწორობის მდგომარეობა. ნებისმიერ იზოლირებულ სისტემებში ენტროპიის ნაცვლად უფრო მოხერხებულია სხვა მახასიათებელი ფუნქციების გამოყენება. ისინი საშუალებას გვაძლევენ პროცესის მიმართულებისა და წონასწორული პირობების გამოკვლევისას თავიდან ავიცილოთ გარემოს ზემოქმედება.

განვიხილოთ შექცევადი იზოთერმული ($T = \text{const}$) პროცესი, როგორც მიმდინარეობს მუდმივი მოცულობის პირობებში.

თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად,

$$\delta Q = dU + \delta A$$

ან

$$\delta A = \delta Q - dU.$$

მეორე კანონის თანახმად, $\delta Q = T dS$. თუ ჩავსვამთ მის მნიშვნელობას უკანასკნელ განტოლებაში, მივიღებთ

$$\delta A = T dS - dU. \quad (I.23)$$

თუ გავაინტეგრირებთ ამ განტოლებას ($T = \text{const}$), მაშინ

$$A_{\text{max}, V} = T (S_2 - S_1) - (U_2 - U_1).$$

რადგანაც იზოთერმული შექცევადი პროცესის მუშაობა მაქსიმალურია, ამიტომ

$$A_{\text{max}, V} = -[(U_2 - TS_2) - (U_1 - TS_1)].$$

შევიტანოთ აღნიშვნა

$$U - TS = F, \quad (I.24)$$

მაშინ მივიღებთ

$$A_{\text{max}, V} = -(F_2 - F_1) = -\Delta F. \quad (I.25)$$

F ფუნქციას ეწოდება იზოქორულ-იზოთერმული პოტენციალი ანუ თავისუფალი ენერჯია მუდმივ მოცულობაზე (მოკლედ იზოქორულ პოტენციალსაც უწოდებენ).

(I.25) განტოლებიდან გაშობდინარეობს, რომ $T = \text{const}$ და $V = \text{const}$ პირობებში სისტემის მუშაობა თავისუფალი ენერჯიის კლების ტოლია.

როგორც (I.24) განტოლებიდან ჩანს, თავისუფალი ენერჯია წარმოადგენს სისტემის შიგა ენერჯიის იმ ნაწილს, რომელიც მუდმივი ტემპერატურისა და მოცულობის დროს შესაძლოა მთლიანად გარდაიქმნას მუშაობად. ამ მუშაობას ($A_{\text{max}, V}$) სასარგებლო მუშაობა ეწოდება და შემდგომ მას A_V -თი აღვნიშნავთ. შიგა ენერჯიის იმ ნაწილს (TS) რომელიც მუშაობად არ გარდაიქმნება, ბმული ენერჯია ეწოდება. იგი სისტემის ენტროპიის ზრდით იზრდება.

(I.25) განტოლებიდან გამოშობდინარეობს, რომ შექცევად იზოქორულ-იზოთერმულ პროცესში მაქსიმალური მუშაობა F ფუნქციის შემცირების ტოლია როდესაც პროცესი მთავრდება და A მუშაობა აღარ სრულდება, $\Delta F = 0$. ნულს უტოლდება, ე. ი. წონასწორულ მდგომარეობაში $\Delta F = 0$.

შეუქცევ პროცესებში სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა შედარებით ნაკლებია, ვიდრე შექცევადში, რაც ენტროპიის ნამატითაა გამოწვეული. ამიტომ თავისუფალი ენერჯიის შემცირება ფაქტობრივად მიღებულ (A'_V) მუშაობაზე მეტია, ე. ი. $-\Delta F > A'_V$; მხოლოდ, როდესაც მუშაობა არ სრულდება, მაშინ $-\Delta F > 0$ ან $\Delta F < 0$.

ამგვარად, შეუქცევად თავისთავად მიმდინარე პროცესი მიმდინარეობს თავისუფალი ენერჯიის შემცირებისაკენ და სისტემის წონასწორობის პირობას ამ ენერჯიის მინიმუმში წარმოადგენს.

იზობარულ პროცესში ($p = \text{const}$), რომელიც მუდმივ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს, მაქსიმალური მუშაობა შეიძლება გამოვსახოთ G ფუნქციის ორი მნიშვნელობის სხვაობით

$$\Delta_{\text{max}, p} = -(G_2 - G_1) = -\Delta G. \quad (I.26)$$

თუ გამოვიყენებთ $H = U + pV$ გამოსახულებას, მაშინ

$$G = (U + pV) - TS = H - TS. \quad (I.27)$$

G ფუნქციას იზობარულ-იზოთერმული პოტენციალი, ანუ, უბრალოდ, იზობარული პოტენციალი ეწოდება. როგორც ენტალპია განსხვავდება შიგა ენერჯისაგან pV სიდიდით, ისევე იზობარული პოტენციალი (G) განსხვავდება იზოქორული პოტენციალისაგან (F) pV სიდიდით. აქედან

$$A_{\text{max}, p} = A_{\text{max}, V} + pV.$$

ამ განტოლებაში $A_{\text{max}, p}$ წარმოადგენს სისტემის მთლიან მაქსიმალურ მუშაობას, რომელიც შედგება სისტემის სასარგებლო მაქსიმალური მუშაობისაგან $A_{\text{max}, V}$ და გაფართოების (ან კუმშვის) მუშაობისაგან pV .

G სიდიდე, F -ის მსგავსად, შექცევად პროცესებში არ იცვლება, მხოლოდ შეუქცევში შესაძლოა ზისი კლება. ამასთან, წონასწორობის პირობას (ე. ი. როცა $A_p = 0$ და $\Delta G < 0$) წარმოადგენს G -ს მინიმალური მნიშვნელობა.

სტანდარტული პირობებისათვის იზოთერმული პოტენციალები იანგარიშება რეაქციაში შემავალი ნივთიერებების თბური ეფექტებისა და ენტროპიების სიდიდეებით, რომლებიც თერმოდინამიკურ ცხრილებშია მოცემული

$$\Delta F_{298}^0 = \Delta U_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0 = Q_{V, 298}^0 - T \Delta S_{298}^0; \quad (I.28)$$

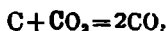
$$\Delta G_{298}^0 = \Delta U_{298}^0 + p\Delta V - T\Delta S_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0. \quad (I.29)$$

იზოთერმული პოტენციალების ტემპერატურული დამოკიდებულება გაიანგარიშება შემდეგი განტოლებებით:

$$\Delta F_T = \Delta F_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_V dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_V}{T} dT, \quad (I.30)$$

$$\Delta G_T = \Delta G_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (I.31)$$

მაგალითისათვის განვიხილოთ რეაქცია



რომლისთვისაც

$$\Delta G_{298}^0 = 2\Delta G_{298}^0, CO - \Delta G_{298}^0, CO_2 - \Delta G_{298}^0, C.$$

რადგანაც $\Delta G_{298}^0, C = 0$, მაშინ

$$\Delta G_{298}^0 = 2\Delta G_{298}^0, CO - \Delta G_{298}^0, CO_2.$$

სტანდარტული პირობებისათვის $\Delta G_{298, CO}^{\circ} = 32778$ კალ/მოლი ($-137,143$ კჯ/მოლი) და $\Delta G_{298, CO_2}^{\circ} = -94242$ კალ/მოლი ($-394,309$ კჯ/მოლი).

მაშინ $\Delta G_{298}^{\circ} = 2 \cdot (-32778) - (-94242) = 28686$ კკალ/მოლი
($\Delta G_{298}^{\circ} = 120,022$ კჯ/მოლი).

ΔG_{298}° -ის დადებითი მნიშვნელობა მოწმობს, რომ სტანდარტულ პირობებში C და CO_2 -ისაგან CO-ს წარმოქმნის პროცესი ირ განვითარდება.

II თ ა გ 0

ქიმიური წონასწორობა

წონასწორული მდგომარეობა ეწოდება სისტემის ისეთ თერმოდინამიკურ მდგომარეობას, რომელიც დროის განმავლობაში უცვლელი რჩება. იგი დამოკიდებულია გარე პირობებზე.

წონასწორობა მყარდება არა პროცესის შეწყვეტის გამო, არამედ ერთდროულად საწინააღმდეგო მიმართულებით თანაბარი სიჩქარით პროცესის მიმდინარეობის შედეგად. ამგვარად, წონასწორობა ხასიათდება მოძრავი დინამიკური ხასიათით. ქიმიური წონასწორობის შემთხვევაში ერთდროულად ვითარდება როგორც პირდაპირი, ისე უკუჩქარეობები. ამასთან, წონასწორობა მყარდება მაშინ, როცა პირდაპირი და უკუჩქარეობების სიჩქარეები ერთმანეთს უთანაბრდება. ქიმიური რეაქციის განვითარება მიმდინარეობს თავისთავად და დამოკიდებულია იზოქორულ ან იზობარულ თერმოდინამიკურ პოტენციალების შემცირებაზე. ამა თუ იმ პოტენციალის შერჩევა დამოკიდებულია პროცესის მიმდინარეობის პირობებზე. იზოქორული პოტენციალი წარმოადგენს სისტემის მოცულობის, ტემპერატურისა და შედგენილობის ფუნქციას, ხოლო იზობარული—წნევის, ტემპერატურისა და შედგენილობის ფუნქციას.

თერმოდინამიკურად ქიმიური წონასწორობა ხასიათდება საწყისი ნივთიერებებისა და რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციების გარკვეული ფარდობით, რომლის დროსაც ენტროპიის მნიშვნელობა აღწევს მაქსიმუმს, ხოლო თავისუფალი ენერჯია—მინიმალურ მნიშვნელობას.

§ II. 1. მოდხედ მახათა კანონი

განვიხილოთ ქიმიური რეაქცია



სადაც a, b, c, d —, შესაბამისად, A, B, C, D ნივთიერებების სტექიომეტრული კოეფიციენტებია, ანუ მოლეკულის რიცხვია. ამ სახით რეაქციის გამოსახვა მოწმობს, რომ პროცესი შექცევადია. მივიღოთ, რომ მარცხნიდან მარჯვნივ რეაქცია მიმდინარეობს დადებითი თბური ეფექტით. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეში იგულისხმება მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციების ცვლილება დროის ერთეულში.

თუ საწყის პერიოდში ქიმიური რეაქციის პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები ერთმანეთისაგან განსხვავდება, მაშინ წონასწორულ

მდგომარეობასთან ისინი ერთმანეთს უახლოვდებიან და წონასწორობის მიღწევასთან ერთმანეთს უტოლდებიან.

დადგენილია, რომ ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე დიდ გავლენას ახდენს მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციები. მათი დამოკიდებულება კარგად განისაზღვრება მოქმედ მასათა კანონის საფუძველზე, რომლის თანახმად, ქიმიური რეაქციის სიჩქარე პროპორციულია მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციების ნამრავლისა. აღნიშნული ზოგადი რეაქციისათვის წონასწორული მდგომარეობისათვის ეს დებულება შემდეგი ტოლობით გამოისახება:

$$v_1 = v_2 = k_1 C_A^a C_B^b = k_2 C_C^c C_D^d, \quad (II.1)$$

სადაც k — ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა; C_A, C_B, C_C, C_D — წონასწორობის მომენტში ნივთიერებების კონცენტრაციებია, გამოსახულია მოლი/ლიტრობით.

მაშინ მოცემული ტემპერატურისათვის ($T = \text{const}$) გვექნება

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_C^c C_D^d}{C_A^a C_B^b}. \quad (II.2)$$

K_c -ს რეაქციის წონასწორობის მუდმივა (კონსტანტა) ეწოდება.

ამგვარად, წონასწორობის მუდმივა არის მიღებული და აღებული ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციების ფარდობა.

რეაქციის წონასწორობის მუდმივა შესაძლოა გამოსახულ იქნეს სხვანაირადაც: თუ რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებანი აიროვნან და ეშორჩილები იდეალური გაზების კანონს, მაშინ გვექნება

$$K_p = \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}, \quad (II.3)$$

სადაც p_A, p_B, p_C, p_D შესაბამის ნივთიერებათა პარციალური წნევებია (ატმ).

ჩვეულებრივ შემთხვევაში K_c და K_p მნიშვნელობანი ერთმანეთის ტოლი არ არის. ამისათვის საჭიროა მათ შორის დამოკიდებულების დამყარება.

დადგენილია, რომ K_c და K_p ერთმანეთთან დამოკიდებულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} \quad (II.4)$$

ან

$$K_c = K_p (RT)^{-\Delta n}, \quad (II.5)$$

სადაც $\Delta n = (c+d-a-b)$ — მორეაგირე აირების მოლების რიცხვების ალგებრული ჯამია, რომელიც რეაქციის შედეგად მოლების რიცხვის მატებას ან შემცირებას გვიჩვენებს. ბუნებრივია, რომ თუ $\Delta n = 0$, მაშინ

$$K_p = K_c. \quad (II.6)$$

ყოველივე აღნიშნული შეეხებოდა კომოგენურ, ანუ ერთგვაროვან, სისტემებს (მაგალითად, მხოლოდ აიროვანს ან თხევადს). განვიხილოთ ქიმიური წონასწორობა ჰეტეროგენულ სისტემებში.

აიროვანი სისტემის წონასწორობის მდგომარეობის კანონების გაოყენებით შევეიძლოა განვსაზღვროთ ქიმიური რეაქციის წონასწორობის მუდმივ პეტეროგენული სისტემებისათვის, როდისაც ნივთიერებები იმყოფება სხვადასხვა ფაზურ მდგომარეობაში: მყარი და აიროვანი, თხევადი და აიროვანი ან მყარი და თხევადი. მაგალითისათვის განვიხილოთ პეტეროგენული რეაქცია



ამ შემთხვევაში გვაქვს ორი მყარი და ერთი აიროვანი ფაზა. ცნობილია, რომ ბუნებაში არ არსებობს სრულიად აუქროლადი მყარი ნივთიერებანი. მათ ზედაპირზე ყოველთვის წარმოიქმნება გაჯერებული ორთქლი, რომლის წნევა ან დრეკადობა განისაზღვრება პროცესის მხოლოდ ტემპერატურით. რადგანაც ორთქლის დრეკადობებია p_{MeCO_3} და p_{MeO} აღებულ ტემპერატურაზე მუდმივი და ძალზე მცირე სიდიდეებია, ამიტომ ისინი შესაძლოა უგულვებელყოთ და წონასწორობის განტოლება შემდეგი სახით გამოვსახოთ:

$$K_p = p_{\text{CO}_2} \quad (II.8)$$

ამგვარად, პეტეროგენულ სისტემაში მოქმედ მასათა კანონის საფუძვლზე რეაქციის წონასწორობის მუდმივა განისაზღვრება მასში მონაწილე აირის ბარციალური წნევით.

თუ $p_{\text{CO}_2} < K_p$, ი. ა. არა გვაქვს CO_2 -ის წონასწორული წნევა, მაშინ მიმდინარეობს MeCO_3 -ის დისოციაცია; თუ $p_{\text{CO}_2} > K_p$, მაშინ ხდება MeCO_3 წარმოქმნა. ორივე შემთხვევაში სისტემა მიდის წონასწორულ მდგომარეობა მდე (როცა $K_p = p_{\text{CO}_2}$).

§ II. 2. რეაქციის მამისმალური მუშაობა და წონასწორობის მუდმივა

ნებისმიერი ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა, მისი განვითარების ხარისხი და სისრულე ძირითადად დამოკიდებულია ნივთიერებების თვისებებსა და გარე პირობებზე.

ნივთიერებების ურთიერთქმედების უნარს წარმოქმნას ახალი ნაერთი ქიმიური სწრაფვა ეწოდება. ქიმიური სწრაფვის გამომწვევ მიზეზს ატომებსშორისი ურთაერთქმედება წარმოადგენს. რადგანაც ამ ძალების უშუალოდ გაზომვა შეუძლებელია, ამიტომ ქიმიური სწრაფვის ძალების საზომ კრიტერიუმს მაქსიმალური მუშაობა, ანუ იზოთერმული პოტენციალების ცვლილება, წარმოადგენს.

როგორც წინა პარაგრაფებში აღვნიშნეთ, მაქსიმალური მუშაობა არ არის დამოკიდებული გზაზე, რომლითაც რეაქცია მიმდინარეობს, არამედ დამოკიდებულია მხოლოდ მორეაგირე ნივთიერებათა თვისებებსა და მათ საწყის და საბოლოო მდგომარეობაზე. ბუნებრივია, წონასწორულ მდგომარეობაში რეაქცია არ ასრულებს სასარგებლო მუშაობას. ამ შემთხვევაში იზოთერმული პოტენციალი არ იცვლება და იღებს მინიმალურ მნიშვნელობას. რაც უფრო შორისაა სისტემა წონასწორულ მდგომარეობიდან, მით უფრო მეტი მუშაობა სრულდება.

რეაქციის მაქსიმალური მუშაობის სიდიდე დამოკიდებულია მორეაგირე

ნივთიერებების კონცენტრაციაზე და განსაზღვრავს რეაქციის წონასწორობის შედეგად.

დავუშვათ, რომ აირის შავარი A, B, C, D ნივთიერებებს შორის მიმდინარეობს შექცევადი რეაქცია

$$aA + bB = cC + dD + Q.$$

დადგენილია, რომ თუ რეაქციაში მონაწილე ყველა ნივთიერება ემორჩილება იდეალური აირის კანონს ($pV = RT$), მაშინ იზობარულ-იზოთერმულ პოტენციალის კლება, რომელიც ქიმიურ წონასწორობამდე რეაქციის მიმდინარეობისას შემოქმედება (როცა $T = \text{const}$ და $p = \text{const}$), განიხილება განტოლებით

$$\Delta G = -RT \left(\ln K_p - \ln \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} \right), \quad (II.9)$$

სადაც ფრჩხილებს შიგნით მოთავსებული მეორე წევრი წარმოადგენს საწყის პარციალურ წნევათა ფაქტობას, ხოლო $K_p = \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}$ — წონასწორული პარციალური წნევების ფაქტობას.

ჩაღვანის

$$A_{\max, p} = -\Delta G,$$

აპიტომ

$$A_{\max, p} = RT \left(\ln K_p - \ln \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} \right). \quad (II.10)$$

როდესაც აირების საწყისი პარციალური წნევები წონასწორულებს თანხვდება, რეაქცია მუშაობას არ ასრულებს და $A_{\max, p} = 0$.

(II.10) განტოლება აკავშირებს მაქსიმალურ მუშაობას წონასწორობის შედეგად და მორეაგირე ნივთიერებების საწყის პარციალურ წნევებთან. ამ განტოლებას ქიმიური რეაქციის იზოთერმის, ანუ ვანტ-ჰოფის იზოთერმის განტოლება ეწოდება. იგი გვიჩვენებს, რომ ქიმიური სწრაფვა არ წარმოადგენს ნივთიერებათა უცვლელ თვისებას; იგი იცვლება ტემპერატურისა და მორეაგირე ნივთიერებების საწყისი და საბოლოო პარციალური წნევების ცვლილებისაგან დამოკიდებულებით.

რეაქციის მაქსიმალური მუშაობის გამოანგარიშების გასამარტივებლად ყველა მორეაგირე ნივთიერების საწყის პარციალურ წნევებს ერთს უტოლებენ: $p_A = p_B = p_C = p_D = 1$ ატმ, მაშინ სტანდარტულ პირობებში

$$A_{\max, p}^0 = RT \ln K_p, \quad (II.11)$$

ან იზოკორული პროცესის საწყისი კონცენტრაციების შემთხვევაში $C_A = C_B = C_C = C_D = 1$ მოლი/ლ

$$A_{\max, p}^0 = RT \ln K_c. \quad (II.12)$$

(II.11) და (II.12) გამოსახლებებით განინახლებება მაქსიმალური მუშაობა, რაც მიღებულია ქიმიური სწრაფვის საზომად და ნორმალური.

სწრაფვის განტოლებები ეწოდება. მათი მნიშვნელობანი მოყვანილია თერმოდინამიკური სიდიდეების შესაბამის ცხრილებში. რეაქციის იზოთერმის განტოლებები საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ ამა თუ იმ რეაქციის მიმდინარეობაზე. ამასთან, თუ შედეგი დადებითია, ნივთიერებები ურთიერმოქმედებენ და რეაქცია წარიმართება, თუ უარყოფითია—ურთიერთ არ მოქმედებენ და რეაქცია არ წარიმართება.

მაგალითად. გამოვივლიოთ სოდისა და კაქშიწას შორის რეაქციის წარიმართვის შესაძლებლობა $p=1$ ატმ და 298K.ზე.

ამისათვის საჭიროა გამოვივლიოთ რეაქციის A_{max} ნიშანი. დავწეროთ რეაქცია



ვიცით, რომ $A_{max, p} = -\Delta G = -\Delta H + T\Delta S$. განესაზღვროთ რეაქციის ΔG -ს შემდგენები:

$$\Delta H = (\Delta H_{\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2}^0 + \Delta H_{\text{CO}_2}^0) - (\Delta H_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^0 + \Delta H_{\text{SiO}_2}^0);$$

$$\Delta S = (S_{\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2}^0 + S_{\text{CO}_2}^0) - (S_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^0 + S_{\text{SiO}_2}^0).$$

თერმოდინამიკურ ცხრილებიდან ვპოულობთ

$$\Delta H_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^0 = -271,6 \text{ კკალ/მოლი}; S^0 = 32,5 \text{ კალ/გ.მოლი};$$

$$\Delta H_{\text{SiO}_2}^0 = -209,5 \text{ კკალ/მოლი}; S^0 = 10,4 \text{ კალ/გ.მოლი};$$

$$\Delta H_{\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2}^0 = -364,6 \text{ კკალ/მოლი}; S^0 = 27,2 \text{ კალ/გ.მოლი};$$

$$\Delta H_{\text{CO}_2}^0 = -94,05 \text{ კკალ/მოლი}; S^0 = 51,1 \text{ კალ/გ.მოლი}.$$

მაშინ, თუ შესაბამის მნიშვნელობებს ΔH და ΔS გამოსახულებებში შევიტანთ, მივიღებთ $\Delta H = 22,45$ კკალ/მოლი და $\Delta S = 35,4$ კალ/გ. მოლი. საბოლოოდ მივიღებთ

$$A_{max} = -22450 + 35,4 \cdot 298 = -11901 \text{ კალ/მოლი}.$$

$$(A_{max} = -49,794 \text{ ჯ/მოლი}).$$

ამგვარად, რადგანაც A_{max} უარყოფითი სიდიდეა, აღნიშნული რეაქცია 1 ატმ და 298 K ტემპერატურაზე არ წარიმართება.

წონასწორობის მუდმივას ტემპერატურული დამოკიდებულება. როგორც აღვნიშნეთ,

$$\Delta G_{298}^0 = -A_{max, p}^0 = -RT \ln K_p.$$

აქედან

$$\ln K_p = - \frac{\Delta G_{298}^0}{RT}.$$

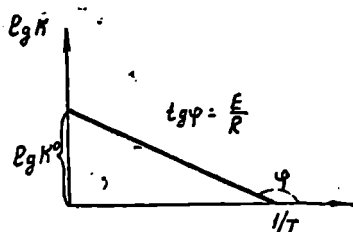
თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ $\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0$,

მაშინ

$$\ln K_p = - \frac{\Delta H_{298}^0}{RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{R}. \quad (\text{II.13})$$

ΔH_{298}^0 და ΔS_{298}^0 უმნიშვნელოდაა დამოკიდებული მცირე ინტერვალში ტემ-

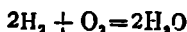
პერატურის ცვლილებაზე. ამიტომ ფოლადსადნობი პროცესების მიმდინარეობისას, როცა ტემპერატურული ცვლილებები შედარებით მცირეა, ΔH_{298}^0 და ΔS_{298}^0 მუდმივ სიდიდეებად შეიძლება ჩაითვალოს. თუ მივიღებთ აღნიშნულს მხედველობაში და გადავალთ ნატურალურ ლოგარითმიდან ათობით ლოგარითმებზე და ჩავსვათ მნიშვნელობას $R = 1,987$ კალ/მოლი $^{\circ}\text{C}$, მივიღებთ



ნახ. II.1. $\lg K$ -ს ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

$$\lg K_p = - \frac{\Delta H_{298}^0}{4,575 T} + \frac{\Delta S_{298}^0}{4,575} \quad (\text{II.14})$$

მაგალითისათვის განვსაზღვროთ რეაქციის



წონასწორობის კონსტანტა.

თერმოდინამიკური სიდიდეების ცხრილებიდან ვპოულობთ

$$\Delta H_{298}^0(\text{H}_2\text{O}) = -115600 \text{ კალ};$$

$$S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}) = 45,13 \text{ კალ/მოლი} \cdot \text{K};$$

$$S_{293}^0(\text{H}_2) = 31,21 \text{ კალ/მოლი} \cdot \text{K};$$

$$S_{293}^0(\text{O}_2) = 49,06 \text{ კალ/მოლი} \cdot \text{K}.$$

აქედან

$$\Delta S_{298}^0 = 2S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}) - 2S_{298}^0(\text{H}_2) - S_{298}^0(\text{O}_2) = -21,22 \text{ კალ/მოლი} \cdot \text{K}.$$

მაშინ (II.14) განტოლების თანახმად,

$$\lg K_p = \frac{115600}{4,575 T} - \frac{21,22}{4,575} = \frac{25267}{T} - 4,65.$$

ამგვარად, შეგვიძლია ვიანგარიშოთ K_p -ს მნიშვნელობა ნებისმიერ ტემპერატურაზე.

თუ ავაგებთ $\lg K_p - \frac{1}{T}$ დამოკიდებულებას, მივიღებთ სწორხაზობრივ გრაფიკულ გამოსახულებას (ნახ. II.1).

§ II.3. წონასწორობის მუდმივას არაკინეტიკური განსაზღვრა

მაგალითისათვის განვიხილოთ წყლისა და ნახშირორთქანის ურთიერთქმედების რეაქცია, რომელიც შეიძლება შემდეგი თანამიმდევრობით გამოვსახოთ:



(გ) რეაქცია წარმოადგენს (ა) და (ბ) რეაქციების შედეგს. თუ სისტემა წონასწორობაშია (ა) და (ბ) რეაქციებას მიმართ, მაშინ ის (გ) რეაქციის მიმართაც წონასწორობაში იქნება. მათი წონასწორობის მუდმივები, შესაბამისად, გამოისახება

$$K_{p_1} = \frac{p_{H_2}^2 \cdot p_{O_2}}{p_{H_2O}} \quad (II.15)$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}}{p_{CO_2}^2} \quad (II.16)$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O} \cdot p_{CO}} \quad (II.17)$$

(II.15) განტოლების (II.16)-ზე გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{p_{H_2}^2 \cdot p_{CO_2}}{p_{H_2O}^2 \cdot p_{CO}^2} = \frac{K_{p_1}}{K_{p_2}} = K_{p_3}^2 \quad (II.18)$$

საიდანაც განისაზღვრება სამი წონასწორობის მუდმივების კვადრატის

$$K_{p_3} = \sqrt{\frac{K_{p_1}}{K_{p_2}}} \quad (II.19)$$

ამგვარად, თუ ორი რეაქციისათვის ცნობილია წონასწორობის მუდმივები, მაშინ შესაძლოა იგი გაინვარიზებულ იქნეს მესამე რეაქციისათვისაც რეაქციის წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრავს იდნიშნული წესით არაპირდაპირი განსაზღვრა ეწოდება. იგი გამოიყენება იმ რეაქციებისათვის, რომელთა წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა ექსპერიმენტული მეთოდით შეუძლებელია.

§ II 4. ფაზათა კანონი

ფაზათა კანონი თერმოდინამიკის მეორე კანონზეა დამყარებული და წონასწორობაში მყოფ სისტემებს განსაზღვრავს.

ნივთიერებათა ჯგუფს, რომელსაც გამოვყოფთ გარე სამყაროდან და შევისწავლით, სისტემა ეწოდება. იგი შეიძლება იყოს მარტივი (ერთი ნივთიერებისაგან შემდგარი) და რთული (ზამღენიმე ნივთიერებისაგან შექმნილი). მარტივი სისტემებში გარდაქმნები ძირითადად აკრეგატული მდგომარეობის ცვლილებით განიხილება (მყარიდან თხევად ან თხევადიდან აირად მდგომარეობაში, ან პირიქით გადასვლა). რთულ სისტემებში გარდაქმნები შედარებით რთულად მიმდინარეობს. როგორც მარტივი, ისე რთული სისტემა შეიძლება იყოს ერთფაზოვანი (ჰომოგენური) და არაერთფაზოვანი (ჰეტეროგენული). არაერთფაზოვანი სისტემის ერთფაზოვანი ნაწილს, რომელიც ხასიათდება ერთფაზოვანი ქიმიური შედგენილობათა და თერმოდინამიკური თვისებებით და დინარჩენი სისტემისაგან გარკვეული გაყოფის ზედპირობით არის შემოსაზღვრული, ფაზა ეწოდება (სუფთა ნივთიერების სამიდან ერთ-ერთი აკრეგატული მდგომარეობა: მყარი, თხევადი ან აირადი).

სისტემის მარტივ, დამოუკიდებელ შემდგენებს კომპონენტები ეწოდება, მათი საშუალებით შეგვიძლია გამოვსახოთ ნებისმიერი ფაზის შედგენილობა. მაგალითად, თუ ავიღებთ ორფაზიან სისტემას „წყალი — ორთქლი“ ან „წყალი — ყინული“, მაშინ თვითოეული მათგანი (წყალი, ორთქლი ან ყინული) კომპონენტს წარმოადგენს.

სისტემაზე მოქმედებს როგორც გარე (ტემპერატურა, წნევა), ისე შიგა (კონცენტრაცია) ფაქტორები.

ფაზათა კანონი გვიჩვენებს, თუ რაძღნეი ფაზა იღებს მონაწილეობას სისტემაში მისი წონასწორული მდგომარეობის შემთხვევაში. თუ მთელი სისტემა წონასწორობაში იმყოფება, მაშინ ტემპერატურა და წნევა ყველა ფაზაში თანაბარია. ასეთი სისტემებისათვის შეიძლება გამოვიყვანოთ შემდეგი თანაფარდობა, რომელიც წონასწორობის დროს სისტემის დამოუკიდებელი კომპონენტების რიცხვსა და ფაზათა რიცხვს სისტემის თერმოდინამიკური თავისუფლების ხარისხის რიცხვს უკავშირებს:

$$C = K - \Phi + 2, \quad (II.20)$$

სადაც C რიცხვი თავისუფლების ხარისხის რიცხვია და განსაზღვრავს იმ ფაქტორების უდიდეს რიცხვს, რომლებიც შეიძლება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად იცვლებოდნენ. სხეანიარად, სისტემის თავისუფლების ხარისხი გვიჩვენებს, რამდენი ფაქტორი შეიძლება ვცვალოთ დამოუკიდებლად ისე, რომ სისტემის წონასწორობა, ანუ ფაზათა რიცხვი, არ დაიძრვოს. სისტემის თავისუფლების ხარისხი ფაზათა სხვადასხვა რაოდენობის დროს სხვადასხვაა.

(II.20) თანაფარდობას ფაზათა წესი ეწოდება და იგი შესაძლოა შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ: თავისუფლების ხარისხის რიცხვი ტოლია კომპონენტებისა და ფაზათა რიცხვების სხვაობისა ორის დაშატებით. ამ განმარტებას სხვანაირად ჰიბსის ფაზათა წესი ეწოდება. განმარტებაში დამატებული „2“ წარმოადგენს პარამეტრების (ტემპერატურა და წნევა) რაოდენობას.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ორკომპონენტიანი სისტემა „მარილი + წყალი“, რომელიც შედგება ოთხი ფაზისაგან: მარილი — ყინული — გაყვარებული ხსნარი — ორთქლი. სისტემის კომპონენტების რიცხვია $K=2$, ფაზათა რიცხვი $\Phi=4$, პარამეტრების რიცხვი, რომელთაც შეუძლიათ შეცვალონ სისტემის წონასწორობა, 2-ს უდრის (T და p). მაშინ

$$C = 2 - 4 + 2 = 0.$$

ამგვარად, ორფაზიან, ორკომპონენტიან სისტემას აქვს თავისუფლების ხარისხი, რომელიც ნულის ტოლია, ე. ი. არის უვარიანტო სისტემა. ეს ნიშნავს, რომ ოთხფაზიანი წონასწორობა ორკომპონენტიან სისტემაში შესაძლოა განხორციელდეს ტემპერატურისა და წნევის მხოლოდ მკაცრად განსაზღვრულ მნიშვნელობათა საშუალებით.

§ II. 5. ლე შატელეა პრინციპი

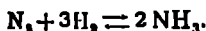
თუ გარე პირობების შეცვლით მოხდება რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ნივთიერებათა კონცენტრაციის ვადილება, მაშინ წონასწორობა მარჯვნივ ინაცვლებს. თუ პირობების შეცვლა გამოიწვევს საწყის ნივთიერებათა კონცენტრაციის ზრდას, მაშინ წონასწორობა მარცხნივ ვადინაცვლებს.

1884 წელს ლე შატელიემ დაადგინა კანონზომიერება, რომელიც გვიძღვეს საშუალებას განვსაზღვროთ, თუ რა მიმართულებით მოხდება წონასწორობის გადანაცვლება გარე პირობების შეცვლის შედეგად.

წონასწორულ სისტემაში რომელიმე გარე პირობის (T, P, C) შეცვლა წონასწორობის ისეთ გადანაცვლებას გამოიწვევს, რომელიც ამ ცვლილებით გამოწვეული მოქმედების შეშეცირების მიმართულებით წარმართება.

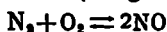
მაგალითად, წონასწორობაში მყოფ სისტემაში ტემპერატურის ზრდა იწვევს წონასწორობის გადანაცვლებას იმ რეაქციის მიმართულებით, რომელიც სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს (ენდოთერმული რეაქციის მიმართულებით). ტემპერატურის შემცირება კი პირიქით, გამოიწვევს წონასწორობის გადანაცვლებას ეგზოთერმული რეაქციის მიმართულებით. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ქვემარტივ წონასწორობა ყოველთვის პირდაპირი და შებრუნებული პროცესების სიჩქარეთა ტოლობას შეესაბამება, შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ წონასწორობის გადაადგილება მხოლოდ იმ შემთხვევაშია, როცა ისეთი ზემოქმედება სხვადასხვანაირ გავლენას ახდენს პირდაპირი და შებრუნებული პროცესების სიჩქარეებზე. სიჩქარეთა ტოლობის ეს დარღვევა იწვევს წონასწორობის გადაადგილებას და სისტემის წონასწორობის ახალ მდგომარეობაში გადასვლას, რომლის დროსაც პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები კვლავ თანაბარი, მაგრამ საწყის სიჩქარეებისაგან განსხვავებული გახდება.

მაგალითისათვის განვიხილოთ აზოტისაგან, წყალბადისა და ამიაკისაგან შედგენილი სისტემა, რომელიც ქიმიურ წონასწორობაში იმყოფება



როგორც ვხედავთ, საწყის აირად ნივთიერებათა 4 მოლეკულიდან ამიაკის მხოლოდ ორი მოლეკულა წარმოიქმნება. წნევის გადიდება გამოიწვევს რეაქციის წონასწორობის მარჯვნივ გადანაცვლებას (ამიაკის წარმოქმნის მიმართულებით), რასაც თან სდევს მოცულობის შეშეცირება. მოცულობის შემცირებასთან ერთად წნევის შემცირებისას სისტემის წონასწორობა მარცხნივ გადანაცვლებს (ამიაკის დისოციაცია N_2 და H_2 -ის წარმოქმნით), რაც სისტემაში მოცულობის გადიდებასთან ერთად წნევის გადიდებას გამოიწვევს. იმ შემთხვევაში, თუ რეაქციის შედეგად აირად ნივთიერებათა მოლეკულების რიცხვი უცვლელი რჩება, მაშინ გარე წნევის შეცვლისას პირდაპირი და შექცევადი რეაქციების სიჩქარე თანაბრად იცვლება და წონასწორობა არ გადანაცვლებს.

მაგალითად, N_2 და O_2 -იდან NO (აზოტის ქანგის) წარმოქმნის რეაქციაზე



წნევის გადიდება ან შემცირება გავლენას არ მოახდენს. რადგანაც საწყის აირად ნივთიერებათა 2 მოლეკულიდან წარმოიქმნება ისევე 2 მოლეკულა აზოტის ქანგი.

ამგვარად, აირად ნივთიერებათა ურთიერთქმედებისას მაღალი წნევა იმ შემთხვევაში გამოიყენება, თუ წარმოქმნილ ნივთიერებათა მოლეკულების რაოდენობა ნაკლებია საწყისი აირების მოლეკულათა რიცხვზე და პირიქით, თუ მისაღებში აირების რიცხვი აღემატება საწყისი აირების რაოდენობას, მაშინ პროცესი დაბალი წნევის ქვეშ უნდა წარიმართოს. იმ შემთხვევაში, თუ რეაქციაში მონაწილე საწყისი და წარმოქმნილი აირების მოლეკულათა რიცხვი ტოლია, მაშინ წნევა რეაქციის სიჩქარეზე არავითარ გავლენას არ ახდენს.

§ II. 6. ნივთიერებათა აბტივობა და აბტივობის კოეფიციენტი

როგორც აღვნიშნეთ, მოქმედ მასათა კანონის საფუძველზე შესაძლოა დადგინდეს იდეალური აირებისა და იდეალური სხნარებისათვის წონასწორობის მუდმივები. ამ დროს მიმდინარე პროცესებში არ შეიმჩნევა მოცულობების ზრდა და საგრძნობი სიდიდის თბური ეფექტების წარმოქმნა. გარდა ამისა, რეალურ სხნარებში მოქმედ მასათა კანონი არ სრულდება, რადგანაც წონასწორობის მუდმივა ამ შემთხვევაში მუდმივი სიდიდე არაა და დამოკიდებულია რეაქციაში შემავალ ნივთიერებათა კონცენტრაციებზე.

სხნარები თავისი ბუნებით ერთმანეთისაგან ძალზე განსხვავებულია. მათ რიცხვს განეკუთვნება თხევადი თუჯი, ფოლადი და წიდა. სხნარების მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს მათი შედგენილობა. სხნარების კონცენტრაცია, ჩვეულებრივ, მოლურ წილობით (აღებულ ნივთიერების მოლების რიცხვის ფარდობა სხნარში შემავალ ყველა ნივთიერების მოლების რიცხვთან) გამოისახება.

თერმოდინამიკაში სხნარები იყოფა: იდეალურ (უსასრულოდ განზავებულ და სრულყოფილი) და რეალურ სხნარებად.

უსასრულოდ განზავებულ სხნარებს მიეკუთვნება ისეთები, რომლებშიაც გამხსნელსა და გახსნილ ნივთიერებათა ნაწილაკებს შორის არ არის საგრძნობი კიმიური ურთიერთქმედება. ამასთან, გამხსნელის მოლური წილი ერთისკენ ისწრაფვის, ხოლო გახსნილ ნივთიერებათა მოლური წილი ნულისკენ, ე. ი. თუ A არის გამხსნელი ნივთიერება, ხოლო B გახსნილი, მაშინ $N_A \rightarrow 1$ და $N_B \rightarrow 0$. აბტივ უსასრულოდ განზავებულ სხნარებში გახსნილ ნივთიერებათა მოლეკულები ერთმანეთთან უმნიშვნელოდ მოქმედებს, რადგანაც ისინი განცალკევებულები არიან გამხსნელ მოლეკულებით, ე. ი. ემსგავსებიან იდეალურ აირებს. თუ რომელიმე გამხსნელში გავხსნით სხვა ნივთიერების მკირე რაოდენობას, მაშინ ბუნებრივია ერთეულ მოცულობაში გამხსნელის მოლეკულების კონცენტრაცია შემცირდება. ამასთან, თხევადი ფაზიდან ორთქლის ფაზაში დროის ერთეულში ამოტყორცნილი განხსნელის მოლეკულების რიცხვიც მცირდება. ამის შედეგად სითხესა და ორთქლს შორის წონასწორობა შედარებით დაბალ ორთქლის კონცენტრაციაზე, ანუ ორთქლის დაბალ წნევაზე, მყარდება. ამგვარად, სხნარის ზედაპირზე გამხსნელის ორთქლის წნევა ყოველთვის უფრო ნაკლებია, ვიდრე სუფთა გამხსნელისა. ეს კანონი ცნობილია რაულის კანონით. ამასთან, გამხსნელის ორთქლის წნევა მით უფრო მცირდება მცირდება, რაც მეტია სხნარში გახსნილი ნივთიერებათა კონცენტრაცია. სხნარის ზედაპირზე გამხსნელი ნივთიერების ორთქლის წნევა პრაქტიკულია გამხსნელის მოლური წილისა და გამოისახება

$$p = p^0 N, \quad (II.20)$$

სადაც p არის სხნარის ზედაპირზე გამხსნელის ორთქლის წნევა; p^0 —სუფთა გამხსნელის ორთქლის წნევა; N —სხნარში გამხსნელის მოლური წილი.

სრულყოფილი სხნარები, რომლებიც ხასიათდებიან მოცულობისა და თბოშემცველობის უცვლელობით, ყოველი კომპონენტის ნებისმიერ კონცენტრაციებზე ემარჩილება რაულის კანონს. ასეთ სხნარებს უახლოვდება, მაგალითად, $Fe-Ni$, $FeO-MnO$ და სხვ. ნაღობები.

რეალური ხსნარები არსებითად განსხვავდება იდეალურისაგან, რაც გამოისახება ნაწილაკებს შორის თავისებურ ურთიერთქმედებით ($\Delta H \neq 0$; $V \neq \text{const}$).

იმისათვის, რომ რეალური ხსნარებისათვის მაღალი სიზუსტით გამოყენებულ იქნეს მოქმედ მასათა კანონი, მის ფორმულაში შეყავთ შემასწორებელი კოეფიციენტი, ე. წ. აქტივობა. სხვანაირად, (II.20) განტოლების ფორმა შეიძლება შევინარჩუნოთ რეალურ ხსნარებისათვისაც, თუ მასში კონცენტრაციის ნაცვლად შევიყვანთ აქტივობას (a). იგი ითვალისწინებს რეალური ხსნარების იდეალურიდან გადახრას.

რეალურ ხსნარებში ნივთიერების აქტივობის სიდიდე განისაზღვრება კონცენტრაციისა და აქტივობის კოეფიციენტის ნამრავლით

$$a = \gamma N, \quad (\text{II.21})$$

სადაც γ — აქტივობის კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს საანგარიშო დამხმარე თერმოდინამიკურ ფუნქციას.

თუ ხსნარები, სადაც მიმდინარეობს განსახილველი რეაქცია, მიეკუთვნება რეალურს, მაშინ რეაქციის იზოთერმულ განტოლებაში კონცენტრაცია აქტივობით უნდა შეიცვალოს.

შესაბამისად, (II.10) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$-\Delta G = A_{\text{max}, p} = RT \left(\ln K_e - \ln \frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \right), \quad (\text{II.22})$$

სადაც a_A, a_B, a_C, a_D — სისტემის საწყის მდგომარეობაში ნივთიერების აქტივობებია შესაბამისად.

III თ ა გ ი

წმის თერმოდინამიკის ფუნდამენტური საფუძვლები

§ III.1. ნახშირბადის წყლის წყარო

ნახშირბადის წყლის რეაქციის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მეტალურგიულ პროცესებში, განსაკუთრებით თუხის წარმოებაში. რეაქციის პრაქტიკული მნიშვნელობა განისაზღვრება მისი მაღალი თბური ეფექტითა და ნახშირბადის აღმდგენით უნარით.

ნახშირბადის წყალ გამოისახება შემდეგი რეაქციით:



$$\Delta H = -566,095 \text{ კჯ}$$

$$(\Delta H = -135,3 \text{ კკალ}).$$

აღსანიშნავია, რომ რეაქციის ასეთი ფორმით წარმოადგენა არ გამოისახავს პროცესის მიმდინარეობის ნამდვილ გზას. მისგან სრულყოფილი არ გამოისახავს ის ფაქტი, რომ ორი მოლეკულა CO_2 -ის წარმოქმნა მიმდინარეობს ორი მოლეკულა CO-ის უშუალო შეჯახებით ქანგბადის ერთ მოლეკულაზე რამდენ მოყვანილი რეაქცია წარმოადგენს ჯამურს და მიგვიჩვენებს, რომ ორი მოლეკულა CO და ერთი მოლეკულა O_2 -ით შესაძლოა მივიღოთ ორი მოლეკულა CO_2 . მიუ-

ხედავად ამისა, რეაქციის ასეთი გაძოასახე სრულიად საკმარისია სისტემის წონასწორული პირობების თერმოდინამიკური ანალიზისათვის. ამ უკანასკნელისათვის არ არის საუბარდებული პროცესის ნიშდინარეობის შექანზმის ცოდნა, არამედ საკმარისია მისი სტექიომეტრიულად გამოსახვა (რომელიც გამომდინარეობს სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობიდან), თერმოდინამიკური ანალიზისათვის სულერთია, აგრეთვე, რომელ მიმართულებითაა დაწერილი რეაქცია: ნახშირორჯანგის წარმოქმნა (პირდაპირი რეაქცია) თუ ნახშირორჯანგის დისოციაცია (შებრუნებული რეაქცია).

როგორც ვხედავთ, CO-ს წვა CO₂-მდე მიმდინარეობს სითბოს საგრძნობი რაოდენობის გამოყოფით. დადგენილია, რომ (III.1) რეაქცია ეგზოთერმულია ნებისმიერ ტემპერატურულ ინტერვალში.

მეტალურგიულ პროცესებში მონაწილე აირები იმყოფება ატმოსფერულიდან მცირედ განსხვავებულ წნევებსა და მაღალ ტემპერატურულ პირობებში. ასეთ დროს აირების თვისებები სრულიად დამაკმაყოფილებლად ექვემდებარება იდეალური აირების კანონებს. ამიტომ განხილული რეაქციისათვის მოქმედ მასათა კანონი შემდეგი ტოლობით გამოისახება:

$$K_r \approx \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}} = \varphi(T), \quad (III.2)$$

სადა K_r ფუნქციაა, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურასა და რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების ბუნებაზე.

მოცემულ პირობებში რეაქციის მიმართულების განსაზღვრისათვის შესაძლოა გამოვიყენოთ იზობარული პოტენციალის ცვლილების გამოსახველი განტოლება (II.9)

$$\Delta G = -RT \left(\ln K_r - \ln \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}} \right)$$

ან ათეულ ლოგარითმებში

$$\Delta G = 4,575 T \left(\lg \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}} - \lg K_r \right). \quad (III.3)$$

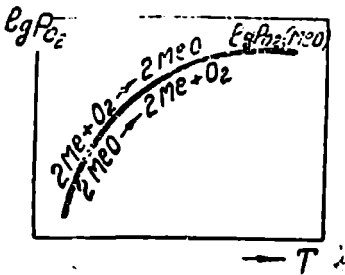
იმისათვის, რომ (III.1) რეაქცია მარცხნიდან მარჯვნივ წარიმართოს აუცილებელია, მოცემულ ტემპერატურაზე რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების ფაქტობრივი კონცენტრაციები ან ფაქტობრივი პარციალური წნევები ($p_{CO_2}(\text{ფ})$, $p_{CO}(\text{ფ})$, $p_{O_2}(\text{ფ})$) ალებულ იქნეს ისეთი რაოდენობით, რომ ორი მოლ CO-ისა და ერთი მოლი O₂-ის იზობარული პოტენციალი (G_1) მეტი იყოს ორი მოლი CO₂-ის იზობარულ პოტენციალზე (G_2). ამასთან,

$$G_2 - G_1 = \Delta G > 0;$$

იღნიშნული განპირობებულია უტოლობით

$$K_{(\text{ფ})} = \frac{p_{CO_2}^2(\text{ფ})}{p_{CO}^2(\text{ფ}) \cdot p_{O_2}(\text{ფ})} < K_r = \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}}. \quad (III.4)$$

აქედან გამომდინარე, CO₂-ის წარმოქმნით რეაქციის წარმართვისათვის



ნახ. III.1. ეგზოთერმული რეაქციის წონასწორობის მუდმივას ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

საპიროა გეკონდეს ისეთი უწონასწორო აირული სისტემა, რომელშიდაც CO_2 -ის ფაქტობრივი კონცენტრაცია ან პარციალური წნევა $P_{CO_2(ფ)}$ ნაკლები იქნება წონასწორულზე, ხოლო $P_{CO(ფ)}$ და $P_{O_2(ფ)}$ კი პირიქით—მეტე.

ამის ანალოგიურად შეიძლება დავასკვნათ, რომ CO_2 -ის დისოციაცია მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა აირული ნარევი წონასწორულ კონცენტრაციებთან შედარებით შეიცავს CO_2 -ის ქარბ და CO ს და O_2 -ის დაბალ კონცენტრაციებს, ე. ი.

$$\frac{P_{CO_2(ფ)}^2}{P_{CO(ფ)}^2 P_{O_2(ფ)}} > K_p \quad (III.5)$$

რადგანაც რეაქცია ეგზოთერმულია ($Q > 0$), ამიტომ წონასწორობის მუდმივა ტემპერატურის ზრდით მცირდება.

ყოველივე ზემოთქმული კარგად ილუსტრირდება III.1 ნახაზით. მხოლოდ მრუდზე განლაგებული ყველა წერტილი გამოსახავს წონასწორულ მდგომარეობას და აქმაყოფილებს პირობას $K_{(ფ)} = K_p$. მრუდი დიაგრამის ზედაპირს ორ ნაწილად ყოფს, ესენია: ა. ზემო ნაწილი ($K_{(ფ)} > K_p$), რომელიც შეესაბამება უწონასწორო სისტემებს, სადაც მიმდინარეობს ნახშირჟანგის დისოციაცია, და ბ. ქვემო ნაწილი ($K_{(ფ)} < K_p$), სადაც მიმდინარეობს ნახშირორჟანგის წარმოქმნა.

lgK_p -ის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება გამოითვლება შემდეგი ემპირიული გამოსახულებით:

$$lgK_p = \frac{29502}{T} - 9,069. \quad (III.6)$$

მაშინ

$$\Delta G_T^0 = -566095 + 173,74T, \text{ ჯ} \quad (III.7)$$

$$(\Delta G_T^0 = -135000 + 41,50T, \text{ კალ}).$$

დადგენილია, რომ (III.1) რეაქციის წონასწორობის მუდმივაზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურა: მისი ზრდა 500-დან 2000 K-მდე იწვევს წონასწორობის მუდმივას შემცირებას დაახლოებით 10-ჯერ, ხოლო 2000 K-ის ზევით K_p -ს მნიშვნელობა 10^5 -ჯერ მცირდება. აქედან გამომდინარე, რეაქცია აღებულ ტემპერატურულ ინტერვალში პრაქტიკულად შეუქცევადია.

რეაქციის შექცევადობაზე შესაძლოა ვიმსჯელოთ წონასწორობის მუდმივას სიდიდის მიხედვით; თუ იგი მცირედ განსხვავდება ერთისაგან (მაგალითად, მისი მნიშვნელობები ძვეს $10^{-2} \pm 10^2$ ზღვრებში), რეაქცია პრაქტიკულად შექცევადია, ხოლო თუ ერთისაგან საგრძნობლად განსხვავდება, — შეუქცევადია.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ CO_2 ის დისოციაცია შესაძლოა წარიმართოს $2000-2500 \text{ K}$ -ზე გაცილებით მაღალ ტემპერატურულ პირობებში.

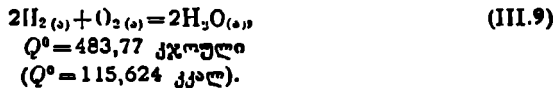
იზობარული პოტენციალის კლება ($-\Delta G$) ახასიათებს ნახშირჟანგის ენგბადისაკენ ე. წ. ნორმალურ სწრაფვას, ანუ CO და O_2 -ის ურთიერთრეაგირების უნარიანობას 1 ატმ წნევის დროს. სწორედ ეს სიდიდე წარმოადგენს CO_2 -ის მდგრადობის საზომს. რაც შეეხება ნორმალურ სწრაფვის სიდიდის ცვლილებაზე ტემპერატურის გავლენის შესწავლას, ამისათვის $\Delta G^\circ = -4,575 T \lg K_p$, გამოსახულება არ გამოდგება, რადგანაც ტემპერატურას ცვლილება იწვევს $\lg K_p$ -ს მნიშვნელობის შემცირებას. ამიტომ ΔG° -ის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების ცვლილების ხასიათი ფასდება თერმოდინამიკურ ფარდობით—რეაქციის ენტროპიის ცვლილებით

$$\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} = -\Delta S. \quad (\text{III.8})$$

(III.7) ტოლობიდან, რომელიც $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ განტოლების შესაბამისად შესაძლოა გამოისახოს $\Delta G^\circ = (-5,66095) - (-17,64)T$ -ით, ვხედავთ, რომ $\Delta S^\circ < 0$, ე. ი. გარდაქმნა $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ მიმდინარეობს ენტროპიის შემცირებით. აქედან ΔG° წარმოადგენს ტემპერატურის მზარდ ფუნქციას და CO -ს ნორმალური სწრაფვა O_2 -კენ, ანუ CO_2 -ის მდგრადობა, ტემპერატურის ზრდით ეცემა.

§ III.2. წყალბადის წვა

წყალბადის წვა შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



(III.1) რეაქციის ანალოგიურად, წყალბადის წვა დიდი დადებითი თბური ეფექტით მიმდინარეობს. მისი წონასწორობის მუდმივა გამოისახება

$$K_p = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}^2}{p_{\text{H}_2}^2 \cdot p_{\text{O}_2}}. \quad (\text{III.10})$$

$\lg K_p$ -ის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება გამოისახება განტოლებით

$$\lg K_p = \frac{26320}{T} - 6,13. \quad (\text{III.11})$$

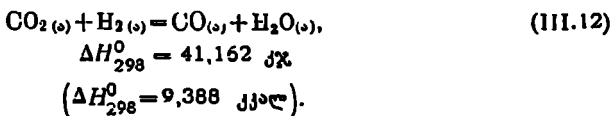
დადგენილია, რომ 2000 K -მდე $K_p \gg 1$, ანუ რეაქცია (III.9) შეუქცევადია დიდ ტემპერატურულ ინტერვალში. CO -ს მკაცრად წყალბადი ინარჩუნებს ენგბადთან საგრძნობ სწრაფვას, ხოლო მისი ენგბადი H_2O —მაღალ სიმდგრადეს. ყველა შედეგი, რომლებიც მოყვანილი იყო CO -ს წვის რეაქციისათვის, მართებულია ენგბადის წვის რეაქციისათვისაც.

ტემპერატურის ზრდით წყალბადის სწრაფვა (CO -ს მკაცრად) ენგბადთან ეცემა. ასე, მაგალითად, დადგენილია, რომ H_2 და CO -ს ოთახის ტემპერატურაზე აქვს ენგბადთან მაღალი სწრაფვა, ვიდრე 1000°C -ზე. პირველი შედეგით ასეთი მტკიცება თითქოს ეწინააღმდეგება აღნიშნულ შედეგებს. სინამდვილეში ცდებიდან ცნობილია, რომ H_2 ან CO -ს ენგბადთან ნარევი

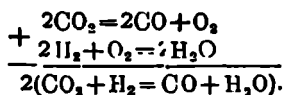
ოთხის ტემპერატურაზე შესაძლოა იყოს საკმაოდ ხანგრძლივად პრაქტიკულად რეაგირების გარეშე. ამასთან 1000°C-ზე მიმდინარეობს მათი ინტენსიური ურთიერთქმედება და რეაქციები აუფეთქების ხასიათს იღებს. მიუხედავად ამისა, წინააღმდეგობანი აქ არ არის. იმის მტკიცება, რომ დაბალ ტემპერატურებზე H_2 -სა და CO -ს აქვს უანგზადთან მაღალი სწრაფვა, ვიდრე მაღალ ტემპერატურებზე, შესაძლოა შემდეგნაირად აიხსნას: თუ H_2 (ან CO -ს) და O_2 -ს შორის ურთიერთქმედება წარიმართება წონასწორობის მიღწევამდე, მაშინ დაბალ ტემპერატურებზე ნივთიერებები შედარებით სრულყოფილად რეაგირებენ, ვიდრე მაღალ ტემპერატურებზე.

§ III. 3. წყლის ორთქლის წარმოქმნის რეაქციის წონასწორობა

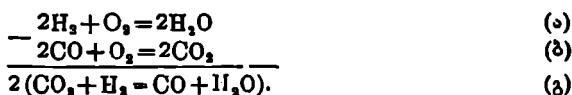
მეტალურგიულ პროცესებში განსაკუთრებული როლი ენიჭება ნახშირ-უანგისა და წყალბადის ურთიერთქმედების რეაქციას



ეს რეაქცია შესაძლოა წარმოვიდგინოთ, როგორც თანამიმდევრულად მიმდინარე გარდაქმნების ჯამი— CO_2 -ის დისოციაცია და H_2 -ის დაუანგვა. ეს რეაქციები გამოისახება



ასეთი გამოსახება ეკვივალენტურია შემდეგის



აუცილებელია მივიღოთ მხედველობაში, რომ მოყვანილი თანამიმდევრობით აღნიშნული რეაქციები სინამდვილეში არ ხორციელდება და მათი მიმდინარეობის მექანიზმი სხვაა.

რეაქციების თანამიმდევრული აღნიშნული სქემა ხელსაყრელი და მონერჩებულია თერმოდინამიკური ანალიზისათვის.

ჰესის კანონის თანახმად,

$$\Delta H_{(ა)} - \Delta H_{(ბ)} = 2\Delta H_{(გ)}$$

აქ

$$\Delta H_{(გ)} = \frac{1}{2} (\Delta H_{(ა)} - \Delta H_{(ბ)}). \quad (III.13)$$

ე. ი. (გ) რეაქციის თბური ეფექტი განისაზღვრება H_2 და CO ს წვის სითბების სხვაობით (ერთი და იგივე T და p -ზე). ცნობილია, რომ ΔG , ისევე როგორც ΔH , არ არის დამოკიდებული პროცესის გზაზე. ამიტომ ΔG^0 სტან-

დარტულ პირობებში შესაძლოა ვიანგარიშოთ $\Delta G_{(გ)}^0 = \frac{1}{2} (\Delta G_{(ა)}^0 - \Delta G_{(ბ)}^0)$ ფორმულით. თუ $\Delta G^0 = -4,575 T \text{ IგK}$ და თუ შევკვეთავთ $(-4,575 T)$ -ზე, მივიღებთ

$$\text{IგK}_{(გ)} = \frac{1}{2} (\text{IგK}_{(ა)} - \text{IგK}_{(ბ)}) \quad (III.14)$$

$$K_{(g)} = \sqrt{\frac{K_{(s)}}{K_{(l)}}} \quad (III.15)$$

თუ (III.6) და (III.11) გამოსახულებებიდან ჩავსვავთ $\lg K_{(s)}$ და $\lg K_{(l)}$ -ს მნიშვნელობებს, მივიღებთ

$$\lg K_{(g)} = -\frac{1591}{T} + 1,47. \quad (III.16)$$

მოყვანილი გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს წესი, რომელსაც ჩვენ შემდგომშიც გამოვიყენებთ: წონასწორობის გაანგარიშების შემთხვევაში შესაბამისი თერმოდინამიკური სიდიდეები (ΔH , ΔG , $\lg K$ და ა. შ.) ისევე თანამიმდევრობით უამლება, როგორც ქიმიური რეაქციებია წარმოდგენილი. (გ) რეაქციის წონასწორობის მუდმივა გამოისახება

$$K_{(g)} = \varphi(T) = \frac{P_{CO} P_{H_2O}}{P_{CO_2} P_{H_2}} \quad (III.17)$$

თუ პარციალურ წნევებს გამოვსახავთ მოცულობით პროცენტობით, მივიღებთ

$$K_{(g)} = \frac{(\%CO)(\%H_2O)}{(\%CO_2)(\%H_2)} \quad (III.18)$$

810°C (1083K) ტემპერატურაზე $K_{(s)} = K_{(l)}$ და $\Delta G_{(s)}^0 = \Delta G_{(l)}^0$. მაშინ $K_{(g)} = 1$ და $\Delta G_{(g)}^0 = 0$. ეს თავისთავად აბასიათებს რეაქციას, როგორც შექცევადს, ე. ი.

$$K_{(g)} = \frac{(\%CO)(\%H_2O)}{(\%CO_2)(\%H_2)} = 1 \quad (III.19)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც მრიცხველი და მნიშვნელო ტოლი სიდიდეებია ეს მაშინ მიიღწევა, როდესაც ქიმიური რეაქციის მარჯვენა და მარცხენა მხარეს რეაგირებს ნივთიერებების ტოლი რაოდენობები (მაგალითად, 25% თითო ნივთიერებისა). იმისათვის, რომ რეაქცია წარიმართოს რომელიმე მიმართულებით, ამისათვის $K_{(g)} \neq 1$. სხვანაირად, CO და H₂O მეტი უნდა იყოს 25%-ზე და CO₂ და H₂ კი პირიქით—ნაკლები.

დადგენილია, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს CO და H₂O-ს კონცენტრაციების ზრდას და CO₂ და H₂-ის შემცირებას, ე. ი. რეაქციის (გ) წონასწორობის მუდმივა იზრდება. დადგენილია, აგრეთვე, რომ ტემპერატურის დიდ ინტერვალში რეაქციის წონასწორობის მუდმივები მცირედ განსხვავდება ერთისაგან. ამიტომ (გ) რეაქცია შექცევადია.

§ III.4. C-CO₂-ის უკონიკატომიზაცია

უანგბადთან ნახშირბადის რეაგირებას დიდი როლი ენიჭება მრავალ მეტალურგიულ პროცესში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ბრძმელულ პროცესში მიმდინარე მეტალურგიული რეაქციების წარმართვა, მაღალი ტემპერატურების მიღება და სხვ. ამასთან, ნახშირბადის დაუანგვის აირიოვან პროდუქტებს აქვს უანგბადის გამოყოფის ან შეერთების უნარი. ამის შესაბამისად, ისინი ამკლავნებენ ეანგვის ან აღდგენის უნარს.

მეტალურგიულ პროცესებში გვხვდება, ე. წ. „ამორფული“ ნახშირბადი, რომელიც შედგება წვრილდისპერსიული კრისტალებისაგან და აქვს გრაფიტის გაცოსი. მსხვილკრისტალური გრაფიტის ენტალპიის მნიშვნელობა შედარებით მცირე სიდიდეა, ვიდრე ამორფული ნახშირბადისა. ამ უკანასკნელის წვა სითბოს უფრო მეტი რაოდენობის გამოყოფით მიმდინარეობს, ვიდრე გრაფიტისა. ამიტომ საჭიროა გავითვალისწინოთ ნახშირბადის ფორმა, რომელიც გარდაიქმნება წვის ამა თუ იმ პროცესის მიმდინარეობისას.

ნახშირბადის წვა აირად დამენაგველ ატმოსფეროში წარმოადგენს რთულ პეტეროგენულ პროცესს. ქიმიურ გარდაქმნებთან ერთად დიდ როლს ასრულებს აირად ფაზიდან მორეაგირე კომპონენტების მყარი ზედაპირისაკენ გადატანისა და რეაქციის პროდუქტების მოცილების ფიზიკური მექანიზმი. აღნიშნული პროცესების შესწავლა გართულებულია ქიმიური რეაქციების მრავალსახეობების გამო.

თავდაპირველად განვიხილოთ CO_2 -თან ნახშირბადის რეაგირება. იგი გამოისახება რეაქციით



$$\Delta H_{298}^{\circ} = 171,879 \text{ კჯ}$$

$$(\Delta H_{298}^{\circ} = 41,080 \text{ კკალ}).$$

როგორც ΔH_{298}° -ს მნიშვნელობა გვიჩვენებს, CO_2 -ით ნახშირბადის (გრაფიტის) დაჟანგვა სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს. ამ რეაქციის დიდი როლი ენიჭება ბრძმედულ პროცესში. შებრუნებული მიმართულებით ($2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$) მიმდინარეობს ეგზოთერმული გარდაქმნები, რომლის დროსაც ნახშირბადი იშლება კვარტლისებრი ნახშირბადის გამოყოფით.

რეაქციის მიმდინარეობის პროცესში ყოველ მოლ CO -ზე (22400 მლ) იხარჯება ერთი მოლი მყარი ნახშირბადი (12 გ), რის შედეგადაც წარმოიქმნება 2 მოლი CO (44300 მლ). მოყვანილი სიდიდეები გვიჩვენებს, რომ კონდენსირებული ფაზის (მყარი ნახშირბადის) მოცულობის ცვლილება აირად შეზღვევებულთან შედარებით მეტად მცირეა და ამიტომ შესაძლოა იგი უგულებელვყოთ. ამგვარად, აირადი ნივთიერებების მონაწილე პეტეროგენული პროცესების სისტემის მოცულობის ცვლილება განისაზღვრება ქიმიური განტოლების მარჯვენა და მარცხენა მხარეს მოთავსებულ მხოლოდ აირად ნივთიერებათა მოლების რიცხვების სხვაობით. განხილული რეაქცია მიმდინარეობს მოცულობის ზრდით. ამასთან, წნევის გაზრდით წონასწორობა მარცხნივ იწვევება. (III.20) რეაქციის წონასწორობის მუდმივა გამოისახება

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2} a_c}. \quad (\text{III.21})$$

რადგანაც $a_c \approx 1$, წონასწორობის მუდმივა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}. \quad (\text{III.22})$$

(III.20) რეაქციის წონასწორობის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან გამოისახება შექლედი სახით:

$$\lg K_p = -\frac{E_{916}}{T} + 9,113. \quad (\text{III.23})$$

როგორც განტოლებიდან ჩანს, ტემპერატურის ზრდა იწვევს K_p -ს ზრდას. დადგენილია, რომ დაახლოებით 1000 K ($\sim 700^\circ\text{C}$) წონასწორობის მუდმივა ერთის ტოლი ხდება ეს ფაქტი მოწმობს, რომ რეაქცია ამ ტემპერატურაზე პრაქტიკულად შექცევადია. შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე რეაქცია შეუქცევადია და ნაწილობრივად წარმოქმნით მამდინარეობს ($K_p \gg 1$) ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე პირიქით — C და CO_2 -ის წარმოქმნით ($K_p \ll 1$).

თუ ვიპოვით K_p -ს მნიშვნელობას, შეგვიძლია ვიანგარიშოთ აირების ნარევის წონასწორული შედგენილობა. ამისათვის მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ $(\% \text{CO}) + (\% \text{CO}_2) = 100\%$ და $p_{\text{CO}} + p_{\text{CO}_2} = p_{\text{საერთო}}$. მაშინ

$$p_{\text{CO}} = \frac{\% \text{CO}}{100} \cdot p_{\text{საერთო}} \quad \text{და} \quad p_{\text{CO}_2} = \frac{\% \text{CO}_2}{100} \cdot p_{\text{საერთო}} = \frac{(100 - \% \text{CO})}{100} \cdot p_{\text{საერთო}}$$

თუ ამ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (III.22) განტოლებაში, მივიღებთ

$$K_p = \frac{(\% \text{CO})^2 \cdot p_{\text{საერთო}}}{(100 - \% \text{CO}) \cdot 100} \quad (III.24)$$

სადაც $(100 - \% \text{CO})$ აირების ნარევიში CO_2 -ის კონცენტრაციაა.

აირების წონასწორული შედგენილობის განსაზღვრისათვის საჭიროა საერთო წნევისა და ტემპერატურის ცოდნა, რომლის მიხედვითაც ვპოულობთ K_p -ს. მაგალითისათვის მოკუყვანათ შემდეგი: 700 და 1000°C -ზე განესაზღვროთ რეაქციის წონასწორობის მუდმივის მნიშვნელობა. დაეუწვათ 700°C -ზე (973 K) საერთო წნევა $p_{\text{საერთო}} = 1$ ატმ, მაშინ

$$\Delta G^\circ = 2\Delta G^\circ_{\text{CO}} - \Delta G^\circ_{\text{CO}_2} = -95,0 + 95,0 = 0,$$

$$\lg K_p = \frac{-0}{4,575 \cdot 973} = 0 \quad \text{და} \quad K_p = 1.$$

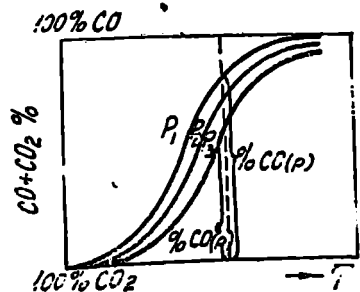
1000°C (1273 K)-ზე $p_{\text{საერთო}} = 1$ ატმ: მაშინ

$$\Delta G^\circ = -108 + 95 = -13,0 \text{ კჯალ} \quad (\text{ან } \Delta G^\circ = -54,4 \text{ კჯ}).$$

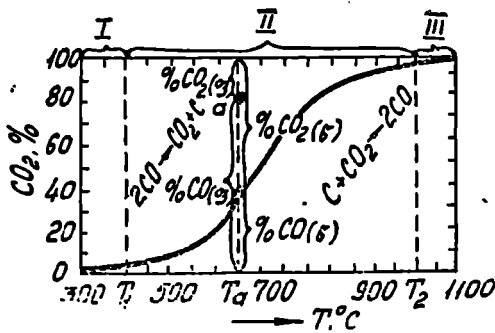
$$\lg K_p = \frac{13000}{4,575 \cdot 1273} = 2,23 \quad \text{და} \quad K_p = 10^{2,23}.$$

თუ K_p -სა და $p_{\text{საერთო}}$ -ის მნიშვნელობებს 700°C -ზე ჩავსვავთ (III.24) განტოლებაში და შესაბამისად გავიანგარიშებთ, მივიღებთ წონასწორულ მონენტში აირადი ფაზის შედგენილობას: $60\% \text{ CO}$ და $40\% \text{ CO}_2$; 1000°C -ზე ($p_{\text{საერთო}} = 1$ ატმ) კი გვექნება $99\% \text{ CO}$ და $1\% \text{ CO}_2$. ანალოგიურად შეიძლება ვიანგარიშოთ აირადი ფაზის წონასწორული შედგენილობა სხვა ტემპერატურაზეც.

აირების ნარევის წონასწორული შედგენილობა შესაძლოა ვიპოვოთ



ნ.ს. III.2. $\text{C} + \text{CO}_2 = \text{CO}$ რეაქციის აირის წონასწორული შედგენილობის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.



ნახ. III.3. $C + CO_2 = 2CO$ რეაქციის აირის წონასწორული შედგენილობის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება $p_{CO} + p_{CO_2} = 1$ ატმ პირობებში.

ტემპერატურაზე p_1 -იდან p_2 -მდე წნევის შეცვლა იწვევს, შესაბამისად, ნახშირ-უანგის წონასწორულ კონცენტრაციის შემცირებას $\%CO$ -დან $\%CO'$ -მდე. ეს თავისთავად მოწმობს (III.20) რეაქციის წონასწორობის მარჯვნიდან მარცხ-ნივ გადანაცვლებას, ე. ი. მის წარმართვას მოცულობის შემცირებისაკენ. ეს უკანასკნელი ხდება წნევის ზრდის შემთხვევაში.

III.3 ნახაზზე მოცემულია (III.20) რეაქციისათვის აირის ნარევის წონასწორული შედგენილობის იზობარი $p_{CO} + p_{CO_2} = 1$ ატმ წნევის დროს. სიბრტყის ყოველი წერტილი შესაბამის ტემპერატურაზე შეესაბამება აირების გარკვეულ ნარევს (მყარი ნახშირბადის თანხლებით). წონასწორული შედგენილობის გამომისახველი წერტილები განლაგებულია უშუალოდ მრუდზე. ამ მრუდის ზევით ან ქვევით განლაგებული წერტილები შეესაბამება არაწონასწორულ მდგომარეობებს. დადგენილია, რომ მრუდის ზემოთ მოთავსებული წერტილებში გამოსახავს სისტემის არაწონასწორულ მდგომარეობას, სადაც შესაძლებელია ნახშირორთქანგის დაშლის რეაქციის მიმდინარეობა, ხოლო მრუდის ქვემოთ მოთავსებული წერტილები კი—ნახშირუანგის წარმოქმნის რეაქციის მიმდინარეობას. ამასთან დაკავშირებით გრაფიკზე გამოყოფილია სამი უბანი:

I—დაბალი ტემპერატურული უბანი ($\leq 400^\circ C$), სადაც $K_p \ll 1$, წონასწორული აირი შედგება თითქმის 100% CO_2 -გან და იზობარი აბსცისის ღერძს უერთდება. რეაქცია შეუქცევადია ნახშირუანგის დაშლის მიმართულებით. სინამდვილეში კი დაბალ ტემპერატურულ პირობებში CO არ იშლება. ეს თავისთავად დამოკიდებულია მრავალ კინეტიკურ სიძნელეებთან.

II—საშუალო ტემპერატურული უბანი ($400-1000^\circ C$), $K_p = 1$ ატმ წნევაზე. K_p დიდად არ განსხვავდება ერთისაგან. წონასწორული აირი შეიცავს CO და CO_2 -ის გარკვეულ კონცენტრაციებს. რეაქცია პრაქტიკულად შექცევადია.

III—მაღალი ტემპერატურული უბანი ($> 1000^\circ C$). ამ უბანში $K_p \gg 1$ და წონასწორული აირი შეიცავს თითქმის 100% CO . რეაქცია შეუქცევადია.

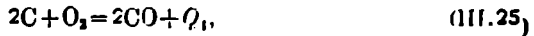
გრაფიკული წესით III.2 ნახაზზე მოყვანილია (III.20) რეაქციისათვის აირის ნარევის წონასწორული შედგენილობის იზობარები (ტემპერატურისაგან დამოკიდებული). ყოველი იზობარა გამოსახავს ტემპერატურისაგან დამოკიდებული CO -ს წონასწორულ შემცველობის ზრდას. ამ გრაფიკზე $p_1 < p_2 < p_3$.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, მუდმივ T_1

§ III.5. ნახშირბადის წვის რეაქციის წონასწორობა

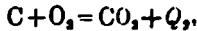
ნახშირბადის ურთიერთქმედება ენგებოდთან შესაძლოა განხილულ იქნეს შემდეგი 4 რეაქციის ერთობლიობით:

1. ნახშირბადის არასრული წვის რეაქცია



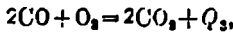
$$\Delta H_{298,1}^0 = -221,22 \text{ კჯ} (\Delta H_{298,1}^0 = -52,9 \text{ კკალ});$$

2. ნახშირბადის სრული წვის რეაქცია



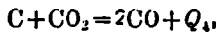
$$\Delta H_{298,1}^0 = -93,77 \text{ კჯ} (\Delta H_{298,1}^0 = -94,05 \text{ კკალ});$$

3. ნახშირბადის წვის რეაქცია



$$\Delta H_{298,1}^0 = -283,19 \text{ კჯ} (\Delta H_{298,1}^0 = -67,64 \text{ კკალ}); \quad (III.1)$$

4. CO-ს წარმოქმნით CO₂-ის ნახშირბადთან ურთიერთქმედების რეაქცია



$$\Delta H_{298,1}^0 = 171,88 \text{ კჯ} (\Delta H_{298,1}^0 = 41,88 \text{ კკალ}). \quad (III.20)$$

(III.26) და (III.1) რეაქციები მიმდინარეობს დამანგველ პირობებში (როდესაც გვაქვს კარბი თავისუფალი ენგებოდი). პირიქით, რეაქციები (III.25) და (III.20) ხორციელდება აღმდგენელ ატმოსფეროში (როდესაც გვაქვს კარბი ნახშირბადი).

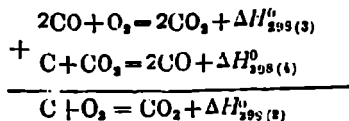
მრავალი ცდისა და დაკვირვების შედეგად დადგენილია, რომ მაღალ ტემპერატურაში მყარი საბოზის წვის პირობებში პროცესების მიმდინარეობისას თანამიმდევრულად წარმოიპოვება (III.26) და (III.20) რეაქციები. აირადი ან თხევადი საბოზების წვის პროცესი კი ხორციელდება (III.25) და (III.1) რეაქციების მიმდინარეობით. აღნიშნული რეაქციები შესწავლილია ექსპერიმენტულად და მათი თერმოდინამიკური მახასიათებლები შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ნახშირბადის სრული და არასრული წვის რეაქციების წონასწორობის მუდმივას არაპირდაპირი განსაზღვრისათვის. ამგვარად, (III.25) და (III.26) რეაქციების წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრის შემზად ისინი გამოვსახოთ თანამიმდევრული რეაქციების მეშვეობით.

(III.25) რეაქციისათვის გვექნება

$$\begin{aligned} &+ 2CO + O_2 = 2CO_2 + \Delta H_{298,1}^0 \\ &2(C + CO_2 = 2CO) + 2\Delta H_{298,1}^0 \\ \hline &2C + O_2 = 2CO + \Delta H_{298,1}^0 \end{aligned}$$

$$K_{p,1} = \frac{p_{CO}^2}{p_{O_2}}$$

(III.26) რეაქციისათვის გვექნება



$$K_{r(2)} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{O}_2}}$$

ქესის კანონის თანახმად, გვექნება

$$\Delta H_{298}^{\circ}(1) = \Delta H_{298}^{\circ}(2) + 2\Delta H_{298}^{\circ}(4),$$

$$\Delta H_{298}^{\circ}(2) = \Delta H_{298}^{\circ}(1) - 2\Delta H_{298}^{\circ}(4).$$

რადგანაც

$$\Delta H_{298}^{\circ} = -4,575 T \lg K,$$

ამიტომ

$$\lg K_1 = \lg K_2 + 2 \lg K_4,$$

$$\lg K_2 = \lg K_1 - 2 \lg K_4.$$

აქედან

$$K_1 = K_2 \cdot K_4^2,$$

$$K_2 = K_1 \cdot K_4^{-2}.$$

არსებული თერმოდინამიკური მონაცემებიდან გამომდინარე (III.1) და (III.20) რეაქციების მიხედვით შეიძლება განესაზღვროთ $\Delta G_{298}^{\circ}(1)$ და $\Delta G_{298}^{\circ}(2)$ მნიშვნელობანი და შესაბამისად (III.25) და (III.26) რეაქციებისათვის K_1 და K_2 . ნახშირბადის არასრული წვის რეაქციებისათვის

$$\lg K_{r1} = \lg \frac{p_{\text{CO}_2}^2}{p_{\text{O}_2}} = \frac{11670}{T} + 9,157,$$

$$\Delta G_{298}^{\circ}(1) = -53400 - 41,9 T.$$

ნახშირბადის სრული წვის რეაქციისათვის

$$\lg K_{r2} = \lg \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{O}_2}} = \frac{20586}{T} + 0,044,$$

$$\Delta G_{298}^{\circ}(2) = -94200 - 0,20 T.$$

§ III.6. წვის პროცესების კინეტიკა

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, თერმოდინამიკის მეშვეობით შესაძლოა დავადგინოთ მოცემული მიმართულებით ამა თუ იმ რეაქციის წარმართვის შესაძლებლობა. მაგრამ ურეძობელია ვიმსჯელოთ ამ რეაქციების მიმდინარეობის სიჩქარეებსა და მათ მექანიზმზე. ამ საკითხებს განიხილავს ქიმიური კინეტიკა. რეაქციების მიმდინარეობის სიჩქარე განისაზღვრე-

ბა შორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციების ცვლილებით დროის ერთეულში და პროპორციულია სიჩქარის მუდმივი სი და კონცენტრაციის.

მაგალითად, რეაქციისათვის

$$aA + bB \xrightarrow[k_2]{k_1} cC + dD.$$

როდესაც პროცესი მარცხნიდან მარჯვნივ მიმდინარეობს, რეაქციის სიჩქარე იქნება

$$v_1 = k_1 \cdot C_A^a \cdot C_B^b.$$

ხოლო შექცევადი რეაქციისა

$$v_2 = k_2 \cdot C_C^c \cdot C_D^d.$$

პრაქტიკულად, თითქმის უნრავლესი რეაქცია შექცევადია. ამიტომ ყოველი ქიმიური სისტემა დროთა განმავლობაში უნდა აღწევდეს დინამიკურ წონასწორულ მდგომარეობას, როცა ჰარდაპირი რეაქციის სიჩქარე ტოლი იქნება შებრუნებული რეაქციის სიჩქარისა. ყოველი ქიმიური რეაქცია პრაქტიკულად არ მიმდინარეობს ბოლომდე. ე. ი. შორეაგირე ნივთიერებათა მთლიან გარდაქმნამდე.

დადგენილია, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს რეაქციის სიჩქარის ზრდას. გაჰონაკლის წარმოადგენს ნხლოდ რამდენიმე რეაქცია, როცა ტემპერატურის ზრდას ახლავს სიჩქარის მცირე ცვლილება ან საწინააღმდეგო მიმართულებით მინდინარეობა (მაგალითად, NO-ს NO₂-ად დაცანგვა და სხვ.). ამგვარად, ტემპერატურის ცვლილება იწვევს სიჩქარის მუდმივას ცვლილებას

იმისათვის, რომ ორი მოლეკულა ერთმანეთთან შევიდეს რეაქციაში, საჭიროა მოხდეს მათი შეჯახება. აღსანიშნავია, რომ არა ყველა შეჯახებას მიყვავართ რეაქციაში. არენიუსმა პირველია გამოთქვა აზრი, რომ რეაქციის უნარით ხასიათდება მხოლოდ აქტიური მოლეკულები. ე. ი. ისეთი მოლეკულები, რომელთაც შეჯახების მომენტში აქეთ საშუალოზე მეტი ჰარბი ენერგია. ამ ჰარბ ენერგიას აქტივაციის ენერგია ეწოდება.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ტემპერატურის ყოველ 10° C-ით აწევა იწვევს რეაქციის სიჩქარის მუდმივას სიდიდის 2—4-ჯერ ზრდას. რეაქციის სიჩქარის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან გამოისახება არენიუსის განტოლებით

$$\ln k = \frac{A}{T} + B, \quad (\text{III.26})$$

სადაც A და B მუდმივებია; ყოველ რეაქციას შესაბამება მათი გარკვეული მნიშვნელობა.

მეორე მხრივ ცნობილია, რომ წონასწორების მუდმივას $\left(K = \frac{k_1}{k_2}\right)$ დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან (როცა $\gamma = \text{const}$) გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{d \ln \frac{k_1}{k_2}}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}.$$

აქედან

$$\frac{d \ln k_1}{dT} - \frac{d \ln k_2}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}. \quad (\text{III.27})$$

ΔH , როდესაც $p = \text{const}$, შესაძლოა წარმოვიდგინოთ როგორც პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების აქტივაციის ენერგიების სხვაობა $\Delta H = E_2 - E_1$. მაშინ

$$\frac{d \ln k_1}{dT} - \frac{d \ln k_2}{dT} = \frac{E_2 - E_1}{RT^2}.$$

ვარაუდობენ, რომ

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2} + C, \quad (\text{III.28})$$

სადაც C —მუდმივაა, რომლის მნიშვნელობაც პირდაპირი და შებრუნებულ რეაქციებისათვის ერთი და იგივეა.

არენიუსმა გვიჩვენა, რომ შექცევად რეაქციებში $C=0$. ამ შემთხვევაში (III.28) გამოსახულების ინტეგრირებით მიღებულია

$$\ln k = -\frac{E}{RT} + B, \quad (\text{III.29})$$

სადაც B ინტეგრირების მუდმივაა.

ამგვარად,

$$k = e^{-\frac{E}{RT} + B} = e^B \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (\text{III.30})$$

ან

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (\text{III.31})$$

სადაც $k_0 = e^B$ ეწოდება წინაექსპონენციალური მამრაველი E —აქტივაციის ენერგია; R —აირის უნივერსალური მუდმივა.

(III.31) გამოსახულება გვაძლევს აქტივაციის ენერგიასა და ტემპერატურაზე რეაქციის სიჩქარის მუდმივას დამოკიდებულებას. k_0 მუდმივა წარმოადგენს მორეაგირე ნივთიერებების მოლეკულების შეჯახებების რაოდენობას 1 სექუნდში.

აქტივაციის ენერგიის განსაზღვრისათვის აგებენ გრაფიკს $\ln k$ და $\frac{1}{T}$ დამოკიდებულებებს შორის. ამასთან, თუ არენიუსის განტოლებით გამოსახული კანონი სრულდება, ამ შემთხვევაში მიიღება სწორი ხაზი. (III.31) განტოლების გალოგარითმებით მივიღებთ

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT} \quad A - \frac{B}{T}. \quad (\text{III.32})$$

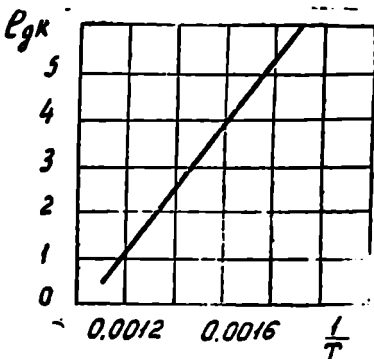
გრაფიკზე მიღებული სწორი ხაზის დახრის კუთხის ფ ტანგენსი იძლევა $\left(-\frac{E}{R}\right)$ -ის სიდიდის მნიშვნელობას, ხოლო მონაკვეთი ორდინატის ღერძზე, სადაც სწორი ხაზი გადაკვეთს ორდინატს, ტოლია $\ln k_0$ (ნახ. III.4).

თბური ეფექტისაგან განსხვავებით რეაქციის აქტივაციის ენერგია ყოველთვის დადებითი სიდიდეა. ამიტომ (III.28) გამოსახულებიდან გამომდინა-

რე $\frac{E}{RT}$ -ისა და ტემპერატურის ზრდით რეაქციის სიჩქარე იზრდება. ამასთან, რაც მეტია აქტივაციის ენერჯია, მით მეტია აღებულ ტემპერატურაზე წარმოებულის სიდიდე და ამის შედეგად ტემპერატურის ზრდით რეაქციის სიჩქარე ინტენსიურად იზრდება.

დაბალ ტემპერატურებში, როდესაც A მნიშვნელობა შედარებით დიდია, რეაქციის სიჩქარის მუდმივა ძირითადად განისაზღვრება (III.26) გამოსახულების პირველი შემდგენლის სიდიდით, ანუ აქტივაციის ენერჯიის სიდიდით; რაც მეტია ეს სიდიდე, მით დაბალია რეაქციის სიჩქარე. მაღალ ტემპერატურებში კი სიჩქარის მუდმივა განისაზღვრება წინა ექსპონენციალური მანრავლის სიდიდით.

დადგენილია, რომ ხშირ შემთხვევაში E -ს დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება k_0 -ის დიდ მნიშვნელობას და პირიქით.



ნახ. III.4. $\lg k = f\left(\frac{1}{T}\right)$ -ს დამოკიდებულების გრაფიკი.

IV თ ა ვ ი

შენაერთების თანამული დისოციაციისა და წარმოქმნის პროცესები

§ IV.1. უანგულუბის მდგრადობის კაოდენობრივი მახასიათებლები

ლითონების ქანგვა-აღდგენის რეაქციები მეტალურგიული პროცესების ძირითადი საფუძველია. ამიტომ მათი შესწავლისათვის აუცილებელია იმ მახასიათებლების ცოდნა, რომლითაც ფასდება ქანგვადთან ლითონის კავშირის მდგრადობა. ეს უკანასკნელი შეიძლება უშთაგრესად ორი მეთოდით განისაზღვროს: 1. ქანგეულის წარმოქმნის რეაქციის იზობარულ-იზოთერმული პოტენციალის ცვლილებებით და 2. ქანგეულების დისოციაციის დრეკალობით. განვიხილოთ მოკლედ ეს მეთოდები.

ქანგვადთან ელემენტების შეერთების სწრაფების სიდიდის ხარისხის განსაზღვრა ქანგეულის წარმოქმნის რეაქციის იზობარულ-იზოთერმული პოტენციალის მიხედვით.

პროცესების მიმდინარეობის მიმართულება და ქანგვადთან ელემენტების ქიმიური სწრაფა ხასიათდება იზობარულ-იზოთერმული თერმოდინამიკური პოტენციალის (ΔG) ცვლილებით: რაც მეტია ქანგვადისაკენ ელემენტის სწრაფვა, ე. ი. რაც მდგრადია მისი ენგეული, მით მეტია იზობარული პოტენციალის ცვლილების უარყოფითი მნიშვნელობა.

სხვადასხვა ქანგეულების წარმოქმნის პროცესებში იზობარული პოტენციალის ცვლილება იანგარიშება რეაქციების წონასწორობის მუდმივების მეშ-

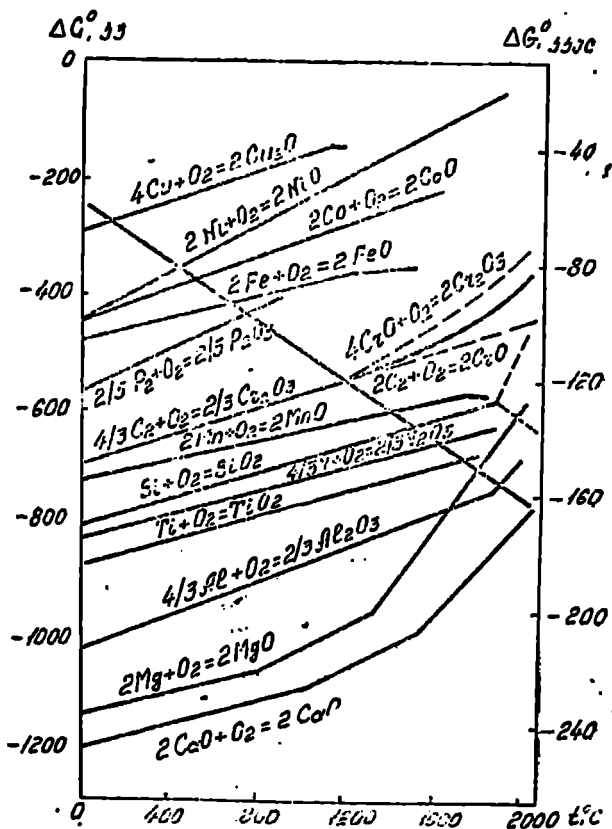
ვეობით. მაგალითად. (II.1) განტოლებაში თუ A_{max}^0 შავივარდ ჩავსვავთ ΔG_T^0 -ს, მაშინ

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_p \quad (IV.1)$$

IV.1 ნახაზზე მოცემულია ΔG_T^0 -ს ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკი. წარმოდგენილი გრაფიკიდან გამომდინარეობს შემდეგი:

1. ტემპერატურის ზრდით ქანგბადის მიმართ ქიმიური ელემენტების სწრაფვა მცირდება;

2. ქანგბადის მიმართ ელემენტების ქიმიური სწრაფვის ზრდა (ანუ ელემენტების ქანგეულების მდგრადობის ზრდა) შეესაბამება $\Delta G_T^0 = f(T)$ დამოკიდებულების გამომსახველ გრაფიკების კლებას. მაგალითად, 1200K ტემპერატურაზე ქანგეულები მდგრადობის ზრდის მიხედვით განლაგდება შემდეგი თანამიმდევრობით: MnO , Mn_2O_3 , Cu_2O , Fe_3O_4 , NiO , Fe_2O_3 , P_2O_5 , FeO , Cr_2O_3 , MnO , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , MgO და CaO ;



ნახ. IV.1. ქანგეულის წარმოქმნის ΔG_T^0 -ის ტემპერატურული დამოკიდებულება.

3. გარკვეულ ტემპერატურაზე ზოგიერთ გრაფიკზე ხდება გარდატეხები, რომლებიც გამოწვეულია ნივთიერებების აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილებითა და, ამასთან დაკავშირებით, ამ ელემენტების ქანგბადის მიმართ სწრაფვის პიდიდის ცვლილებით. ამის შედეგად ზემოთ აღნიშნული მიმდევრობა ქანგბადისაკენ ელემენტების სწრაფვისა და ქანგეულების მდგრადობის ზრდასა შესაძლოა შეეცვალოს ტემპერატურის ზრდით. მაგალითად, დაბალ ტემპერატურებში MgO შედარებით მდგრადი ქანგეულია, ვიდრე Al_2O_3 . 1720K მათი მდგრადობა პრაქტიკულად ერთმანეთს უტოლდება, ხოლო ტემპერატურის შემდგომი ზრდით MgO ხდება Al_2O_3 -ზე დაკლებად მდგრადი;

4. აღებულ ტემპერატურაზე ყოველ ელემენტს შეუძლია აღადგინოს ყველა სხვა ელემენტი, როგელთა $\Delta G_T^j = -j(T)$ გამოშსახველი მრუდები მოთავსებულია მის ზევით.

მაგალითად, ბრძმედულ პროცესის პირობებში, რომლის დროსაც ძირითადად მიმდინარეობს რკინის აღდგენა და შედარებით მცირე რაოდენობით Si, Mn და სხვ. ელემენტებსა, შეუძლებელია აღდგენითი პროცესის წარმართვა იმ ლითონების მეშვეობით, როგელთა ქანგბადის მიმართ სწრაფვის სადიდე ნაკლებია რკინაზე. ამიტომ ბრძმედულ პროცესში აღმდგენად იხმარება კოქსის ნახშირბადი, რომლის ქანგბადისაკენ სწრაფვა შედარებით მეტია, ვიდრე Fe, Mn, Si და სხვ.

ქანგბადთან ელემენტების შეერთების სწრაფვის ხარისხის განსაზღვრა ქანგეულის დისოციაციის დრეკადობის მიხედვით. ლითონების დაქანგვის რეაქცია შექცევადია და ამიტომ წარმოქმნილ ნაერთებს აქვს დისოციაციის უნარი. ზოგადად



როგორც ცნობილია, ქანგეულების წარმოქმნა მიმდინარეობს აირადი ფაზის (ქანგბადის) უშუალო მონაწილეობით. განხილული სისტემა ორკომპონენტიანია, შედგება 3 ფაზისაგან და აქვს ერთი თავისუფლების ხარისხი.

თუ გავითვალისწინებთ ხანარში მორეაგირე ქანგეულისა და ლითონის აქტივობას, რეაქციის პუდნივა შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვიდგინოთ:

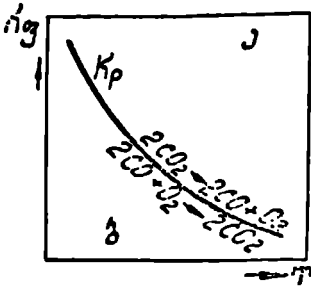
$$K_p = \frac{p_{O_2} \cdot a_{Me}^2}{a_{MeO}^2}. \quad (IV.3)$$

იმ შემთხვევაში, თუ MeO და Me სუფთა კონდენსირებული ნივთიერებებია, ურთიერთხანადობით არ ხანათდება და აირად პროდუქტს ქანგბადი წარმოადგენს, მაშინ ასეთ პეტეროგენულ სისტემაში წონასწორობის მუდმივა განისაზღვრება მხოლოდ ქანგბადის პარციალური წნევის მეშვეობით

$$K_p = p_{O_2}. \quad (IV.4)$$

ქანგეულის წარმოქმნის ან დისოციაციის რეაქციაში ქანგბადის წონასწორულ პარციალურ წნევას ქანგეულის დისოციაციის დრეკადობა ($p_{O_2}(MeO)$) ეწოდება და ΔG_T^0 -ს მსგავსად წარმოადგენს მის მდგრადობისა და სიმტიციის საზომ სადიდეს.

რადგანაც ამ შემთხვევაში (IV.4) დისოციაციის დრეკადობა ემთხვევა წონასწორობის მუდმივას, ამიტომ მისი განსაზღვრისათვის გამოიყენება თერ-



ნახ. IV.2. ეანგეულების დისოციაციის დრეკადობის ლოგარითმის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

მოდინამიკური მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებიან რეაქციის წონასწორული მუდმივის გასაანგარიშებლად.

როგორც აღენიშნეთ, ეანგეულების დისოციაციის დრეკადობა იანგარიშება იზობარული პოტენციალის ცვლილებით. შაგრამ (IV.1) რეაქციისათვის $K_p = f_{O_2}$; მაშინ

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln f_{O_2} = -4,575 T \lg f_{O_2} \quad \text{ქედან}$$

$$\lg f_{O_2} = - \frac{\Delta G_T^0}{4,575 T} = - \frac{\Delta H_T^0}{4,575 T} + \frac{\Delta S_T^0}{4,575} \quad (IV.5)$$

ამდენად, ეანგეულის დისოციაციის დრეკადობა, ისევე როგორც იზობარული პოტენციალის (ΔG) ცვლილება, სტანდარტულ პირობებში, შესაძლოა გამოიყენოთ ნივთიერების (ეანგეულებისა და ელემენტების) ეანგბადისაკენ ნორმალური სწრაფვის ანუ ეანგეულის მდგრადობის შესაფასებლად.

როგორც ცნობილია, ყველა რეაქცია მიმდინარეობს წონასწორულ მდგომარეობის მიღწევისაკენ. ამიტომ ეანგეულის დისოციაციის დრეკადობის (p_{O_2}) აირად ფაზაში ეანგბადის ფაქტობრივი პარციალური წნევები $p_{O_2(ფ)}$ ფარდობის მიხედვით ეანგეული ან წარმოიქმნება, ან დისოცირებს. შესაძლებელია ამ სიდიდეების ფარდობის 3 შემთხვევა:

1. $p_{O_2} = p_{O_2(ფ)}$ — რეაქცია წონასწორულ მდგომარეობაშია;

2. $p_{O_2} > p_{O_2(ფ)}$ — ხდება ეანგეულიდან მოცემული ელემენტის აღდგენა და ეს პროცესი მით ენერჯიულად და სრულყოფილად მიმდინარეობს, რაც მეტია სხვაობა ($p_{O_2} - p_{O_2(ფ)}$);

3. $p_{O_2} < p_{O_2(ფ)}$ — ხდება ელემენტის დაეანგვა, რომელიც მით უფრო ენერჯიულად და სრულყოფილად მიმდინარეობს, რაც მეტია სხვაობა ($p_{O_2(ფ)} - p_{O_2}$). ჩვეულებრივ პირობებში ჰაერის ეანგბადის პარციალური წნევა $\sim 0,21$ ატმ ტოლია.

დაეანგვის რეაქცია ეგზოთერმულია და ტემპერატურის ზრდით მისი წონასწორული მუდმივა კლებულობს, ხოლო ნაერთის დისოციაციის დრეკადობა იზრდება (ნახ. IV.2). სხვანაირად, ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მეცირდება დასაეანგი ნივთიერების ეანგბადისაკენ სწრაფვა და ამასთან ეანგეულის სიმტკიცე. პროცესის მიმართულება ΔG -ის სიდიდის მიხედვით განისაზღვრება.

აღნიშნულიდან პირველ შემთხვევას შეესაბამება უშუალოდ გამოსახულ მრუდზე განლაგებული წერტილები (ნახ. IV.2); მეორეს — მრუდის ზემოთ მოთავსებული არე; მესამეს — წონასწორული მრუდის ქვემოთ მოთავსებული არე.

IV.3 ნახაზზე ნაჩვენებია თანგეულების დისოციაციის დრეკადობის ლოგარითმის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების მრუდები. პუნქტირის ხაზი შეესაბამება ჰაერში ეანგბადის პარციალურ წნევას, რაც საშუალებას გვაძლევს ერთმანეთს შევადაროთ აღნიშნული ელემენტების ეანგბადისაქენ სწრაფვა. ნახაზზე მოცემული დამოკიდებულებები საშუალებას გვაძლევს გავაეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ტემპერატურის ზრდა იწვევს ყველა ეანგეულის დისოციაციის დრეკადობის ზრდას (როდესაც $p_{O_2} = \text{const}$), რაც მოწმობს მათი მდგრადობის შემცირებას;

2. ყველა განხილული ეანგეულის დისოციაციის დრეკადობის მრუდები განლაგებულია ჰაერის ეანგბადის პარციალური წნევის გამოძახებელი სწორი ხაზის ზევით. ეს იმას მოწმობს, რომ აღებულ ტემპერატურულ ინტერვალში იარსებებენ ეანგეულები, ე. ი. ისინი მდგრადია. გამონაკლის წარმოადგენს ნიკელის ეანგი NiO,

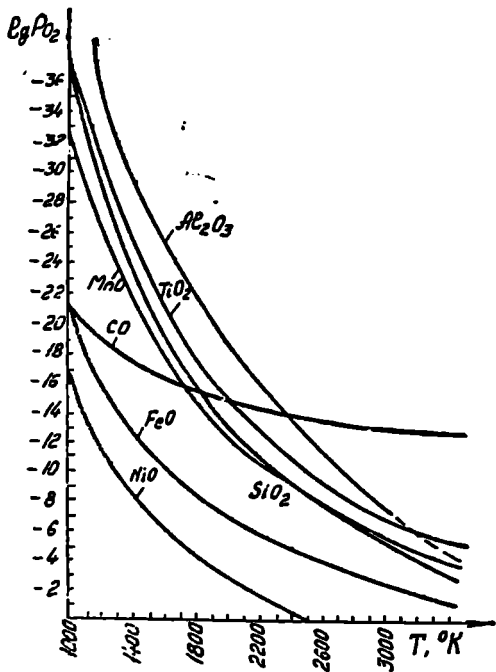
რომლის დისოციაციის დრეკადობის სიდიდე 2400K ტემპერატურის ზევით ჰაერში ეანგბადის პარციალურ წნევის სიდიდეზე მეტი ხდება. ამგვარი, აღნიშნულ ტემპერატურის ზევით ეანგეულიდან ნიკელი თავისთავად აღდგება

3. რაც უფრო მაღლა განლაგებული ეანგეულების დისოციაციის დრეკადობის შესაბამისი მრუდები, მით უფრო მდგრადია ეს ეანგეული და მით უფრო ძლიერია ამ ეანგეულის წარმოქმნილი ელემენტების სწრაფვა ეანგბადისაქენ, ე. ი. სხვანაირად, მით მეტია ამ ელემენტის განეანგვის უნარიანობა.

4. 2400K-ზე ეანგბადისაქენ სწრაფვის უნარის კლების მიხედვით ელემენტები შეიძლება განლაგდეს შემდეგ რიგად:

C, Al, Ti, Si, Mn, Fe, Ni.

ელემენტების განლაგება გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის ეარღნით ნახშირბადის დეეანგვის უნარი ეცემა, ხოლო დაბალ ტემპერატურულ პირობებში (ფოლადის გამყარების ტემპერატურის მახლობლად, მაგალითად, ~1700 K) შედარებით ენერგიულ განმეანგეულებად გვეკლინება ალუმინი, ტიტანი და სილიციუმი. აქედან გამოზღინარე შეგვიძლია შევადფასოთ ეანგბადთან ნების-



ნახ. IV.3. თაქრეულა ეანგეულების დისოციაციის დრეკადობის ლოგარითმის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

მიერი ელემენტის სწრაფვა და მის ზოხედვით ვიზჯელოთ ზათი ნაერთის ქანვეულის სიმტკიცეზე.

განვიხილოთ ქანვეულის წარმოქმნა დღსოციაციის იგივე (IV.2) რეაქცია, როცა წარმოქმნება ხსნარი. ასეთი რეაქციის წონასწორობის მუღმევა, როგორც ვთქვით, გაზოსაქება (IV.3) ნინიშენლით. ამ გაზოსახულებიდან ხსნარში MeO-ს დისოციაციის დრეკადობა იქნება

$$p_{O_2, p} = K_p \frac{a_{MeO}^2}{a_{Me}^2} \quad (IV.6)$$

რადგანაც $K_p = p_{O_2}$, მივიღებთ

$$p_{O_2, p} = p_{O_2} \frac{a_{MeO}^2}{a_{Me}^2}$$

ამასთან, თუ ხსნარი გაჯერებულია MeO-თი, მაშინ $a_{MeO} \approx 1$ და გაზოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$p_{O_2, p} = \frac{p_{O_2}}{a_{Me}^2} \quad (IV.7)$$

ამრიგად, ხსნარში მყოფ ქანვეულის დისოციაციის დრეკადობა ($p_{O_2, p}$) დამოკიდებულია არა მარტო ქანვეულის ბუნებასა და ტემპერატურაზე, არამედ აქტივობის სიდიდეზეც, ანუ ხსნარში აღებული ელემენტის კონცენტრაციაზე. ელემენტის აქტიურობის სიდიდის ზრდა იწვევს მისი ქანვეულის დისოციაციის დრეკადობის შემცირებასა და, შესაბამისად, ქანვეულის სიმტკიცის ზრდას. ამიტომ, თუ შევიტანთ თხევად ლითონში განმგანგველების დიდ რაოდენობას, ამით ხელს შევეუწყობთ ქანვეულში ქანგბადის სრულყოფილ მმას.

§ IV.2. რკინის ქანვეულების გარდაქმნები და რკინა-ქანგბადის ხინთემის ვღვრეგარემოხის დინამიკა

როგორც ცნობილია, რკინა წარმოქმნის 3 ქანვეულს, რომლებიც მღგრადია მაღალი ტემპერატურის პირობებში. მათი შედგენილობა ნაჩვენებია IV.1 ცხრილში.

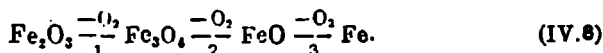
ც ს რ ი ლ IV.1

რკინის ქანვეულები და მათი შედგენილობა

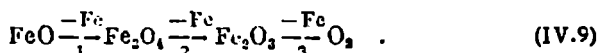
| რკინის ქანვეულები | ქანვეულის შედგენილობა | | | |
|--|-----------------------|------|-----------|-------|
| | ატომური, % | | წონითი, % | |
| | Fe | O | Fe | O |
| FeO | 50,0 | 50,0 | 77,72 | 22,28 |
| Fe ₂ O ₁ | 42,9 | 57,2 | 72,36 | 27,64 |
| Fe ₃ O ₂ | 40,0 | 60,0 | 69,94 | 30,06 |

უფრო სრულად რომ წარმოვიდგინოთ, ვიუსტიტი არის რკინის დაბალი ეანგეული, სადაც რკინის ფარდობა ეანგებადთან ერთს არ აღწევს. ეს გამოწვეულია ვიუსტიტის გისოსში რკინის იონების ვაკანსიების რაოდენობის ცვლილებით. ამიტომ ვიუსტიტის ფორმულა ზოგადად ასე განისაზღვრება. სიმარტივისათვის მიღებულია დაშვება, რომ რკინის დაბალ ეანგეულში მიიღწევა სტექიომეტრიული ფარდობა $Fe:O=1$.

თუ ორი რომელიმე ნივთიერება წარმოქმნის რამდენიმე ნაერთს ეანგებადთან, ანუ ეანგეულს, მაშინ რეკვიის განიღვრისათვის საჭიროა ვიხელმძღვანელოთ თანამიმდევრული გარდაქმნის პრინციპით, რომელიც ა. ბაიკოვა შემდგენიარად ჩამოაყალიბა: ქიმიური გარდაქმნები მიმდინარეობს თანამიმდევრულად, ნახტომებით და გაივლის ყველა იმ ქიმიურ ნაერთს, რომლებიც შესაძლოა არსებობდეს შოკემულ სისტემაში. რკინის ეანგეულებისათვის გაშვებულია გარდაქმნის ორი შესაძლო სქემა. ერთი მათგანი ითვლისწინებს თანამიმდევრულ დისოციაციას მაღალი ეანგეულიდან დაბლისაკენ, ეანგებადის მოცილებით

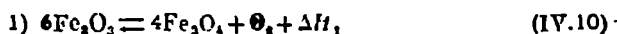


დისოციაციის ამ სქემას შეეთანადება შედარებით მაღალი ტემპერატურა. მეორე სქემის მიხედვით დაბალი ეანგეულიდან მაღლისაკენ გარდაქმნები ხორციელდება რკინის მოცილებით



დისოციაციის ამ სქემას შეეთანადება დაბალი ტემპერატურა.

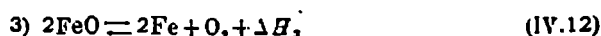
პირველი სქემის მიხედვით მაღალ ტემპერატურის პირობებში ეანგებადის მოცილებით რკინის ეანგეულების გარდაქმნები შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი რეაქციებით:



$$\Delta H_{298(1)}^0 = 458870 \text{ ჯ (109600 კალ);}$$

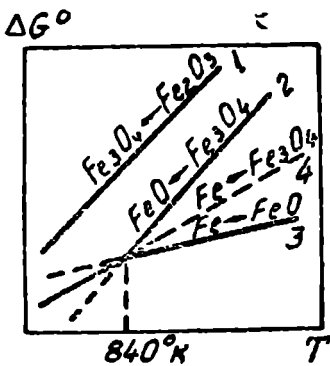


$$\Delta H_{298(2)}^0 = 639740 \text{ ჯ (152600 კალ);}$$



$$\Delta H_{298(3)}^0 = 534230 \text{ ჯ (126900 კალ).}$$

რეაქციის ალბათობა და ეანგეულების სამტკიცე შეფასდება ეანგეულის წარმოქმნის რეაქციის ΔG^0 -ის სიდიდით. მათი ტემპერატურულ ფუნქციები გამოისახება სწორი მონაკვეთებით, რომლებიც ტემპერატურის ღერძთან ქნის სხვადასხვა სიდიდის კუთხეს (ნახ. IV.4). ამის გამო ეს მრუდები იკვეთება და კანალადება დაახლოებით 570°C ზემო ან ქვემო არეში. Fe_3O_4 -იდან Fe_2O_3 ის წარმოქმნის ნრული მოთავსებულია 570°C -ის ზემო არეში, ე. ი. დიაკრაპის ზემო ნაწილში. ეს ფაქტი მოწმობს Fe_2O_3 -ს წარმოქმნისას იზობარული პოტენციალის მცირე კლებას. ამ ეანგეულას შედარებით მაღალ ეან-



ნახ. IV.4. რკინის ეანგველების წარმოქმნის ΔG° -ს ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

რეაქციის მიმდინარეობის ალბათობა, საჭიროა მე-3 რეაქციის შევადაროთ მე-4 რეაქცია, რომელშიაც აგრეთვე მონაწილეობს Fe და O_2 , მხოლოდ FeO-ს წარმოქმნით. ამ შედარების შედეგად ვრწმუნდებით, რომ Fe-ს რეაგირება ეანგბადთან მთლიანად მთავრდება FeO-ს წარმოქმნით, რომელიც შედარებით მდგრადია, ვიდრე Fe_3O_4 . ეს გამორიცხავს მე-4 რეაქციით გარდაქმნის პროცესის სტადიას. მხოლოდ მაღალი ტემპერატურის პირობებში შესაძლებელია Fe_3O_4 დისოციაციით FeO გარდაქმნა. $570^\circ C$ ტემპერატურის ქვემოთ რჩება Fe_3O_4 -ის წარმოქმნის მრუდი, რომელიც ეთანადება ბირველ რეაქციას. მის ქვემოთ კი მოთავსებულია ΔG° მრუდის ნაწილი, რომელიც გამოსახავს Fe და O_2 -დან FeO-ს წარმოქმნას.

გარდა ამისა, დიფრაქციის უკიდურეს ქვედა ნაწილში მოცემულია მე 4 რეაქციის მონაკვეთი, რომელზედაც ნახვენებია აგრეთვე Fe და O_2 ურთიერთ-რეაგირება, ოღონდ Fe_3O_4 -ის წარმოქმნით. Fe_3O_4 -ის წარმოქმნისას ΔG° -ის შესამჩნევი კლება და აღნიშნული ნაერთის მაღალი სიმდგრადე, შედარებით FeO-ს სიმდგრადესთან, გამორიცხავს FeO-ს წარმოქმნისა და მისი მონაწილეობით რეაქციის მიმდინარეობის შესაძლებლობას. ამავ მიზეზით წარმოუდგენელია მე-2 რეაქციით FeO-დან Fe_3O_4 -ის წარმოქმნა. ამგვარად, დაბალი ტემპერატურის პირობებში FeO თერმოდინამიკურად არამდგრადია და გარდაიქმნება Fe_3O_4 -ად



ეს რეაქცია გამოსახავს დაბალი ეანგველის დისოციაციის რკინის მოცილებით. $570^\circ C$ ტემპერატურის მაქსიმალურ მრუდების გადაკვეთის წერტილში მიიღწევა Fe_3O_4 და FeO-ს რკინისა და ეანგბადთან ერთდროული წონასწორობა. ამ შემთხვევაში გვაქვს 4 ფაზა და 2 კომპონენტი, რის გამოც სისტემა ნონ-ვარიანტულია

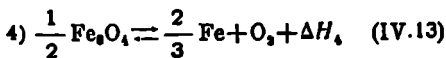
$$C = K - \Phi + 2 = 2 - 4 + 2 = 0.$$

დაბალ ტემპერატურულ პირობებში FeO მთლიანად გარდაიქმნება. ამ ნაერთის არამდგრადობის გამო. უშუალოდ FeO-სა და O_2 მონაწილეობით, შესაძლებელი ხდება Fe_3O_4 ის წარმოქმნა (IV.13) რეაქციით. ამ რეაქციისათვის

გბადის პოტენციალს, დაბალ სიმტკიცესა და მის შედარებით თბილ დისოციაციას.

აღნიშნული მრუდის ქვემოთ მოთავსებულია მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს FeO-დან Fe_3O_4 -ის წარმოქმნას. ეს პროცესი ხასიათდება ΔG° -ის კლებადობით და ეანგველის სიმტკიცის ზრდით.

ამ რეაქციის შესაძლოა კონკურენციას ეწვედეს Fe და O_2 -დან Fe_3O_4 -ის წარმოქმნის რეაქცია. ეს უკანასკნელი რეაქცია წინასთან შედარებით ხასიათდება ΔG° -ის შესამჩნევი კლებით.



$$\Delta H_{298(1)}^\circ = 560,6 \text{ კკ} (133,9 \text{ კკალ}).$$

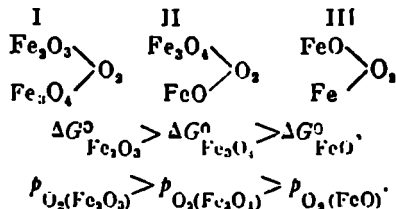
რომ შევადაროთ ასეთი გარდაქმნის

თერმოდინამიკური მონაცემებს წარმოადგენს მე-2 და მე-3 რეაქციების საშუალო სიდიდეები

$$\Delta H_4 = \frac{1}{4} (\Delta H_3 - 3\Delta H_2),$$

$$\Delta G_4^0 = \frac{1}{4} (\Delta G_3^0 - 3\Delta G_2^0).$$

ამრიგად, Fe—O სისტემაში მიმდინარე შესაძლებელი რეაქციების თერმოდინამიკური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყოველ ქანგეულს აქვს წარმოქმნის საკუთარი ΔG^0 სიდიდე მისი შესაბამისი სიმდგრადის მახასიათებლები. 570°C ტემპერატურის ზემოთ ქანგეულების გარდაქმნა ხდება ყველა შესაძლო საფეხურის გავლით — მათი თვისებების თანაშიმღებრული ცვლილებებით

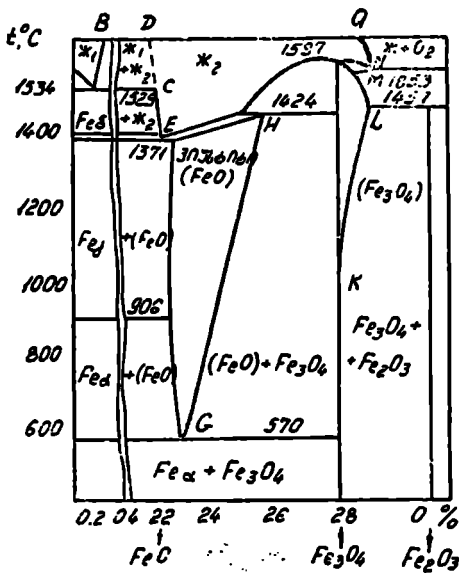


570°C ტემპერატურის ქვემოთ წარმოიქმნება ქანგეულების მდგრადობის სხვა მიმდევრობა და გარდაქმნის ახალი — IV^ა საფეხური, რომელიც გამოირჩევა FeO-ს რეაგირებას. რკინის ქანგის დაშლისთანავე დისოციაციას განიცდის რკინის მაგნიტური ქანგი. რომლის დროსაც რკინის ქვექანგის წარმოქმნელად (I და IV^ა რეაქციები) გაზოიყოფა რკინა. მოყვანილი დისოციაციის ყველა რეაქცია, რომლებსაც ახასიათებს ქანგბადის გამოყოფა, მიმდინარეობს სითბოს შთანთქმითა და სისტემის $\Delta H_{\text{სისტ}}^0$ ზრდით.

ზემოაღნიშნულის შედეგად, ა. ბაიკოვი მიუთითებს, რომ ერთნაირ პირობებში ქანგეულის დისოციაცია (რუმელსაც თან ახლავს რკინის მოცილება) შესაძლოა გამოწვეულია მისი ვალენტობის გაზრდით. გარდა ამისა, ტემპერატურის ზრდის შესაბამისად მატულობს იმ ნაერთის მდგრადობა, რომელსაც აქვს შედარებით მარტივი სტრუქტურა, ხოლო ტემპერატურის შემცირება იწვევს ნაერთის ვალენტობის გადიდებასა და ნაერთის გართულებას. ანალოგიური ფაქტების განზოგადების შედეგად ა. ბაიკოვმა ჩამოაყალიბა შემდეგი წესი: ჩვეულებრივად, ნაერთის დისოციაცია მიმდინარეობს იმ ელემენტის გამოყოფით, რომლითაც ეს ნაერთი უფრო მდიდარია.

განვიხილოთ რკინა ქანგბადის (Fe—O) სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა, რომლის საშუალებითაც შესაძლოა განვსაზღვროთ წონასწორული სისტემების ფაზური შედგენილობა კომპონენტების ნებისმიერ შეფარდებასა (მოცემულ შემთხვევაში რკინასა და ქანგბადის) და ტემპერატურაზე. ამ შემთხვევაში იცვლება ქანგეულების ფაზათა თვისებები და მათი არსებობის ზღვრები (ნახ. IV.5)

ვერტიკალური ხაზები თითქმის უანლოვდება მაგნეტიტის (Fe₃O₄) და ჰემატიტის (Fe₂O₃) შედგენილობებს. ტემპერატურის აწევით Fe₃O₄-ში გარკვეულ ზღვრამდე დამატებით იხსნება ქანგბადი, რომელიც დიაგრამაზე განიხსნება KL და LM ხაზებით. ლიაგრამაზე არ არის FeO-ს შემადგენლობის შესაბამისი ვერტიკალური ხაზები. სამაგიეროდ აქ მოცემულია ვიუსტიტის



ნახ. IV.3. Fe—O სისტემის ფაზური დიაგრამა.

შემცველობის ზღვარი არ იცვლება. ვიუსტიტის არსებობის ქვემო ზღვარს წარმოადგენს 560–570°C ტემპერატურა, რომლის ქვევითაც რკინის ქვექანგს არ შეუძლია არსებობა.

დიაგრამაზე შეინიშნება აგრეთვე რკინაში ქანგბადის მყარი ხსნარის მცირე უბანი, რომელიც შემოფარგლულია პუნქტებით.

რკინის ერთი მოლფიკაციიდან მეორეში გადასვლის შემთხვევაში შეიმჩნევა ქანგბადის ხსნადობის მცირე ცვლილება, რაც ტემპერატურის დაცემით რამდენადმე მცირდება. ქანგბადის ხსნადობა δ —რკინაში აღწევს 0,005% (მა.სა) სიდიდეს, ხოლო γ —რკინაში ხსნადობა რამდენადმე მცირდება. γ —რკინის α -ად გარდაქმნის შემთხვევაში მყარ ლითონში ქანგბადის ხსნადობა იზრდება. 900°C-ზე ქანგბადის ხსნადობა α —რკინაში უახლოვდება 0,03% და მცირდება ტემპერატურის შემცირებით. აღნიშნულზე მსჯელობენ ხსნადობის განტოლებით

$$|\xi[\%O]_{\alpha} = -\frac{3500}{T} + 1,46. \quad (IV.14)$$

ქანგბადის ხსნადობა მყარ რკინაში დიდად არის დამოკიდებული ამ უქანასკნელში არსებული სხვადასხვა მიწარეების ოდენობაზე. რაც უფრო სუფთაა რკინა, მით უფრო მცირეა მასში ქანგბადის ხსნადობა. რკინის დნობის ტემპერატურა რამდენადმე ეცემა მასში გახსნილი ქანგბადის გამო, რომლის შემცველობა რკინაში აღწევს 0.16%. ტემპერატურის აწევა საგრძნობლად ზრდის მყარ რკინაში ქანგბადის ხსნადობის ზღვარს (AB მრუდი). უქანასკნელი ერთგვარად ზღუდავს ცვლადი კონცენტრაციის მქონე თხევად რკინაში ქანგბადის ხსნადობის χ_{K_1} არეს. გვერდითი განზრეუების არე გამოსახავს

მთელი არე—ქანგბადის მყარი ხსნარი რკინის ქვექანგში (FeO).

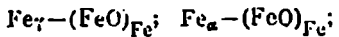
დამატებითი დაქანგვის შედეგად ვიუსტიტის გისოსში ვაკანტური ოდგილები შესაძლოა შეავსონ ქანგბადისა და სამვალენტო რკინის იონებმა. ვიუსტიტი ცვლადი შედგენილობის ხსნარია, მისი ფორმულა ზოგადად გამოისახება ასე: Fe_xO , სადაც $x < 1$ და მის ზღვრულ შედგენილობას და მნიშვნელობას შეესაბამება მოსაზრებე მრუდები. ერთი მათგანი CH გამოსახავს ვიუსტიტში ქანგბადის ზღვრულ შემცველობას, რომელიც ტემპერატურის ზრდით იზრდება. FG ხაზი გამოსახავს ქანგბადის მინიმალურ ან რკინის მაქსიმალურ შემცველობას.

ტემპერატურის ცვლილებით

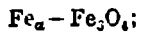
ქანგბადით ზღერულად გაჯერებული თხევადი რკინისა χ_1 და ქანგბადის მონიშნულ ოდენობის შემცველი გამდნარი წილის χ_2 არსებობას წონასწორულ მდგომარეობაში. ვიუსტიტი ქანგბადის ზრდა იწვევს დნობის ტემპერატურის გაზრდას 1370 C-იდან 1420 C-მდე და მის გადასვლას გამდნარ წილაში. რკინის მაგნიტური ქანგის დნობის შედარებით მაღალ ტემპერატურას შეეთანაღება ლიკვიდუსის ხაზზე მკვეთრად გამოსახულა მაქსიმუმი. როგორც ვიუსტიტი, ასევე Fe_3O_4 დნობისას წარმოქმნის ქანგეულების ერთგვაროვან გამდნარ ხსნარს (χ_3), რომელიც ქანგბადს ცვლადი ოდენობით შეიცავს. ასეთი წილის ხსნარის არსებობის არე, ერთი ნაზივ შემოუარგლულია თხევადი ვიუსტიტის $C1$ ხაზით ქანგბადის მინიშნული შედგენილობით, ხოლო, მეორე მხრივ, — NQ ხაზით, რომელიც გამოსახავს თხევად წილაში ქანგბადის მაქსიმალურ შედგენილობას აირადი ქანგბადის თანხლებით. დადგენილია, რომ თხევად რკინაში ქანგბადის ხსნადობა მაღალია და ტემპერატურის ზრდით შემდეგი დამოკიდებულებით იზრდება:

$$|gl \% O|_{max} = -\frac{6320}{T} + 2,734. \quad (IV.15)$$

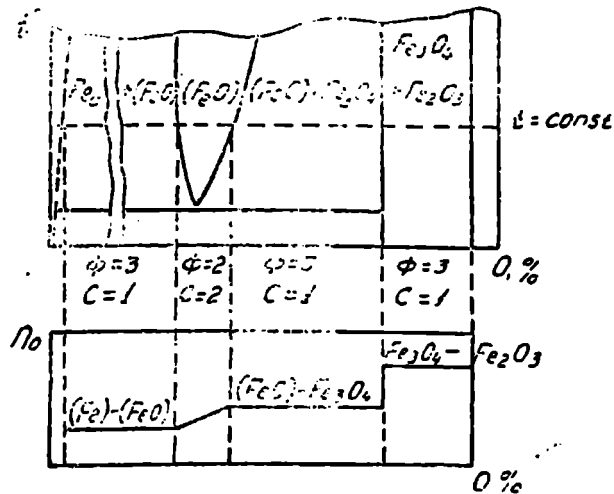
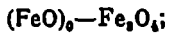
გარდა ზემოაღნიშნულისა, დიაგრამაზე მოცემულია აირად ქანგბადთან წონასწორობაში მყოფი კიდევ ორი კონდენსირებული ფაზის შემდეგი არეები: რკინის სხვადასხვა მოდიფიკაციაში ქანგბადის მყარი ხსნარი და ვიუსტიტი რომელიც შეიცავს მცირე ქანგბადს ან მაქსიმალური ოდენობით რკინას



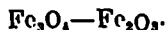
— α - რკინაში ქანგბადის მყარი ხსნარი და მაგნეტიტი (560–570°C)



— ვიუსტიტი და მაგნეტიტი ქანგბადის ზღერულად მაღალი ოდენობით



ნახ. IV.6. ქანგბადის პოტენციალის დონე რკინის ქანგეულების სხვადასხვა ფაზისათვის.



მაღალი ტემპერატურის პირობებში გამოიყოფა, აგრეთვე, მყარი და თხევადი ფაზების წონასწორობის არეები.

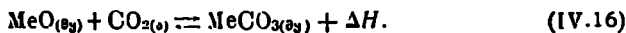
ამგვარად, $\text{Fe} - \text{O}$ მდგომარეობის დიაგრამიდან შესაძლებელია რკინის ქანგეულების ფაზებისა და მათი არსებობის ფორმების განსაზღვრა გარკვეულ პირობებში. რომ თავიდანვე ვიქონიოთ წარმოდგენა რკინის ქანგეულების თანამიმდევრულ გარდაქმნებსა და დისოციაცია-წარმოქმნის რეაქციებზე, საკიროა დავადგინოთ მდგომარეობის დიაგრამის ყოველი არისათვის თავისუფლების ხარისხის რიცხვი და გამოვაყვლინოთ ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ ქანგეულების გარკვეული ფაზების არსებობას და ქანგბადის პოტენციალის ღონეს (ნახ. IV.6).

§ IV. 3. კარბონატების წარმოქმნა და დისოციაცია

კარბონატების წარმოქმნასა და დისოციაციის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მეტალურგიაში. ამ პროცესებს თან ახლავს ერთი მყარი სხეულის გაქრობა მეორის წარმოქმნით. მაგალითად, გახურებისას კარბონატები იშლება ქანგეულისა და ნახშირორჟანგის წარმოქმნით, რომლებიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ მეტალურგიული პროცესების მიმდინარეობაში.

რკინის, მანგანუმის, კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატები შედის რკინისა და მანგანუმის ზოგიერთი მადნების შედგენილობაში. ამიტომ მათი წარმოქმნისა და დისოციაციის შესწავლას საკიროა დაეთმოს განსაკუთრებული ადგილი.

განვიხილოთ ორვალენტოვანი ლითონის კარბონატების წარმოქმნის ზოგადი რეაქცია



პროცესი ევზოაუერულია. შებრუნებული რეაქცია, ანუ, როგორც ვუწოდებთ, დისოციაცია—ენდოთერმულია და მიმდინარეობს სითბოს წთანქმით.

განვიხილოთ ისეთი შენთხვევა, როცა ხსნარი არ წარმოიქმნება, ე. ი. როდესაც ქანგეული და კარბონატი წარმოადგენს დამოუკიდებელ სუფთა ფაზებს. მათი საერთო რიცხვი სამის ტოლია; სისტემა ორკომპონენტიანია (3 ნივთიერებით) და აქვს ერთი რეაქციის განტოლება, ე. ი. სისტემა ერთ ვარიანტიანია

$$C = 2 + 2 - 3 = 1$$

და მასში ნახშირორჟანგის წონასწოვრული წნევა დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურისაგან: $p_{\text{CO}_2} = \varphi(T)$. აღებული რეაქციის წონასწორობის მუდმივა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$K_p = \frac{a_{\text{MeCO}_3}}{a_{\text{MeO}} \cdot p_{\text{CO}_2}}. \quad (\text{IV.17})$$

როგორც ვიცით, სუფთა მყარი ნივთიერებების აქტიობა დაახლოებით ერთის ტოლია, ე. ი. $a_{\text{MeCO}_3} \approx a_{\text{MeO}} = 1$, მაშინ

$$K_p = \frac{1}{p_{\text{CO}_2}} = \varphi(T) \quad (\text{IV.18})$$

$$p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)} = \frac{1}{K_p} = \varphi(T). \quad (\text{IV.19})$$

კარბონატების წარმოქმნის ან დაშლის რეაქციებში ნახშირორჟანგის წონასწორულ პარციალურ წნევას $p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}$ დისოციაციის დრეკადობა ეწოდება. თუ პროცესის მიმდინარეობისას წარმოიქმნება ხსნარი, მაშინ ის წარმოადგენს მხოლოდ ტემპერატურის ფუნქციას და ეკვივალენტურია რეაქციის წონასწორობის მუდმივასი. ისევე, როგორც განგეულების წარმოქმნა-დისოციაციაში, აქაც კარბონატების მდგრადობის ან CO_2 -კენ განგეულების სწრაფვის შესაფასებლად გამოიყენება იზობარული პოტენციალის ცვლილება

$$(-\Delta G^\circ) = RT \ln K_p = -RT \ln p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)} \quad (\text{IV.20})$$

ან დისოციაციის დრეკადობა. (IV.20) განტოლებიდან ჩანს, რომ რაც მეტია აბსოლუტური $(- \Delta G)$ და ნაკლებია $p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}$, მით უფრო მდგრადია კარბონატი, განგეულის სწრაფვა CO_2 -კენ მაღალია და პირიქით. მოცემულ ტემპერატურაზე მდგრადობის შემცირებით კარბონატები სრულყოფილად დისოცირდება და წონასწორობის მიღწევისას CO_2 -ის პარციალური წნევა იზრდება. ამავე დროს ტემპერატურის ზრდით განხილული ეგზოთერმული რეაქციის წონასწორული მუდმივას მნიშვნელობა დაბლა ეცემა, ხოლო დისოციაციის დრეკადობა—იზრდება, ე. ი. კარბონატის მდგრადობა ეცემა.

(IV.16) რეაქციის მიმართულებაზე მსჯელობენ იზობარული პოტენციალის ნიშნის მიხედვით, რომელიც შექადგი განტოლებით გამოისახება:

$$\Delta G = RT (\ln p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)} - \ln p_{\text{CO}_2(\text{ფ})}). \quad (\text{IV.21})$$

ამასთან, (IV.18) განტოლება გამოისახება $K_p = \frac{1}{p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}}$ სახით.

განგეულების წარმოქმნა-დისოციაციის პროცესის ანალიზურად კარბონატების წარმოქმნა-დისოციაცია პროცესშიდაც არის სამი შემთხვევა:

1. $p_{\text{CO}_2(\text{ფ})} > p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}$, ე. ი. წონასწორულთან შედარებით სისტემაში

არის CO_2 ის კარბი კონცენტრაცია. ამასთან, $\Delta G < 0$ და პროცესი მხოლოდ კარბონატის წარმოქმნის მიმართულე-ბით მიმდინარეობს;

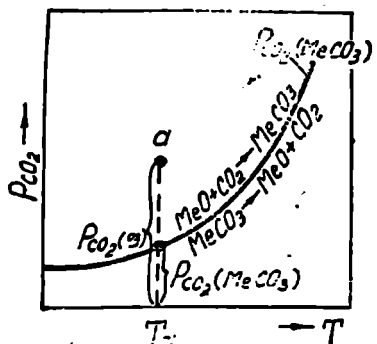
2. $p_{\text{CO}_2(\text{ფ})} < p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}$, ე. ი. წონასწორულთან შედარებით სისტემაში

არის CO_2 ის ნაკლები კონცენტრაცია. ამასთან, $\Delta G > 0$ და პროცესი მხოლოდ კარბონატის დისოციაციის მიმართულებით მიმდინარეობს;

3. $p_{\text{CO}_2(\text{ფ})} = p_{\text{CO}_2(\text{MeCO}_2)}$, ე. ი. სის-

ტემა წონასწორობაშია და $\Delta G = 0$.

IV.7 ნახაზზე მოცემულია კარბონატების წარმოქმნის ან დისოციაციის რეაქციის მიმართულების



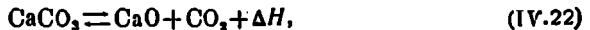
ნახ. IV.7 კარბონატების წარმოქმნის ან დისოციაციის რეაქციის მიმართულების განმსაზღვრელი გრაფიკი.

განსახილველი გრაფიკი აირში CO_2 -ის ნებისმიერ პარციალურ წნევასა და ტემპერატურაზე. თუ აღნიშნულ გრაფიკს შევადარებთ IV.2. ნახაზს, დავინახავთ, რომ ორდინატზე რეაქციის წონასწორობის მუდმივას მაგივრად მოცემულია კარბონატში CO_2 ის პარციალური წნევა, რომელიც, (IV.20) განტოლების თანახმად, რეაქციის წონასწორობის მუდმივას შებრუნებულ სიდიდეს წარმოადგენს. უშუალოდ მრუდზე განლაგებული წერტილები შეესაბამება კარბონატის წარმოქმნა დისოციაციის პროცესის წონასწორობულ მდგომარეობას ($p_{\text{CO}_2(\text{გ})} = p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)}$), ხოლო წერტილები, რომლებიც მრუდს გარეთ მდებარეობენ—აირწონასწორობულ მდგომარეობას: მრუდს ზევით მოთავსებული არე (მაგალითად, წერტილი), სადაც $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} > p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)}$, შეესაბამება კარბონატის წარმოქმნის პროცესს; მრუდს ქვევით მოთავსებული არე, სადაც $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} < p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)}$, შეესაბამება კარბონატის დისოციაციის პროცესს.

ამრიგად, მოცემული გრაფიკის საშუალებით შეგვიძლია მოვინახოთ აირის შედგენილობა და ტემპერატურა, რომლის დროსაც შესაძლებელია ნებისმიერი კარბონატის დისოციაცია ან წარმოქმნა.

ზოგი შემთხვევაში საჭიროა კარბონატების წარმოქმნის ან დისოციაციის პროცესის მიმართულების განსაზღვრა მუდმივ შედგენილობის აირად ფაზაში. მაგალითად, ჰაერის ატმოსფეროში. ამ შემთხვევაში $p_{\text{CO}_2(\text{გ})}$ — მუდმივი სიდიდეა. აქედან ჩანს, რომ სისტემის წონასწორობულ მდგომარეობას, როცა $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} = p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)} = \text{const}$, შეესაბამება ნხოლოდ ერთი T_r ტემპერატურა, სხვა რომელიმე ტემპერატურაზე წონასწორობის მიღწევა შეუძლებელია. თუ $T_1 > T_r$, მაშინ $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} < p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)}$ და პროცესი მხოლოდ კარბონატის დისოციაციით მიმდინარეობს; როცა $T_2 < T_r$, მაშინ $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} > p_{\text{CO}_2(\text{მეCO}_2)}$ და პროცესი შებრუნებული მიმართულებით მიმდინარეობს. T_r ტემპერატურას კარბონატის დაშლის საწყის ტემპერატურას უწოდებენ (როცა აირად ფაზაში $p_{\text{CO}_2(\text{გ})} = \text{const}$) და აღინიშნება $T_{\text{შ.ს.}}$. ეს უკანასკნელი აირში $p_{\text{CO}_2(\text{გ})}$ ის ზრდასთან ერთად პირდაპირპროპორციულად იზრდება.

მაგალითისათვის განვიხილოთ კალციუმის კარბონატის დისოციაციის რეაქცია



რომელიც სრულიად ანალოგიურია ქანგულელების დისოციაციის რეაქციისა. რეაქცია ენდოთერმულია და სითბოს შთანქმით მიმდინარეობს:

$$\Delta H_{298}^\circ = 178020 \text{ ჯ (42520 კალ).}$$

თუ რეაგირებს დამოუკიდებელი სუფთა მყარი ფაზები, მაშინ აირადი ფაზის წონასწორობი წნევა, რომელიც გამოსახავს კარბონატის მდგრადობას, განსაზღვრება მხოლოდ ტემპერატურით $p_{\text{CO}_2} = \varphi(T)$. იმ შემთხვევაში, თუ რეაქცია მიმდინარეობს ხსნარის წარმოქმნით, მაშინ p_{CO_2} დამოკიდებული იქნება CO_2 -ის კონცენტრაციაზეც (N):

$$p_{\text{CO}_2} = \varphi(T, N) = K_p.$$

ΔG° და $\lg p_{\text{CO}_2}$ ის თეორიული განგარიშება შეიძლება (IV.1) და

(IV.5) გამოსახულებებით. კალციუმის კარბონატის დისოციაციის პროცესისათვის ს. როსტოვეევა შემოგეთავაზა შეფარდება, რომელიც კარგად ემთხვევა ცდის მონაცემებს

$$\Delta G_{298}^{\circ} = -170577 + 144,19 T, \text{კალ.} \quad (IV.23)$$

$$\Delta G_{298}^{\circ} = -40825 + 34,51 T, \text{კალ.}$$

და

$$\lg p_{CO_2} = -\frac{8920}{T} + 7,54. \quad (IV.24)$$

მრავალი ცდისა და თეორიული ანგარიშების მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ კარბონატების სიმდგრადე ვაცილებით დაბალია ენგელ-ლევისაზე. კარბონატების დისოციაციის დრეკადობა ცდის მეშვეობით მალალი სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს.

როგორც IV.8 ნახაზი გვანიშნებს, $CaCO_3$ -ის დისოციაციის მრუდი, ისევე როგორც სხვა კარბონატებისა, მაღალ ტემპერატურებში ხასიათდება $CaCO_3$ -ის წონასწორული წნევის სწრაფი ზრდით. უკვე $700^{\circ}C$ -ზე $CaCO_3$ -ის დისოციაციის დრეკადობა შესაჩნვეი სიდიდეა და $900^{\circ}C$ მახლობლად უთანაბრდება $1,023 \cdot 10^5$ ნიუტონი/მ² წნევას (ანუ 1 ატმ). CO_2 -ის ზღვრული წნევები, რომლებიც გამოსახულია მრუდებით, წარმოადგენს CO_2 -ის CaO -თან ნორმალურ სწრაფვას ($\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_p = -kT \ln p_{CO_2}$).

მრუდის გარეთ მდებარე ნებისმიერი წერტილი გვიჩვენებს შესაძლო ვარაუკუნებს, რომლის მიმართულება და დამთავრების სისრულე გამოისახება ΔG -ის მთლიანი ცვლილებით

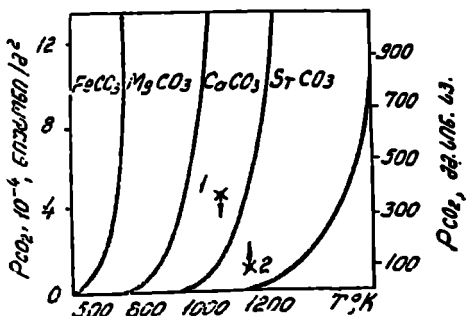
$$\Delta G = RT (\ln p_{CO_2(l)} - \ln p_{CO_2}), \quad (IV.25)$$

სადაც $p_{CO_2(l)}$ არის სისტემაში საწყისი წნევა; p_{CO_2} - T ტემპერატურაზე წონასწორული წნევა.

სისტემის მოცემულ საწყის მდგომარეობას, რომელიც 1 წერტილითაა წარმოდგენილი გრაფიკზე ($p_{CO_2(l)} > p_{CO_2}$), შესაბამება $CaCO_3$ -ის წარმოქმნის პირობა, ხოლო სისტემის მეორე მოცემულ მდგომარეობას, რომელიც მე-2 წერტილითაა წარმოდგენილი ($p_{CO_2(l)} < p_{CO_2}$; $\Delta G < 0$), შესაბამება $CaCO_3$ -ის დისოციაციის პირობა.

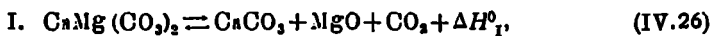
კალციუმის კარბონატის დაშლა ინტენსიურად ვითარდება გარკვეული ტემპერატურის ზევით, როცა დისოციაციის დრეკადობა აჭარბებს ატმოსფერულ საერთო წნევას.

თერმოგრაფული გამოკვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ დოლომიტის დისოციაცია მიმდინარეობს



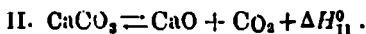
ნახ. IV.8. ტემპერატურის გველნა კარბონატების დისოციაციის დრეკადობაზე.

ორ საუბეხურად. პირველ საუბეხურზე წარმოებს დოლომიტის დაშლა CaCO_3 -ის გამოყოფით



$$\Delta H_1^0 = 121370 \text{ ჯ (28990 კალ).}$$

მეორე საუბეხურზე მიმდინარეობს მდგრადი კალციუმის კარბონატის დისოციაცია



პირველ საუბეხურზე პარალელურად წარმოებს კალციუმისა და მაგნიუმის ორმაგი ნახშირორჟანგი ნაერთის დისოციაცია, შემდეგი რეაქციით:

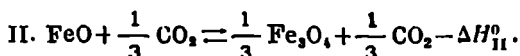


შედარებით უფრო რთულად მიმდინარეობს ორვალენტოვანი რკინის კარბონატის დისოციაცია.

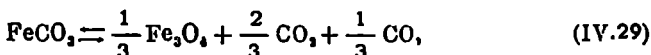


$$\Delta H_1^0 = 104000 \text{ ჯ (24840 კალ).}$$

წარმოქმნილი CO_2 იწვევს FeO -ს შემდგომ დაქანგვას



მთლიანი გარდაქმნა შესაძლოა წარმოვიდგინოთ შემდეგი ჯამური პროცესით



$$\Delta H_{111}^0 = 96550 \text{ ჯ (23060 კალ).}$$

FeO -ს დაქანგვის ეგზოთერმული რეაქციის მიმდინარეობა დაბლა წევს კარბონატის დისოციაციის ენდოთერმული რეაქციის ეფექტს.

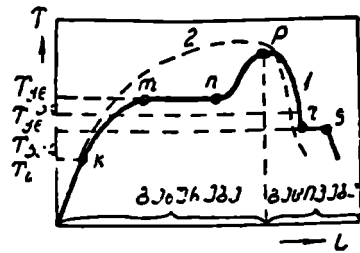
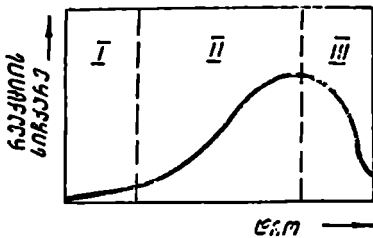
როგორც განვიხილეთ, კარბონატების დაშლასა და წარმოქმნას ახლავს ერთი მყარი სხეულის გაქრობა და მეორის წარმოქმნა. როდესაც საწყისი ნივთიერება მყარია, მაშინ მისი გარდაქმნა მიმდინარეობს, აგრეთვე, მყარი პროდუქტისა და აირადი ფაზის გამოყოფით. ასეთი რეაქციები ვითარდება ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე. საწყის სტადიაში პროცესის დაწყების სიძნელეს წარმოადგენს ახალი ფაზის ჩასახვა და ფაზათა გამყოფ ზედაპირების წარმოქმნა.

კარბონატების დაშლის შექანისში განვიხილოთ CaCO_3 -ის მაგალითზე. როგორც აღვნიშნეთ, CaCO_3 დისოციაცია მიმდინარეობს შექცევადი რეაქციით



რეაქცია მიმდინარეობს სითბოს შთანქმევით, რომელიც ტოლია $\Delta H_{111}^0 = -17820 \text{ ჯ (42520 კალ)}$. ამ რეაქციას შემდეგი სტადიები აქვს:

1. CO_2^- — ანიონის დაშლა მყარ ზედაპირზე CO_2 ადსორბირებული მოლეკულების წარმოქმნით: $\text{CO}_2^- \rightarrow \text{O}^{2-} \cdot \text{CO}_2(\text{ადს})$



ნახ. IV.9. კარბონატების დისოციაციის რეაქციის კინეტიკური დიაგრამა ($T = \text{const}$).

ნახ. IV.10. კარბონატის დისოციაციისა და წარმოქმნის თერმოდინამიკა: 1—ტემპერატურის ცვლილება რეაქციულ ფაზაში; 2—ტემპერატურის ცვლილება ლუმენში.

2. ამ მოლეკულების დესორბცია: $O^{2-} \cdot CO_{2(a.g)} \rightarrow O^{2-} + CO_{2(a.g)}$, ამ ორი სტადიის შედეგად კარბონატში რჩება წყვილი იონი O^{2-} და Ca^{2+} , რომლებიც თავდაპირველად განლაგდებიან $CaCO_3$ -ის კრისტალურ გისოსში, ხოლო შემდეგ კარბონატში წარმოქმნიან CaO -ის ხსნარს;

3. გაჯერებული ხსნარიდან ახალი ფაზის (CaO) კრისტალების წარმოქმნა და მათი ზრდა.

CaO სუსტად იხსნება კარბონატში. რეაქციის თანდათანობით მიმდინარეობისა და აღნიშნული იონების დაგროვების შედეგად ხსნარი სწრაფად გაჯერდება, რასაც შემდეგ გადაჯერება მოჰყვება. Ca^{2+} და O^{2-} იონების ჯგუფებს უკვე აღარ შეუძლიათ თავიანთი ძველი პოზიციების დიხსნას შენარჩუნება, ცდილობენ განცალკევდნენ და შექმნან ენეგეტიკულად უფრო ხელსაყრელი კონფიგურაცია მცირე იზობარული პოტენციალის მქონე CaO -ის კრისტალური გისოსის სახით. ამ დროს მიმდინარეობს გადაჯერებული ხსნარის დაშლა. ეს საშივე სტადია ერთადერთი წარმოადგენს კრისტალურ-ქიმიურ გარდაქმნას, რომლის დროსაც რეაქცია მიმდინარეობს კრისტალური გისოსის გადაკეთებით.

4. ნახშირორქანგის დიფუზია. პროცესის უწყვეტი მიმდინარეობისათვის საჭიროა დისოციაციის აირადი პროდუქტების თანდათანობითი მოცილება რეაქციის ზონიდან. წინააღმდეგ შემთხვევაში CO_2 -ის დაგროვებით რეაქცია შეწყდება. განვიხილოთ კარბონატების დისოციაციის რეაქციის კინეტიკური მრუდი (ნახ. IV.9).

I პერიოდში, რომელსაც ეწოდება ინდუქციური, ანუ ინკუბაციური, გარდაქმნები არსებითად არ შეიმჩნევა;

II პერიოდში გამოიკვეთება რეაქციის მიმდინარეობა მისი თანდათან აჩქარებით, რაც პერიოდის ბოლოს აღწევს ზრდის მაქსიმუმს. ამ პერიოდს ეწოდება ავტოკატალიზის, ანუ თვითაჩქარების, პერიოდი, როგორც კი იგი მაქსიმუმს მიაღწევს, სიჩქარე ეცემა და რეაქცია გადადის გასაშუალებულ ფრონტის პერიოდში (III პერიოდი).

განვიხილოთ $CaCO_3$ -ის დისოციაციის პროცესის თერმოდინამიკა (ნახ. IV.10). კარბონატების დაშლის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს $p_{CO_2(CaCO_3)} > p_{CO_2(ფ)}$, სადაც $p_{CO_2(CaCO_3)}$ აირის დისოციაციის დრეკადობა, $p_{CO_2(ფ)}$ — CO_2 აირად ნაქადში პარციალური წნევა.

აირადი ფაზის მუდმივი შედგენილობის შემთხვევაში ეს უტოლობა სრულდება T_3 (არაწონასწორული) ტემპერატურის ზევით. T_3 ქვევით კი კარბონატისა და ლუმის ტექნურატურა გაზურებისას იცვლება ერთმანეთის პარალელურად. სისტემისათვის განკუთვნილი სითბო იხარჯება მთლიანად ნივთიერების გახურებაზე. მრუდის K წერტილში, რომელიც ეთანადება T_3 , შეინიშნება გარდატეხა, რომლის შემდეგაც კარბონატის ტემპერატურა ჩამორჩება ლუმის ტემპერატურას. ეს მოწმობს იმას, რომ განკუთვნილი სითბო მთლიანად არ ხმარდება გახურებას. არამედ მისი ნაწილი იხარჯება დაწყებული ენდოთერმული რეაქციის მიმდინარეობისათვის. სანამ დისოციაციის დრეკადობა ნაკლებია აირადი ნარევის საერთო წნევაზე (p საერთო), გარდაქმნის საჩქარე მცირეა. m წერტილში, რომელიც ეთანადება კარბონატის ქიმიური დუღილის ტემპერატურას $T_{3,2}$ დისოციაციის დრეკადობა ცოლი ხდება საერთო წნევის და იწყება დაშლის პროცესის სწრაფი ზრდა, რაც შედეგია მიკროდიფუზიის გადასვლისა კონვექტიურში. CO_2 -ის მოცილება ხორციელდება არა მარტო ერთეული მოლეკულების გადაადგილებით, არამედ, ძირითად მიკრომოცულობების ნაშხვრეებიდან აირების გამოყოფით. ამ ტემპერატურაზე სითბო ხმარდება მხოლოდ რეაქციას. n წერტილში დაშლა პრაქტიკულად მთავრდება და შემდგომ მიმდინარეობს CaO -ს ფიზიკური გახურება (n უბანი). CaO -ს გაცივებისას CO_2 -ის არეში (როცა $p'_{CaO} = p'_{CO_2}$) წარმოებს შემ-

რუნებული პროცესი— $CaCO_3$ -ის წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქცია, ანუ კირის კარბონატისა. ამ პროცესს ეთანადება $T_{3,3}$ ტემპერატურა, რომლის დროსაც დისოციაციის დრეკადობა მცირდება და უთანაბრდება სისტემაში CO_2 -ს წნევას. აქაც (r მონაკვეთი) შეიმჩნევა ტემპერატურის შენელება

თუ p'_{CaO} საერთო წნევა გახურებისას ტოლია p'_{CO_2} გაცივების დროს,

მაშინ ქიმიური დუღილისა და კარბონატის საანგარიშო ტემპერატურა ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს. ცდების შედეგად დამტკიცებულია, რომ III შეჩერებას ეთანადება უფრო მაღალი ტემპერატურა ($T_{3,3}^6 \approx 918^\circ C$), ვიდრე r ($T_{3,3}^6 \approx 888^\circ C$) და ქიმიური დუღილის საანგარიშო ტემპერატურები ($T_{3,3}^6 \approx 910^\circ C$). ეს აიხსნება შემდეგით: $T_{3,3}^6$ განეკუთვნება შემთხვევას, როცა CaO და $CaCO_3$ მყარი ფაზები შედგება სწორი ფორმის მსხვილი კრისტალებისაგან. საერთოდ კი რეაქციის საგრძნობი გადაჯერების შედეგად იხალი ფაზა დასაწყისში წარმოიქმნება მცირედისპერსიული პატარა კრისტალების სახით.

$CaCO_3$ -ის დისოციაციის დროს დასაწყისში წარმოიქმნება CaO მცირედისპერსიული კრისტალები, რომლებიც დაბლა სცემენ დისოციაციის დრეკადობას. ასეთ პირობებში p_{CO_2} საერთო წნევის ან ქიმიური დუღილის სიდიდის ტოლი ხდება შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე. ვიდრე გაანგარიშებით მიღებული ($T_{3,3} > T_{3,3}^6$). დისოციაციის დამთავრების შემდეგ CaO -ს შემდგომი გახურება იწვევს რეკრისტალიზაციას (კრისტალების გამსხვილება) და აქტიურობის დაცემას. კარბონატის პერიოდში წარმოიქმნება $CaCO_3$ -ის მაღალ დისპერსიული კრისტალები, რომელთა დისოციაციის დრეკადობა გაზრდილია, ამიტომ $p_{CO_2}(CaCO_3) = p'_{CO_2(ფ)} = p'_{CaO}$ და ტემპერატურული შეყოვნება შეიმჩნევა, როცა $T_{3,3} < T_{3,3}^6$.

კარბონატების გარდაქმნა ქანგულებად მიმდინარეობს მყარი ნივთიერების მოლური მოცულობის ორ და მეტჯერ შემცირებით; უკუპროცესი კი პირიქით—მოლური მოცულობის ზრდით.

ქანგეულების ალდგენის თეროდინის საფუძვლები

§V. 1. ზოგადი წარმოდგენები

მეტალურგიაში ქანგეულების აღდგენა ეწოდება გარდაქმნის პროცესს, რომელსაც ახლავს მოცემული ქანგეულიდან აღმდგენების (C, CO, H₂, და ა. შ) მეშვეობით ქანგაჯის მოცილება და ლითონის გამოყოფა. ქიმიურა თვალსაზრისით, როგორც ცნობილია, აღდგენა წარმოადგენს ელემენტის ეალენტობის შეცვლებას. ყოველი აღდგენის პროცესი ერთდროულად არის აგრეთვე დაქანგვის პროცესიც, რადგანაც ქანგაჯი აღსადგენ ქანგეულიდან გადადის აღმდგენი ელემენტისაკენ და ქანგავს მას. მაგალითად, რეაქცია $FeO + C = Fe + CO$ ბრძმელ პროცესში განიხილება როგორც რკინის ქვექანგვის აღდგენის პროცესი, ხოლო ნარტენისაში—იგი გვევლინება როგორც თუჯიდან ნახშირბადის დაქანგვის პროცესი.

განვიხილოთ აღდგენითი რეაქცია ზოგადი სახით:



სადაც x —აღმდგენი ნივთიერებაა ეს რეაქცია შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც თანაწმდგერული რეაქციების სხვაობა

$$2Me + O_2 = 2MeO; \quad \Delta H_1^\circ < 0 \tag{V.2}$$

$$2x + O_2 = 2xO; \quad \Delta H_2^\circ < 0 \tag{V.3}$$

$$2(MeO + x = Me + xO) \tag{V.1}$$

$$\Delta H_1^\circ = \frac{1}{2} (\Delta H_2^\circ - \Delta H_3^\circ).$$

თეროდინამიკის მეორე კანონის საფუძველზე აღნიშნული პროცესის იზობარული პოტენციალი გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$\Delta G_1^\circ = \frac{1}{2} (\Delta G_2^\circ - \Delta G_3^\circ). \tag{V.4}$$

წონასწორობის შემახვევაში $\Delta G_2^\circ = \Delta G_3^\circ$; იმისათვის, რომ პროცესი წარმართოს MeO-დან Me აღდგენისაკენ, აუცილებელია, რომ $\Delta G_2^\circ > \Delta G_3^\circ$. ეს ჯამური რეაქცია არ გამოისახავს გარდაქმნის პროცესის ნამდვილ მექანიზმს, მაგრამ მოსახერხებელია თეროდინამიკური ანალიზისათვის.

როდესაც პროცესი მიმდინარეობს მყარ ფაზაში სუფთა მორეაგირე ნივთიერებებთან, მაშინ ΔG_1° -ს ტემპერატურისაკან დამოკიდებულება გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\Delta G_1^\circ = -4,575T \lg p_{O_2}$$

და

$$\lg K_1 = \frac{1}{2} (\lg K_2 - \lg K_3) = \frac{1}{2} (\lg p_{O_2}(MeO) - \lg p_{O_2}(xO)). \tag{V.5}$$

ანუ ავაპირდაპირი მეთოდით (V.1) რეაქციის წონასწორობის მუდმივა იქნება

$$K_1 = \sqrt{\frac{K_2}{K_3}} = \sqrt{\frac{p_{O_2}(MeO)}{p_{O_2}(xO)}}. \tag{V.6}$$

ქანგეულის ალდგენის მიმართულებით (V.1) რეაქციის წარმართვის აუცილებელი პირობაა $p_{O_2(xO)} < p_{O_2(Al_2O)}$ და $\Delta G_1^0 < 0$. ამ შემთხვევაში წარმოიქმნება ალსადგენ ქანგეულზე უფრო მდგრადი ალმდგენი ელემენტის ქანგეული. რაც შეტია $p_{O_2(Al_2O)}$ და $p_{O_2(xO)}$ -ს შორის სხვაობა, მით (V.6) ტოლობის მიხედვით დიდია წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობა, რაც მიგვიბრუნებს რეაქციის სრულყოფილად მიმდინარეობაზე.

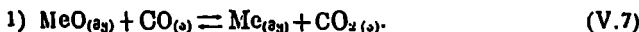
იმ შემთხვევაში, თუ $\Delta G_1^0 < \Delta G_2^0$ ან $p_{O_2(xO)} > p_{O_2(Al_2O)}$ და $\Delta G_1^0 > 0$, მიმდინარეობს მხოლოდ Me და ქანგეისა და xO-ს ალდგენის რეაქცია, ანუ (V.1) რეაქცია წარიმართება მარჯვნიდან მარცხნივ. წონასწორობის შემთხვევაში $p_{O_2(Al_2O)} = p_{O_2}$ და $\Delta G_1^0 = 0$, ე. ი. მოცემულ პირობებში ქანგეა-ალდგენითი რეაქციები წონასწორობაშია. თუ Me და x ნივთიერებებს აქვს ქანგბადისაქენ თანაბარი სწრაფვა, მაშინ მათი ქანგეულების დისოციაციის დრეკადლობა ერთმანეთის ტოლია. არაწონასწორულ მდგომარეობის შემთხვევაში რეაქცია წარიმართება შედარებით მდგრად ქანგეულის წარმოქმნის მიმართულებით.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ბრძმედში ალდგება თითქმის მთელი რკინა და მხოლოდ მისი მცირე ნაწილი FeO-ს სახით გადადის (0,5%) წიდაში. რკინის ქანგეულების ალდგენა ბრძმედში მიმდინარეობს როგორც მყარი ნახშირბადით, ასევე აირად ალმდგენებით (CO და H₂).

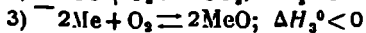
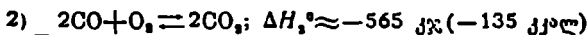
განვიხილოთ მოკლედ ქანგეულების ალდგენას პროცესის თერმოდინამიკა.

§V.2. მყარი ნახშირბადით. ნახშირქანგითა და მყალბადით ქანგეულების ალდგენის პროცესის თერმოდინამიკა

მაგალითისათვის განვიხილოთ ორვალენტოვანი ლითონის ქანგეულის ნახშირორქანგით ალდგენის პროცესი



ეს რეაქცია შესაძლოა წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:



ჩვენ აღრე გვეონდა განხილული ნახშირქანგის წვის რეაქცია, რომლისათვისაც

$$\Delta H_1^0 = \frac{1}{2} (-135 - \Delta H_3^0) \quad (V.8)$$

რეაქცია (1) შესაძლოა მიმდინარეობდეს როგორც მარჯვნივ (ეგზოთერმული), ისე მარცხნივ (ენდოთერმული). თუ ქანგეულის წარმოქმნის რეაქციის თბური ეფექტის აბსოლუტური მნიშვნელობა $\Delta H_3^0 < 135,0$ კკალ-ზე, მაშინ $\Delta H_1^0 < 0$ და ალდგენა სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს და პირიქით.

(2) და (3) რეაქციების წონასწორული მუდმივები გამოისახება ასე:

$$K_{1(2)} = \frac{p_{\text{CO}_2}^2}{p_{\text{CO}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}} \quad \text{და} \quad K_{1(3)} = \frac{1}{p_{\text{O}_2}}$$

ანალოგიურად (V.7) რეაქციისათვის გვექნება

$$K_{(1)} = \frac{p_{CO_2}}{p_{CO}} = \frac{\%CO_2}{\%CO} \quad (V.9)$$

აღნიშნული რეაქციისათვის იზობარული პოტენციალის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება განისაზღვრება

$$\Delta G_1^0 = \frac{1}{2} (\Delta G_2^0 - \Delta G_3^0) \quad (V.10)$$

(2) და (3) რეაქციებისათვის გვექნება

$$\Delta G_2^0 = RT \left(\ln \frac{p_{CO_2(ფ)}^2}{p_{CO(ფ)}^2 \cdot p_{O_2(ფ)}} - \ln \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}} \right) \quad (V.11)$$

$$\Delta G_3^0 = RT \left(\ln \frac{1}{p_{O_2(ფ)}} - \ln \frac{1}{p_{O_2}} \right) \quad (V.11)$$

თუ ამ გამოსახულებებს ჩავსვავთ (V.10) განტოლებაში, მივიღებთ ჯამური V.7) რეაქციის იზობარული პოტენციალის გამოსახულებას

$$\begin{aligned} \Delta G_1^0 &= RT \left(\ln \frac{p_{CO_2(ფ)}}{p_{CO(ფ)}} - \ln \frac{p_{CO_2}}{p_{CO}} \right) = \\ &= RT \left(\ln \frac{\%CO_2(ფ)}{\%CO(ფ)} - \ln \frac{\%CO_2}{\%CO} \right) \end{aligned} \quad (V.12)$$

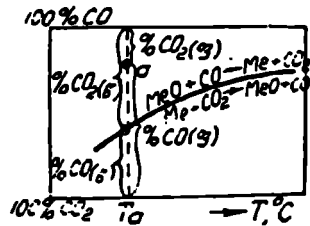
ეს გამოსახულება გამოხატავს აირად ნივთიერებით ენგეულის ალდგენის ან ლითონის დაქანგვის პროცესის თერმოდინამიკას.

$\frac{p_{CO_2}}{p_{CO}}$ შეფარდებასა და ენგებლის p_{O_2} წნევას შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი განტოლებით:

$$\frac{p_{CO_2}}{p_{CO}} = \sqrt{\frac{K_2}{K_3}} = \sqrt{K_2 \cdot p_{O_2}} \quad (V.13)$$

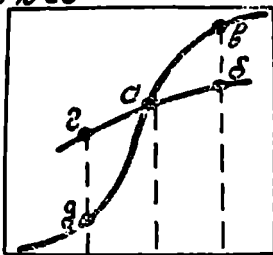
(V.12) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს შემდეგი: მოცემულ ტემპერატურაზე პროცესის მიმართულება და MeO -დან ენგბადის სწრაფვა CO -საქენ დამოკიდებულია CO და CO_2 -ის ფაქტობრივი და წონასწორული კონცენტრაციების ფარლობაზე. თუ $\%CO_{2(ფ)} / \%CO_{(ფ)} < \%CO_2 / \%CO$, მაშინ $\Delta G_1^0 < 0$ და მიმდინარეობს ენგეულის ალდგენის პროცესი. საწინააღმდეგო შემთხვევაში კი—ლითონის დაქანგვის პროცესი. წონასწორულს შეესაბამება პირობა $\Delta G_1^0 = 0$. აღნიშნული ილუსტრირებულია ნახ. V.1 ზე.

მრულზე განლაგებულ იყვება წერტი-



ნახ. V.1. CO თი ალდგენის ენგოთერმული რეაქციის აირის წონასწორული შეფენილობის ცვლილება ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით.

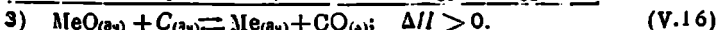
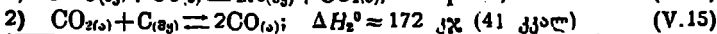
100% CO



100% CO₂ T₂ T_ε T₁
— T, °C

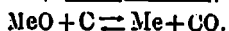
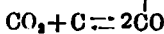
ნახ. V.2. III 3. ნახაზის CO₂+C=2CO გრაფიკის (ბ) და V.1 ნახაზის გრაფიკის შერწყმა, როცა P=const.

რული ფაზის მონაწილეობით და მიმდინარეობს თანამიმდევრული გარდაქმნების შემდეგი სქემით:

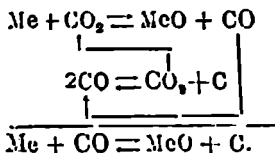


მაღალ ტემპერატურებში (>1000°C) ნახშირბადის არსებობის შემთხვევაში CO₂ მთლიანად გადადის CO-ში. (V.16) რეაქციისათვის, პესის კანონის თანახმად, გვექნება $\Delta H_3^\circ \approx \Delta H_1^\circ - 41000$. დადგენილია, რომ ძირითადად ΔH_1° უარყოფითია და მისი აბსოლუტური სიდიდე ნაკლებია 41000 კალორიაზე. ამიტომ ΔH_3° ყოველთვის დადებითი სიდიდეა და როგორც წესი, ენდოთერმული პირდაპირი აღდგენის პროცესი ყოველთვის ენდოთერმულია და სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს.

V.2 ნახაზზე მოყვანილია III.3 და V.1 ნახაზების გრაფიკების შერწყმა. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, *a* წერტილი გვიჩვენებს, რომ მუდმივი წნევის პირობებში (1) და (2) რეაქციების ერთდროული წონასწორობა შესაძლებელია მხოლოდ ერთ T_ε ტემპერატურაზე. თუ T₁ > T_ε, მაშინ T₁ ტემპერატურაზე არ არის ისეთი აირების ნარევი, რომელიც დააკმაყოფილებს (1) და (2) რეაქციების წონასწორობას, ე. ი. სისტემა ვერ აღწევს წონასწორულ მდგომარეობას. *b* წერტილი შთაუვსებელია *b* წერტილის ქვემოთ, რაც იმას მოწმობს, რომ (2) რეაქციისათვის ამ წერტილში გეპქვს CO₂ ის კარბი კონცენტრაცია. ეს გამოიწვევს ნახშირბადის დაუანგვას და CO-ს კონცენტრაციის გაზრდის ხარჯზე CO₂-ის კონცენტრაციის შემცირებას. ეს თავისთავად არღვევს (1) რეაქციის წონასწორობას, რომელიც ნარევივ გადანაცვლებს. საბოლოოდ გვექნება ენდოთერმული აღდგენის მხოლოდ პირდაპირი პროცესის წარმართვა, ე. ი.



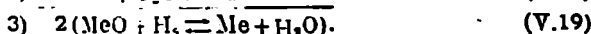
როდესაც $T_2 < T_3$, მაშინ აირალი ფაზის შედგენილობა შეესაბამება g წერტილს. ეს წერტილი გამოიხატავს (1) გარდაქმნის წონასწორობას. მაგრამ ასეთი მდგომარეობა არამდგრადია, ნაპირფენგი იშლება და იზრდება CO_2 -ის კონცენტრაცია. ამის შედეგად (1) რეაქცია იღებს საწინააღმდეგო მიმართულებას და იწვევს Me დაფარვას



ამ შემთხვევაში g წერტილი მდებარეობს a -ს ქვევით. ამრიგად, CO -თი ლითონი იფარება, ანუ ნახშირფენგი გარკვეულ პირობებში წარმოგვიდგება, როგორც დაზნაველი აირი.

თანგეულების აღდგენას წყალბადით განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა. იგი ყოველთვის გვევლება საწარმოო აირების შემაღეწელობაში, რომლებიც გამოიყენებოან თანგეულების აღდგენისათვის. ბრძენის აირი შეიცავს $\approx 3\%$ -მდე წყალბაზს, მაგრამ ორთქლის შებერვის შემთხვევაში მისი შემცველობა აირების ნარევი კიდევ უფრო გაიზრდება.

წყალბადით თანგეულების აღდგენის პროცესი შესაძლოა გამოისახოს შემდეგი სქემით:



შესაბამისად,

$$\Delta H_1^\circ = -48670 \text{ ჯ} (-115600 \text{ კალ});$$

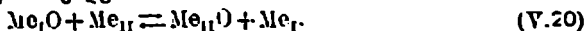
$$\Delta H_2^\circ < 0;$$

$$\Delta H_3^\circ = \frac{1}{2} (|\Delta H_2^\circ| - 48670) \text{ ჯ, ანუ } \Delta H_3^\circ = \frac{1}{2} (|\Delta H_2^\circ| - 115600) \text{ კალ.}$$

დადგენილია, რომ წყალბადის სწრაფვა განვადისაკენ ტემპერატურის ზრდით მცირდება. ამიტომ იმ ოქსიდებისათვის, რომელთა აღდგენასაც მაღალი ტემპერატურა ესაჭიროება, წყალბადის გამოყენება აღმდგენად არ არის მიზანშეწონილი. ასეთ შემთხვევაში მიმართვენ ნახშირბადით აღდგენას ან გამოიყენება აღდგენის ლითონთერმული მეთოდი.

§ V.3. თანგეულების ლითონთერმული აღდგენა

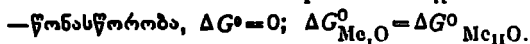
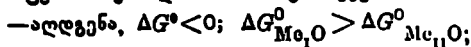
თანგეულების ლითონთერმული აღდგენა დამყარებულია აღმდგენებად იმ ლითონების გამოყენებაზე, რომლებსაც თანვადისაკენ უფრო მეტი სწრაფვა ახასიათებს, ვიდრე თანგეულში შემავალ ლითონს. რაც შეეხება აღმდგენი ლითონის თანვადისაკენ სწრაფვა, მით მაღალია მისი აღდგენის უნარი. ზოგადად რეაქცია შეიძლება წარმოვიდგინოთ



აღნიშნული პროცესი წარმოადგენს ძირითადად უნახშირბადო ლითონებსა და შენადნობებს წარმოებაში. (V.20) რეაქციისათვის

$$\Delta G^\circ = \frac{1}{2} (\Delta G'_{Me_{II}O} - \Delta G_{Me_1O}) \quad (V.21)$$

ამ პროცესში შესაძლოა ორი შემთხვევა:

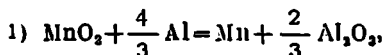


რაც მეტია სხვაობა (ΔG°), მით უფრო სრულყოფილია რეაქციის მსვლელობა. თუ განვიხილავთ V.1 ნახაზს, შეგვიძლია დავინახოთ, რომ CO-ს შრულს შემოთ განლაგებულ არეში მოთავსებული ვლემენტების ქანგულელების ალდგენა ძირითადად მყარი ნახშირბადის შეშვობით წარმოებს. მაგრამ პროცესი რთულდება კარბიდების წარმომადგენელი და ლითონის დამატებითი დანახშირბადიანობით. ამიტომ, თანამედროვე პრაქტიკაში მიმართავენ ლითონთერმულ ალდგენას ალუმინისა და სილიციუმის გამოყენებით. შესაბამისად, პროცესებს ეწოდება ალუმინთერმული და სილიციოთერმული. ორივე შემთხვევაში არ მიმდინარეობს ალდგენილი ლითონის დანახშირბადიანება. ძნელი არაა დავინახოთ, რომ ალუმინითა და სილიციუმით ალდგენა შესაძლებელია მათი შესაბამისი ΔG° მრუდს ზემო არეში მოთავსებული ქანგულეებისა.

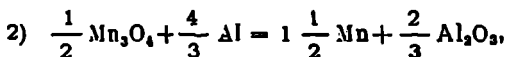
ალუმინთერმული პროცესი 1859 წელს აღმოაჩინა რუსმა მეცნიერმა ბეკეტოვმა. კაზმი მზადდება ალსადგენი ქანგულის, ალუმინის (ან სილიციუმის) ფხენილისა და ფლუსის ერთმანეთთან შერევით. ალუმინთერმული პროცესის მემდინარეობისათვის საჭირო სითბო მიიღება ეგზოთერმული რეაქციით



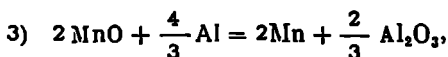
დადგენილია, რომ პროცესის მემდინარეობისათვის აუცილებელი სითბოს რაოდენობა არ უნდა იყოს ნაკლები ~ 2300 ჯ 1 გ კაზმზე (~ 550 კალ 1 გ კაზმზე). თუ კაზმის თერმულობა ამ სიდიდეზე დაბალია, მაშინ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა არაა საკმარისი ყველა დანაქარგის დასაფარავად და პროცესი ვერ განვითარდება. ამ შემთხვევაში აუცილებელია სისტემის ტემპერატურის გაზრდა. კაზმის მაღალი თერმულობა იწვევს პროცესის ფეთქებადობას, ამიტომ პროცესის ასეთი წარმართვა დაუშვებელია და აუცილებელია კაზმის თერმულობის შემცირება. ამის კარგი მაგალითია პიროლუზიტურ მადნებიდან მანგანუმის ალუმინთერმული ალდგენა



$$\Delta H_1^\circ = -582413 \text{ ჯ } (-139200 \text{ კალ});$$



$$\Delta H_2^\circ = -393087 \text{ ჯ } (-93950 \text{ კალ});$$



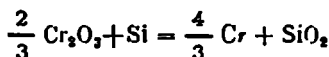
$$\Delta H_3^\circ = -317984 \text{ ჯ } (-76000 \text{ კალ}).$$

კაზმის თერმულობა წარმოადგენს ერთეული მასის მიერ გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას და იანგარიშება ფორმულით

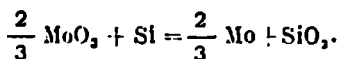
$$Q = \Delta H_{\text{Me}_{11}\text{O}} - \Delta H_{\text{Me}_2\text{O}}. \quad (\text{V.23})$$

ანალოგიურად შეიძლება ემსჯელოთ ქანგულეების ალდგენის სილიციო-

თერმულ პროცესებზეც. მაგალითად, უნაწირბაზო ფეროქრომისა და ფერო-მოლიბდენის მიღება

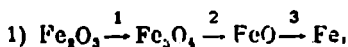


და

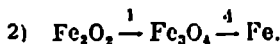


§V.4. რკინის ქანაქვების ალდგენის რეაქციების თერმოდინამიკა

ნახშირქანაქვით ალდგენა. ა. ზაიკოვის სქემის მიხედვით, რკინის ქანაქვების ალდგენა მიმდინარეობს ქანგბადის თანაბრად დანაწილებული მოცილებით და ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით. რგი შემდგენიარად გამოისახება: 570°C (843K) ტემპერატურის ზევით



570°C (843 K) ტემპერატურის ქვევით



დადგენილია, რომ 570°C-ზე Fe_3O_4 და FeO -ს მდგრადობა პრაქტიკულად ურთიერთტოლია.

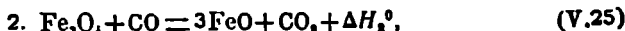
570°C ტემპერატურის ქვევით FeO -ს მდგრადობა Fe_3O_4 -თან შედარებით დაბალია და FeO მთლიანად იშლება რეაქციით: $4FeO \rightarrow Fe_3O_4 + Fe$

ბრძანდულ პროცესში რკინის ქანაქვების ალდგენა ძირითადად პირველი სქემის მიხედვით მიმდინარეობს, რადგანაც რკინის ზაგნიტური ქანგის ალდგენა იწყება 570°C ტემპერატურის ზევით. ქანაქვულში შეკავშირებული ქანგბადის თითქმის ნახევარზე მეტი ცილდება ნახშირქანგის მეშვეობით. ამიტომაც ბრძანდულ პროცესში ძირითად ალდგენად ნახშირქანგის აირი გვევლინება.

570°C-ის ზემოთ რკინის ქანაქვების CO-თი ალდგენის პროცესი გამოისახება შემდეგი რეაქციებით:



$$\Delta H_1^\circ = -53740 \text{ ჯ} (-12835 \text{ კალ});$$

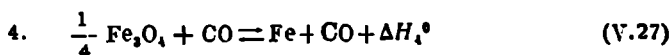
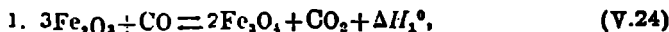


$$\Delta H_2^\circ = 36640 \text{ ჯ} (8760 \text{ კალ});$$



$$\Delta H_3^\circ = -16060 \text{ ჯ} (-3835 \text{ კალ}).$$

570°C-ის ტემპერატურის ქვევით მიმდინარეობენ რეაქციები



$$\Delta H_4^\circ = -2870 \text{ ჯ} (-685 \text{ კალ}).$$

გარდა პირველისა, ყველა რეაქცია შექცევადია. რაც ნაკლებია ქანაქვ-
ნ. ს. იაკობაშვილი

ლის დისოციაციის დრეკადობა, ე. ი. რაც შეტია განგეულის მდგრადობა მით ნაკლებია აირის წონასწორულ ფაზაში $\frac{p_{CO_2}}{p_{CO}}$ ფარდობა. ამიტომ აღდგე-

ნითი რეაქციის წონასწორობის მუდმივას რიცხობრივი მნიშვნელობა ნახტომისებურად იზრდება. წონასწორული აირადი ფაზის შედგენილობა შესაძლოა განისაზღვროს ემპირიულად ან ქიმიური თერმოდინამიკის ცნობილი ფორმულების საფუძველზე.

რეაქციის წონასწორობის მუდმივა ცნობილი მიახლოებითი განტოლებით იანგარიშება. პირველი რეაქციისათვის მიღებული მნიშვნელობანი მიახლოებითი

$$\lg K_{p(1)} = \frac{2726}{T} + 2,144. \quad (V.28)$$

შესაბამისად, (2) და (3) რეაქციებისათვის გვექნება

$$\lg K_{p(2)} = -\frac{1850}{T} + 2,10; \quad (V.29)$$

$$\lg K_{p(3)} = \frac{2833}{T} - 0,90. \quad (V.30)$$

(4) რეაქციებისათვისაც მიღებულია მიახლოებითი მნიშვნელობანი

$$\lg K_{p(4)} = \frac{54}{T} - 0,155. \quad (V.31)$$

წონასწორობის მუდმივას შეფევობით ნებისმიერ ტემპერატურაზე შესაძლოა გამოანგარიშებულ იქნეს აირადი ფაზის წონასწორული შედგენილობა. მაგალითად, (3) რეაქციისათვის 1000°C (1073 K) გვექნება

$$\lg K_{p(3)} = \frac{2833}{T} - 0,9 = 1,74; \quad K_{p(3)} = 1,55.$$

თუ ცნობილია, რომ

$$K_{p(3)} = \frac{p_{CO_2}}{p_{CO}} = \frac{(\% CO_2)}{(\% CO)}$$

და

$$(\% CO_2) = 100 - (\% CO),$$

მაშინ

$$K_{p(3)} = \frac{100 - (\% CO)}{(\% CO)} = 1,55,$$

საიდანაც

$$\% CO = \frac{100}{1,55} = 64,5\%,$$

$$\% CO_2 = 100 - 64,5 = 35,5\%.$$

ამგვარად, ყოველი ტემპერატურისათვის არსებობს CO და CO₂-ის ნეიტრალური ნარევი, როგორც რკინის განგეულების ნარევეზე არ ახდენს არც აღდგენითს და არც განგვითს ზემოქმედებას.

ნახშირჟანგით რკინის უანგულუმის ალდგენის პროცესში აირის წონასწორულ შედგენილობას და ბრძმედის რეალური აირის შედგენილობას შორის ტემპერატურული დამოკიდებულ: ბამოცეწულია $V.3$ ნახაზზე, $1 \div 4$ მონაკვეთებს შეეფარდებათ (1) \div (4) რეაქციები. როგორც ნახაზიდან ჩანს, Fe_2O_3 ის Fe_3O_4 -ად ალდგენს რეაქციის აირის წონასწორული შედგენილობის მრული ძალზე მიახლოებულია x ლერძთან; ეს მოწმობს იმ ფაქტს, რომ ამ რეაქციის მიმდინარეობისათვის CO -ს საკმაო რაოდენობაა. (3) და (4) რეაქციები ევზოთერმულად მიმდინარეობს. ამიტომ ტემპერატურის ზომბიტით წონასწორულ აირში CO ს კონცენტრაცია იზრდება (მრული 3 და 4) სხვა სურათია (2) რეაქციის შემთხვევაში. როგორც ვხედავთ, რეაქცია ენდოთერმულია; ამიტომ ტემპერატურის ზრდით CO -ს წონასწორული კონცენტრაცია ($CO + CO_2$)-ის ნარევიში მცირდება.



ნახ. V.3. რკინის უანგულუმის CO თი ალდგენის რეაქციაში აირის წონასწორული და ბრძმედის რეალური აირის შედგენილობა.

ამრიგად, ტემპერატურის ლერძის მიმართ მრუდების განლაგებით რეაქციის თბური ეფექტის დადებითი მნიშვნელობის შემთხვევაში, ტემპერატურის

ზრდით $\frac{p_{CO_2}}{p_{CO}}$ შეფარდება მცირდება. ყოველი მრული გვიჩვენებს აირის შედგენილობის ცვლილებას ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით. რომელიც

ორ კონცენტრირებულ ფაზებთანაა წონასწორობაში.

(1) მრუდის ქვემოთ მდგარია Fe_2O_3 , (1), (2) და (4) მრუდებს შორის (I არე) მდგარია Fe_3O_4 , (2) და (3) მრუდებს შორის მოთავსებულ არეში (II არე) მდგარია FeO , ხოლო (3) და (4) მრუდებს ზემოთ მოთავსებული (III არე) Fe მდგარია, თუ სისტემაში კარბადაა მყარი ნახშირბადი, მაშინ აირის წონასწორული შედგენილობა განისაზღვრება რეაქციის

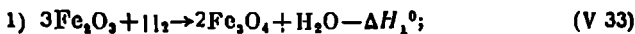
$$CO_2 + C = 2CO \quad (V.32)$$

წონასწორობით (მრული 5) 1 ატ (0,1 მეგანიუტონი/მ²) წნევის პირობებში.

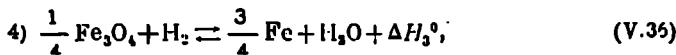
ნახშირბადისა და ნახშირორჟანგს შორის რეაქცია მარცხნიდან მარჯვნივ მოცულობის ზრდით მიმდინარეობს. C), ის ერთი მოცულობა გადდის ნახშირჟანგის ორ მოცულობაში. ამ შემთხვევაში წნევის ზრდა იწვევს წონასწორობის გადანაცვლებას სისტემის მოცულობის შემცირებისაკენ, ე. ი. ნახშირჟანგის კონცენტრაციის ზრდისაკენ. 1 ატმ.ზე მაღალ წნევების შემთხვევაში მრუდები განლაგდება (5) მრუდის მარჯვნივ, ხოლო მასზე დაბალი წნევების შემთხვევაში—მარცხნივ. a წერტილი შეესაბამება Fe_3O_4 -დან FeO -ს ალდგენის საწყის ტემპერატურას, ხოლო b — FeO -დან ლითონური რკინის ალდგენის დაწყების ტემპერატურას. ბრძმედში რეალური აირის ფაქტობრივ შედგენილობას მიახლოებით შეესაბამება (5) მრული. ეს უკანასკნელი მიგვიჩვენებს იმაზე, რომ (V.32) რეაქცია წონასწორული კონცენტრაციები ისწრაფვის შეუარებობით მაღალი ტემპერატურებისაკენ, ხოლო დაბალ ტემპერატურებზე

ნარეგში CO-ფაქტობრივი შედგენილობა წონასწორულზე მეტია. აგვიარად ბრძმედში იქმნება აღმდგენი ატმოსფერა.

წყალბადით აღდგენა. ბრძმედულ პროცესში ერთდროულად მიმდინარეობს რკინის ეანგეულების წყალბადით აღდგენა. ანალოგიურად ნახშირ-ეანგით აღდგენის რეაქციებისა, რკინის ეანგეულების წყალბადით აღდგენა 570°C-ს ზევით შესაძლოა წარმოვიდგინოთ რეაქციებით



570°C-ს ტემპერატურის დაბლა (2) და (3) სტადიების ნაცვლად ხორციელდება რკინის მაგნიტურა ეანგის უშუალოდ რკინად გარდაქმნა:



აღნიშნული გარდაქმნების თბურ ეფექტებს წარმოადგენს

$$\Delta H_1^{\circ} = -21813 \text{ ჯ} (-5210 \text{ კალ});$$

$$\Delta H_2^{\circ} = 63555 \text{ ჯ} (15190 \text{ კალ});$$

$$\Delta H_3^{\circ} = 27991 \text{ ჯ} (6690 \text{ კალ});$$

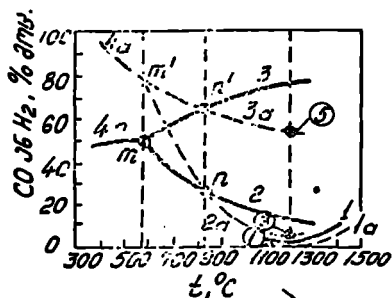
$$\Delta H_4^{\circ} = 36819 \text{ ჯ} (8800 \text{ კალ}).$$

ამასთან, მხოლოდ პირველი რეაქცია არის ეგზოთერმული, შეუქცევადია და მიმდინარეობს მხოლოდ რკინის ეანგის აღდგენისაკენ. დანარჩენი რეაქციები მიმდინარეობს ენდოთერმულად.

ეს რეაქციები მაღალ ტემპერატურაზე ბოლომდე მიმდინარეობს, ე. ი. წყალბადი მთლიანად გარდაიქმნება წყლის ორთქლად.

(2) რეაქცია სითბოს შთანთქმით წარმოებს, ე. ი. ენდოთერმულია და ტემპერატურის ზრდით წყალბადის შეპყველობა აირის წონასწორულ ნარეგში დაბლა ეცემა.

V.4 ნახაზზე მოყვანილია Fe-O-H სისტემაში აირული ფაზის წონასწორული შედგენილობის ტემპერატურული დამოკიდებულება. ამ დიაგრამაზე

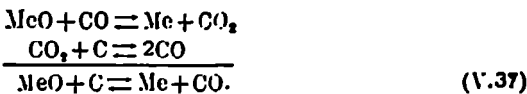


ნახ. V.4. რკინის ეანგეულების CO-ით (ფხვეუტი ხ ანგბი) და H₂-ით (წველილი ხ ანგბი) აღდგენის რეაქციაში არის წონასწორული შედგენილობის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება.

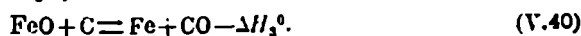
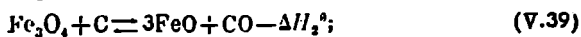
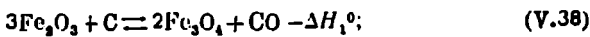
ნაჩვენებია ერთდროულად რკინის ეანგეულების ნახშირ-ეანგით აღდგენის გრაფიკები. უნდა აღინიშნოს, რომ 2 და 2a, აგრეთვე 3 და 3a მონაკვეთები იკვეთება n და n' წერტილებში 810°C-ს ტემპერატურაზე. ამ ტემპერატურის ზევით წყალბადს აქვს ეანგბადისაკენ უფრო მეტი სწრაფვა, ვიდრე CO-ს. ამიტომ აღდგენისათვის H₂-ის გაცილებით დაბალი კონცენტრაციაა საჭირო, ვიდრე CO-სი; ხოლო 810°C-ზე დაბლა—პირიქით. ამ დიაგრამაზე ყოველი მონაკვეთი შეესაბამება ორ კონდენსირებული ფაზის წონასწორულ

მდგომარეობას. მაგალითად, 1a — ნახშირბადის ნაბრუნავი: $1a - Fe_2O_3 - Fe_3O_4$,
 2a — $Fe_2O_3 - FeO$; 3a — $FeO - Fe$ და 4a — $Fe_2O_3 - Fe$. ნახევრები 2a, 3a,
 და 4a შეზღუდულია 572°C-ით, როლის დაბლა FeO არამდგრადია
 (ა წერტილი).

მყარი ნახშირბადით აღდგენა. როგორც ვახვეთ, ა. ბაიკოვის
 სქემის მიხედვით ქანგულების პირდაპირი აღდგენა წარმოადგენს არაპირდა-
 პირი აღდგენის რეაქციისა, CO_2 -სა და მყარი ნახშირბადის ურთიერთქმედე-
 ბის რეაქციების ჯამს



მიუხედავად აღნიშნულისა, პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ა. ბაიკო-
 ვის მიერ შემოთავაზებულ მაღალტემპერატურულ გარდაქმნების სქემას. რკინის
 ქანგულების პირდაპირი აღდგენის რეაქციები შეიძლება წარმოვიდგო-
 ნოთ ასე:



მათი თბური ეფექტებია

- $\Delta H_1^0 = 118820$ ჯ (28320 კალ);
- $\Delta H_2^0 = 209260$ ჯ (49920 კალ);
- $\Delta H_3^0 = 156500$ ჯ (37320 კალ).

მაღალი თბური ეფექტის მნიშვნელობანი მოწმობენ რეაქციის მიზინა-
 რეობაზე ტემპერატურული ფაქტორის არსებით გავლენას.

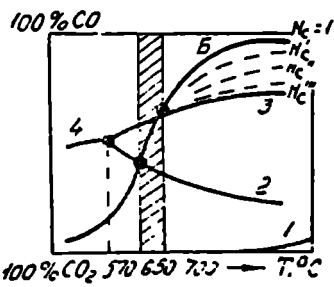
მუდმივ წნევაზე სუფთა ფაზების არსებობის შემთხვევაში მოყვანილი
 რეაქციების წონასწორობის ტემპერატურები შეიძლება ვიპოვოთ, V.5 ნახაზზე
 მოყვანილი გრაფიკების მიხედვით.

მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, რომ (V.37) ~1 ატმ-ზე რეაქცია წონას-
 წორობას აღწევს ~650°C ტემპერატურაზე. მხოლოდ (V.40) რეაქ-
 ცია — 700°C-ზე. 650°C-ზე დაბლა (V.39) რეაქცია უნდა მიმდინარეობდეს
 მარცხნივ შეუქცევად, ე. ი. FeO -ს Fe_2O_3 -მდე დაქანვისაკენ, ხოლო 650°C-ს
 ზევით, პირიქით, საწინააღმდეგო მიმართულებით Fe_2O_3 -დან FeO -მდე აღდ-
 გენა.

(V.40) რეაქციას შეესაბამება
 გარდაქმნები: $t < 700^\circ C$ $Fe \rightarrow FeO$, ხო-
 ლო $t > 700^\circ C$ -ზე $FeO \rightarrow Fe$.

ტერმინი „პირდაპირი აღდგენა“
 პირობითია, რადგანაც რკინის ქანგუ-
 ლების უპრავლესობა არ არის უშუა-
 ლო კონტაქტში კოქსის ნახშირბადთან.
 ამიტომ (V.40) რეაქცია გამოსახავს
 პროცესის არა მექანიზმს, არამედ მხო-
 ლოდ მის საბოლოო შედეგს.

სინამდვილეში, როგორც აღნიშ-
 ნეთ, რკინის ქანგულების პირდაპირი
 აღდგენა მიმდინარეობს ძირითადად აი-



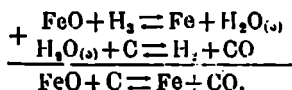
ნახ. V.5. რკინის ქანგულების პირდაპირი
 აღდგენის რეაქციებში აირის წონსწორობ-
 ელ შედგენილობის ტემპერატურისაგან
 დამოკიდებულება.

რადი ფაზის მონაწილეობით: რკინის ქვეყანგი CO-თი აღდგება CO₂-ის წარმოქმნით; ეს უკანასკნელი მაღალ ტემპერატურაზე (950—1000°C) მყისვე ურთიერთქმედებს მყარ ნახშირბადად. ამრიგად, პირდაპირი აღდგენის პროცესი შემდეგი თანამიმდევრული რეაქციებით გამოისახება:



პირდაპირი აღდგენის რეაქციაში ნახშირქანგი ასრულებს რკინის ეანგეულიდან ნახშირბადისაკენ ეანგბადის გადამტანის როლს.

950°C-ზე დაბალ ტემპერატურებზე კოქსის ნახშირბადით რკინის ეანგეულების აღდგენის პროცესი სუსტად მიმდინარეობს, რადგანაც სითბოს რაოდენობა არასაკმარისია, ეანგეულებსა და ნახშირბადს შორის შეხების ზედაპირის ფართობი ძალზე მცირეა და CO₂ საკმარის მდგრადია, რის შედეგადაც წარმოიქმნება წყალბადი და ნახშირქანგი. ამიტომ ~1000°C-ზე ზემოთ რკინის ეანგეულების წყალბადით აღდგენის პროცესი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც პირდაპირი აღდგენის პროცესი



ნახშირქანგის მსგავსად, განხილულ რეაქციებში წყალბადი ასრულებს ეანგბადის გადამტანის როლს ეანგეულიდან ნახშირბადისაკენ.

§V.5. ოთხეულ ენობებში ეანგეულის აღდგენის პროცესი

წინა პარაგრაფებში განხილული იყო აღდგენის პირობები, როცა საწყისი ეანგეული და მიღებული ლითონი თავისუფალი სახით არსებობს. სინამდვილეში, წარმოების პირობებში, მორეაგირე სისტემები გაცილებით რთული შედგენილობისაა. ამიტომ მათი აღდგენის პროცესის თერმოდინამიკური ანალიზი შესაძლოა მიახლოებით ვაწარმოოთ. განვიხილოთ მარტივი შემთხვევები. უპირველესად განვიხილოთ სხვა ნივთიერებებთან ქიმიურად ბმული ეანგეულების აღდგენა. მაგალითისათვის შევადაროთ 900°C-ზე CO-თი FeO და Fe₂SiO₄-ის აღდგენა.

V.5 ნახაზიდან ვიპოვიოთ



რეაქციის იარაღი ფაზის წონასწორულ შედგენილობას.

$$p_{\text{CO}} = 0,685 \text{ ატმ და } p_{\text{CO}_2} = 0,315 \text{ ატმ,}$$

საიდანაც

$$K_{(1)} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}} = \frac{0,315}{0,685} = 0,46$$

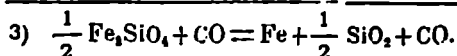
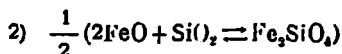
და

$$\lg K_{(1)} = -0,34.$$

(1) რეაქციისათვის გვექნება

$$\Delta G_{(1)}^\circ = -4,575 T \lg K_{(1)} = 4,575 \cdot 1173 \cdot 0,34 = 19,0 \text{ კალ (7950 ჯ).}$$

Fe_2SiO_4 -ის აღდგენის პროცესი გამოისახება შემდეგი სქემით:



როგორც ვხედავთ (3) რეაქცია წარმოადგენს (1) და (2) რეაქციებს-ს სხვაობას. (2) რეაქციისათვის ცნობილია 900°C -ზე $\Delta G_{(2)}^\circ$ -ის მნიშვნელობა:

$\Delta G_{(2)}^\circ = -\frac{1}{2} 4830$ კალ (-20209 ჯ). თუ ვიხელმძღვანელებთ აღდგენის გან-

საზღვრის არაპირდაპირი მეთოდით, მივიღებთ

$$\Delta G_{(3)}^\circ = \Delta G_{(1)}^\circ - \Delta G_{(2)}^\circ = 1900 - \left(-\frac{1}{2} 4830\right) = 4315 \text{ კალ (18054 ჯ)}$$

და

$$\lg K_{(3)} = -\frac{4315}{4,575 \cdot 1173} = -0,8,$$

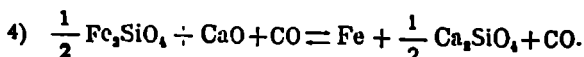
$$K_{(3)} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}} = 0,159.$$

თუ ამოვხსნით ორ ტოლობას $\frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}} = 0,159$ და $p_{\text{CO}_2} + p_{\text{CO}} = 1$, ვიპო-

ვით $p_{\text{CO}} = 0,86$ ატმ და $p_{\text{CO}_2} = 0,14$ ატმ.

ყოველივე ეს გვიჩვენებს, რომ რკინის სილიკატიდან რკინის აღდგენა შედარებით უფრო ძნელია, ვიდრე თავისუფალი FeO -დან.

თუ სისტემაში მონაწილეობს CaO , რომელსაც აქვს SiO_2 -კენ შერტობის წრფა, იოლდება Fe_2SiO_4 -იდან რკინის აღდგენის პროცესი



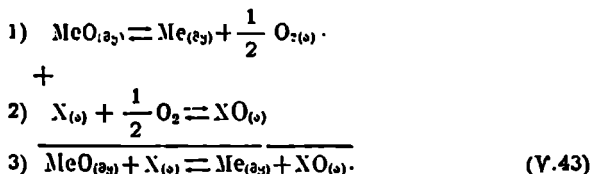
აქედან გამომდინარე უნდა ვივარაუდოთ, რომ წილებში FeO -დან რკინის აღდგენა გაძნელებულია, ხოლო ფუძეში — პირიქით.

ანალოგიურად შეიძლება წარმოვიდგინოთ სხვა რთულ ნაერთებიდან ამა თუ იმ ლითონის უანგეულების აღდგენაც.

§V.6. რკინის უანგეულების აღდგენის მეთოდები და კინეტიკა

პროცესის მექანიზმი. აღდგენის პროცესის მსვლელობის თეორიის საფუძველზე, რომელიც ა. ბაიკოვმა მოგვცა, აირებით რკინის უანგეულების აღდგენა ორი საფეხურით მიმდინარეობს: 1. უანგეულის დისოციაცია

მოლეკულური ეანგბადის გამოყოფით, და 2. ამ ეანგბადით აღმდგენელის და-
ეანგვა. ამიტომ, აღდგენის პროცესი გამოისახება:



ეს სქემა კარგად გადმოგვცემს ზემოვანხილული აღდგენის კანონზომიე-
რებების თერმოდინამიკას (წონასწორობის პირობა, რეაქციის მიმდინარეობის
შესაძლებლობა და სხვ.) და მიმდინარეობის მიმართულებას. მაგრამ არ იძლე-
ვა წარმოდგენას მის კინეტიკასა (რეაქციის მიმდინარეობის სიჩქარე) და სხვა
თავისებურებებზე.

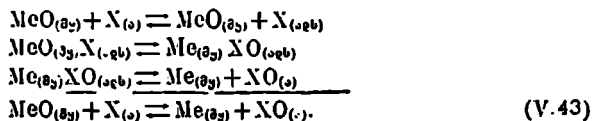
გ. ჩუფაროვა მოგვცა ეანგეულების აღდგენის ადსორბციული თეორია,
რომლის თანახმადაც, აღმდგენი ელემენტი ეანგბადს უერთდება არა აირად
ფაზაში, არამედ ნივთიერების ნაქრების ზედაპირზე ან მის შიგნით. ამის მი-
ხედვით აღდგენის პროცესი 3 საფეხურად მიმდინარეობს და მას თან ახლავს
ადსორბციის ავტოკატალიზისა (პროცესის თვითაჩქარება) და დესორბციის
მოვლენები. ამის მიხედვით ამ თეორიამ ადსორბციულ-ავტოკატა-
ლიზური თეორიის სახელი მიიღო.

ეანგეულების აღდგენის მექანიზმი, გ. ჩუფაროვის თეორიის საფუძველზე,
შესაძლოა შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

1. ეანგულის (MeO) ზედაპირზე აღმდგენი აირის (CO ან H_2) ადსორბ-
ცია;

2. ეანგულიდან ეანგბადის მოცილება, ადსორბირებულ CO და H_2 მოლე-
კულებთან მისი გადასვლა, CO_2 და H_2O -სა და ახალი ფაზის (Me) წარმოქმნა;

3. მიღებულ პროდუქტების (CO_2 და H_2O) რეაქციული ზედაპირიდან
და აირად ფაზაში მათი გადასვლა (დესორბცია). სქემატურად ეს პროცესები
შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:



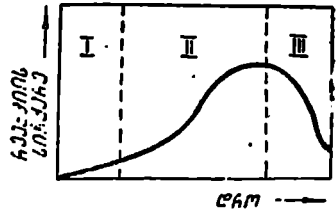
აღდგენის პროცესში მოლეკულური ეანგბადი საერთოდ არ წარმოიქმნე-
ბა. პროცესში მონაწილეობას იღებს მხოლოდ ატომური ეანგბადი, რომელიც
იცვლება მუარ ფაზასა და აირის ადსორბირებულ მოლეკულებს შორის.

პროცესის მიმდინარეობა ხასიათდება დროის განმავლობაში რეაქციის
სიჩქარის ზრდით, რომელიც მაქსიმუმის მიღწევის შემდეგ თანდათან მცირ-
დება. რეაქციის აჩქარების კატალიზატორად ლითონური რკინა გვევლინება
რომელიც წარმოიქმნება რეაქციის პროდუქტში.

კატალიზის არსი კატალიზატორის დახმარებით რეაქციის დაჩქარებაში
მდგომარეობს. კატალიზატორი ნივთიერებაა, რომელიც აჩქარებს რეაქციას,
რეაქციის პროცესში კატალიზატორის რაოდენობა არ იცვლება, ამიტომ მცი-
რე რაოდენობას კატალიზატორის დახმარებით დიდი რაოდენობის შორეაგი-
რე ნივთიერებების გარდაქმნა შეიძლება.

რეაქციებს, რომლებიც ჩქარდებიან ამავე რეაქციის შედეგად მიღებული პროდუქტების მეშვეობით, ავტოკატალიზური (ანუ თვითაჩქარებელი) იწოდება. ასეთი რეაქციების სიჩქარე დროის მიხედვით განუწყვეტილად იზრდება.

რკინის ქანგეულების აღდგენის მექანიზმისა და კინეტიკის განხილვის შემთხვევაში ახლად აღდგენილი რკინა თავისთავად კატალიზატორად გვევლინება.

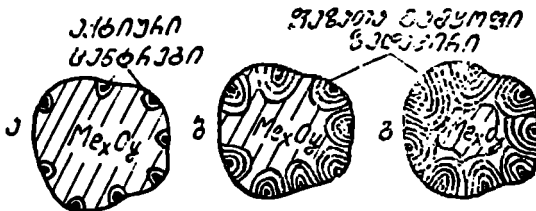


ნ.ს. V.6 ავტოკატალიზის გაცვლა ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე

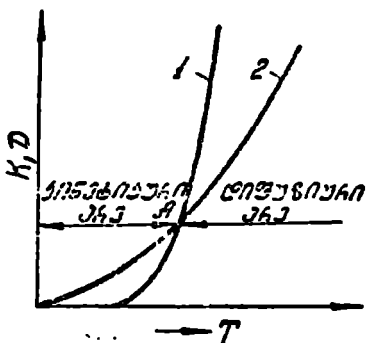
V.6 ნახაზზე გამოსახულია პროცესის სიჩქარეზე ავტოკატალიზის გაცვლის გრაფიკი. როგორც აღინიშნა, I პერიოდში, ე. ი. ინდუქციურ პერიოდში, მიმდინარეობს აღმდგენი აირების მოლეკულების ადსორბცია აღსადგენ ქანგეულის ზედაპირზე. ამ უკანასკნელის მიკროსკოპული უსწორმასწორობის გამო აღმდგენი აირის მოლეკულები შედარებით მდგრადად უკავშირდება რკინის ატომებს. რადგანაც დასაწყისში ასეთი აქტიურა უზნები (უსწორმასწორობა) ნაკლებია, ამიტომაც რეაქცია ძალზე ნელა მიმდინარეობს. ახალაღდგენილი რკინის აქტიური ცენტრების (კრისტალების) რაოდენობის ზრდასთან ერთად (რომლებიც კატალიზატორების როლს ასრულებენ) პროცესი საგრძნობლად ჩქარდება (II პერიოდი). პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარის ზრდა მიმდინარეობს მანამდე, სანამ ახალი ფაზის აქტიური ცენტრები (რომელთა ირკვლივაც მიღის აღდგენილი პროცესი) არ გაერთიანდება ერთიან ზედაპირად. აქტიური ცენტრების გაერთიანების შედეგად ქანგეულსა და აღმდგენელ აირს შორის შეხების ზედაპირი მცირდება, რაც იწვევს პროცესის შენელებას (III პერიოდი). ყოველივე ზემოაღნიშნული კარგადაა ილუსტრირებული V.7 ნახაზზე.

ისევე, როგორც ქანგეულებისა და კარბონატების წარმოქმნა-დისოციაციის შემთხვევაში, ქანგეულების აღდგენის რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება რეაქციის სიჩქარის k მუდმივებით, ხოლო დიფუზიის სიჩქარე — დიფუზიის D კოეფიციენტით. ტემპერატურის ზრდით იზრდება როგორც k , ასევე D (მაგრამ არა თანაბრად). ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივას ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება განისაზღვრება უკვე ცნობილი

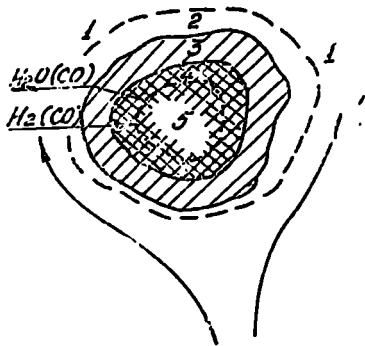
ფორმულით $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$. დიფუზიის კოეფიციენტის ტემპერატურისაგან და-



ნახ. V.7. ტოპოქიმიური გარდაქმნების თანამშვერვული განვითარების სქემა: ა) ინდუქციის პერიოდი; ბ) ავტოკატალიზის პერიოდი; გ) გასაშუალებების ფორმის პერიოდი.



ნახ. V.8. ავტოკატალიზური რეაქციის სიჩქარის ცვლილების დროსაგან დამოკიდებულება ($T = \text{const}$).



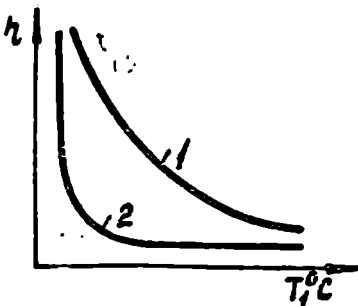
ნახ. V.9. იორის ნაკადში მდნური მასალის ნაპერის ალდგენის სქემა.

მოკიდებულება კი პარაბოლის კანონს ემორჩილება: $D = D_0 T^a$, სადაც D არის მუდმივი სიდიდე, a — ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც იცვლება 1,5—2 ზღვარში.

მოყვანილი k და D სიდიდეების ტემპერატურისაგან ცვლილების გრაფიკი მოცემულია V.8 ნახაზზე, როგორც ვხედავთ, ტემპერატურის ზრდა იწვევს კიბიური რეაქციის სიჩქარის უფრო ინტენსიურ ზრდას, ვიდრე დიფუზიის D კოეფიციენტის. ამ შემთხვევაში პროცესი დიფუზიურ არეში გადაიწვევს. დაბალ ტემპერატურებში $D > k$ და პროცესი კინეტიკურ არეში მიმდინარეობს. მიღებულია, რომ ბრძმელში 900—1000°C-ზე ალდგენის პროცესები კინეტიკურ არეში მიმდინარეობს, ხოლო ამ ტემპერატურის ზევით — დიფუზიურ არეში. მიუხედავად ამისა, ამა თუ იმ არეში პროცესის მიმდინარეობა ტემპერატურის გარდა საგრძნობლად და დამოკიდებული რეჟიმის შემცველი საკაზმე მასალების სიდიდესა და მისი ფორიანობაზე. ტემპერატურის ზრდით ალდგენის პროცესის სიჩქარის ზრდა არათანაბარია და შესაძლოა სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში მითი დაჰუზუქება. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია სხვა ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მიმდინარეობით. მაგალითად, 400—600°C-ის ინტერვალში ალდგენის პროცესის შემცირება გამოწვეულია CO-ს დაშლით და აგლომერატის ან მდნის ნაპერის ფორებში კვარტისებრი ნაზირბადის დალქვით. ეს უკანასკნელი ამცირებს ფორების ზომებს, რის შედეგადაც ძნელდება აღმდგენი აირის შეღწევა რეაქციულ ზონაში და აგრეთვე ამ ზონიდან აირად ფაზაში, რეაქციის აირადი პროდუქტებს გამოტანა. 550—700°C ალდგენის პროცესის შეუფერება გამოწვეულია ფორიანობის საგრძნობლად შემცირებითა და ახლალდგენილი რეჟიმის ნაწილაკების წარმოქმნით, ხოლო 900—1000°C-სა და ზევით — ფორების თითქმის გაქრობით, რომელიც ძირითადად გამოწვეულია ალდგენილი რეჟიმის ნაწილაკებისა და სილიკატების წარმოქმნით.

როგორც ვხედავთ, ალდგენის პროცესის დაყოფნება ყველა განხილულ შემთხვევაში გამოწვეულია ნაქრების შიგნით აირების დიფუზიის გაძნელებით, ანუ გ. წ. შიკა დიფუზიის შემცირებით.

ყველივე შემთხვევებულში შეიქლება სქემატურად გამოვსახოთ V.9 ნა-



ნახ. VI.1. წილის სიბლანტის ტემპერატურული დამოკიდებულება: 1—გრძელე წილი; 2—მოკლე წილი

მოლეკულური თეორიის საფუძველზე, წილის ფუძიანობის (O) ან შეკვიანობის (K) კოეფიციენტის მასში შემავალი კომპონენტების შეფარდება განსაზღვრავს. ფუძიანობის შეფარდებით თუ შეფარდება

$$O = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} \div \text{FeO} \dots (\text{ფუძე ეანგვეულები})}{\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \dots (\text{მავლე ეანგვეულები})} < O. \quad (\text{VI.1})$$

წილა მკავე: $O = 1$ -ის შემთხვევაში წილა ნეიტრალურია, ხოლო $O > 1$ -ზე — ფუძეა. წილბან ფუძიანობის ან შეკვიანობის მიხედვით კლასიფიკაცია პირობითია. ხშირად ფუძიანობის შეფასებისათვის იღებენ წილის ძირითადი კომპონენტების შეფარდებას CaO -ს SiO_2 -თან წონით პროცენტებში:

$$O = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}. \quad (\text{VI.2})$$

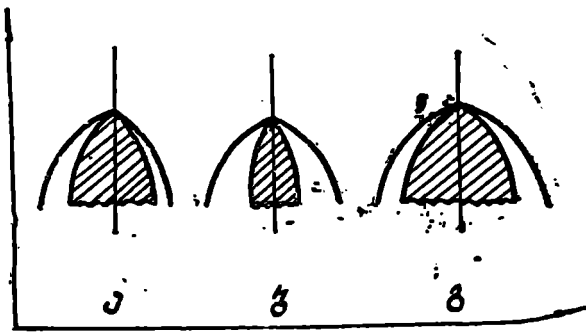
ნორმის გადასამუშაველი თუქების წარმოებისას $O \approx 1,00 \div 1,25$; ბესემერებისა და ხანაოსნობა თუქებისათვის $O \approx 1,15 - 1,20$; ფერომაგანუმისათვის $O \approx 1,2 - 1,6$. ფოლადპროდუქტებში პროცენტში საშუალო ფუძიანობის წილისათვის $\text{CaO} : \text{SiO}_2 \approx 1,6 - 2,2$; მაღალფუძიანი წილისათვის შეტია 2,5-ზე. დოსფორიანი თუქების გადამუშავებისას წილებში შეიყენებენ P_2O_5 -ის დიდ კონცენტრაციას. ამ შემთხვევაში წილის ფუძიანობის დახასიათებლად გამოიყენება ფარდობა $\text{CaO} : (\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ და მისი მნიშვნელობა $< 1,6$ -ზე. მკავე წილა ძირითადად მკავე ეანგველის (SiO_2) მაღალი და ფუძე ეანგველების (CaO და MgO) დაბალი შედგენილობისა. მკავე წილა ხასითდება მკავე იანობის ხარისხით, რომელიც წარმოადგენს $\text{SiO}_2 : (\text{FeO} + \text{MnO})$ ფარდობას. ვარდა ფუძიანობისა, წილები ხასითდება აგრეთვე მეორე მნიშვნელოვანი მახასიათებლით, ე. წ. „ეანგვის უნარი“, რომელიც ახასიათებს წილის მეორე თხევადი ლითონისა და მისი მიწარეუების დეანგვის უნარს. წილს ეანგვითი უნარის მანევრებელს წარმოადგენს მასში FeO -ს ან $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ -ის პროცენტული შემცველობა.

თხევადი ლითონიდან აირისა და ატომოთონური ჩანართების იოლად მოცილებისათვის ეანგვებულა, რომ წილის გამყარების ტემპერატურა იყოს ლითონის დნობის ტემპერატურაზე გაიკლებით დაბალი.

ნ. კურნაკოვის აზრით, ნაღობში ქიმიური ნაერთების მდგრადობისა და მათი დისოციაციის ხარისხზე მსჯელობა შესაძლოა მდგომარეობის დიაგრამებზე არსებული მაქსიმუმების ხარისხის მიხედვით.

ხანარული სისტემის დნობადობის დიაგრამის ლიკვიდუსის ხაზზე მახვილი მაქსიმუმის არსებობა (ე. ი. სინგულარული წერტილი) მოწმობს მყარი ფაზიდან თხევადში არადასოცირებულ მდგომარეობაში მყოფი ქიმიური ნაერთების გადსვლას. ამ შემთხვევაში სინგულარული წერტილი ლიკვიდუსისა და სოლიდუსის ხაზების გადაკვეთაზე ძვეს (ნახ. VI. 2 ა), მახვილი მაქსიმუმის არსებობა მხოლოდ სოლიდუსის ხაზზე და მისი არსებობა

მკავე წილს აქვს მინისებრი აღნაგობა, ე. ი. წარმოადგენს გადამერტივებულ სითხეს, რომელსაც არა აქვს დნობის კონკრეტული ტემპერატურა. ტემპერატურის ზრდით მისი სიბლანტე თანდათან ეცემა, ე. ი. მიეყუთვნება „გრძელე“ წილის კატეგორიას. მასთან შედარებით ფუძე წილს აქვს კრისტალური სტრუქტურა. მისი სიბლანტე ტემპერატურის ცვლილების შესაბამისად მკვეთრად იცვლება, რის გამოც მიეყუთვნება „მოკლე“ წილის კატეგორიის (ნახ. VI.1). ტემპერატურის ზრდით ასეთი წილის სიბლანტე თანდაბირეულად მკვეთრად ეცემა, ხოლო გამყარება მოკლე ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს.



ნახ. VI.2. კურნაციის მიხედვით დნობადობის დაგრაფიზებული სინკლარული წერტილების სახეები.

დრეკილის ხაზზე მოწმობს ქიმიური ნაერთის დისოციაციას თქველ მდგომარეობაში გადასვლის დროს (ნახ. VI.2, ბ). დრეკილის ხაზზე სინკლარული წერტილებს არკოფნა (ე. ი. შედარებით მომრგვალებული მკესრელები) მოწმობს ქიმიური ნაერთის დისოციაციის დიდ ხარისხს თხევად მდგომარეობაში მათი გადასვლისას (ნახ. VI. 2, გ).

როგორც VI. 2 ნახაზიდან ჩანს, მუარის მდგომარეობიდან თხევადში წილას გადასვლის დროს ქიმიური ნაერთების ერთი ნაწილი პრაქტიკულად მთლიანად დისოცირდება შემდეგულ ენგევერებად, ხოლო მეორენი განიცდიან მხოლოდ ნაწილობრივ დისოციაციას.

§ VI. 2. თანამედროვე უსინჯველბაზანი გამდნარი წილანის აღნაგობაზე

გამდნარ მდგომარეობაში წილებს აღნაგობის შესახებ არსებობს 2 თეორია: მოლეკულური და იონური.

მოლეკულური თეორიის თანახმად, გამდნარ წილებში ენგევერები, მათი ნაერთები და სხვაწილები იყოფება თავი-თავად. ქიმიურად შეეკავშირებული მოლეკულები სხივით.

მოლეკულური თეორია იძლევა ლითონსა და წილას შორის მიმდინარე მრავალი პროცესის მარტივ და საძიად დამაყვარებელ ხარისხობრივ ახსნას. მიუხედავად ამისა, დნობის პროცესში მომდინარე რეაქციების რაოდენობრივ მახასიათებლად მისი გამოყენება შეუძლებელია. იგი არ იძლევა სრულ წარმოდგენას გამდნარი წილების აღნაგობაზე.

გამდნარი წილების აღნაგობის მოლეკულური თეორია XX საუკუნის 20—30-იან წლებში გამოიყენა თავის ფუნდამენტალურ ნაშრომებში მ. კარნაუხოვმა, ვ. გრემ-გრეზმარლმ და სხვებმა.

დღევანდელ დავროვილია ძალზე მდიდარი ექსპერიმენტული მასალა გამდნარი წილების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. ამ მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ რაოდენობრივი კანონზომიერებანი, რომლებიც აღიარებულია გამდნარი წილების აღნაგობის მოლეკულური თეორიის საფუძველზე, ხშირ შემთხვევაში არ ეთანადება უცნის შედეგებს.

წილების ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების გამოკვლევების შედეგები ახსნა-ტარების გამდნარი წილების სავრძნობ ელექტროლიტურ დისოციაციას.

1912 წელს ე. ვანიუკოვმა პირველმა გამოთქვა აზრი გამდნარი წილების აღნაგობის იონური სტრუქტურაზე. შემდგომში ეს შეხედულება ვაილმანის, ა. ტამანდა და პ. გერასიმენკომ, ხოლო 1946 წ-დან ო. ვისინის, შემდგომ მ. ტუშინის, ა. სამარინისა და ლ. შვარცმანის ვ. კოვეტოვის, პ. გელდისა და სხვა მეცნიერთა გამოკვლევებმა სადრეკილი ჩაუყარა გამდნარი წილების აღნაგობის იონური თეორიის განვითარებას.

ამ თეორიის თანახმად, გამდნარ წილებსა და სოლიდურ ნაწილებში ყველა ენგეველი და მათი ქიმიური ნაერთი დისოცირებულია იონებად. ამგვარად, გამდნარ წილებში ა-

სებობს დადებითად დამუხტული კათიონები (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} და სხვ.) და უარყოფითად დამუხტული ანიონები (F^- , O^{2-} , S^{2-} , PO_4^{3-} , AlO_2^- , SiO_4^{4-} და სხვ.).

გამდნარი წილების იონური აღნაგობის თეორიის კანკათარებაში დიდი მნიშვნელობა აქვს და მ. ტემკინის მიერ ჩამოყალიბებულ იდეალური იონური ხსნარების (ანუ სრულყოფილი იონური ხსნარების) თეორიას. ამ თეორიის თანახმად, სრულყოფილი იონური ხსნარები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ძირითად პირობებს: 1. ნაღობი უნდა შედგებოდეს მხოლოდ იონებისაგან; 2. მარილები ან ვანგელები ნაღობში მთლიანად იონიზებული უნდა იყოს და ნაღობში აღებული იონის უახლოეს შეზღობულს (როგორც კრისტალურში) განსხვავებული ნიშნის იონები უნდა წარმოადგენდეს; 3. ერთნაირად დამუხტული იონები ურთიერთ-ქმედებით მთლიანად ტოლფასიანი უნდა იყოს მეზობელი იონებისა; 4. შერევის სითბო უნდა იყოს ნულის ტოლი.

წილის იმ კომპონენტების (CaO , FeO , FeS , CuS და სხვ.) აქტრობის განსაზღვრავად, რომლებიც დისოცირებენ Ca^{2+} , O^{2-} , Fe^{2+} , S^{2-} იონებად, მოღებულა შემდეგი გამოსახულებანი:

$$\left. \begin{aligned} {}^a\text{FeS} &= {}^a\text{Fe}^{2+} \cdot {}^a\text{S}^{2-} = N_{\text{Fe}^{2+}} \cdot N_{\text{S}^{2-}}; \\ {}^a\text{FeO} &= {}^a\text{Fe}^{2+} \cdot {}^a\text{O}^{2-} = N_{\text{Fe}^{2+}} \cdot N_{\text{O}^{2-}}; \\ {}^a\text{CuS} &= {}^a\text{Cu}^{2+} \cdot {}^a\text{S}^{2-} = N_{\text{Cu}^{2+}} \cdot N_{\text{S}^{2-}}; \\ {}^a\text{CaO} &= {}^a\text{Ca}^{2+} \cdot {}^a\text{O}^{2-} = N_{\text{Ca}^{2+}} \cdot N_{\text{O}^{2-}} \end{aligned} \right\} \quad (VI.3)$$

აქ საერთო სახით

$$a = a_+ \cdot a_- = N_+ \cdot N_- \quad (VI.4)$$

სადაც N იონური წილია, რომელიც განაგარიშებულია ცალკეული კათიონისათვის ყველა კათიონის ქაზიდან და ანიონისათვის — ყველა ანიონის ქაზიდან; მაგალითად,

$$N_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{{}^a\text{Fe}^{2+}}{\Sigma a_+}; \quad N_{\text{O}^{2-}} = \frac{{}^a\text{O}^{2-}}{\Sigma a_-}; \quad N_{\text{S}^{2-}} = \frac{{}^a\text{S}^{2-}}{\Sigma a_-} \quad (VI.5)$$

სადაც Σa_+ და Σa_- არის ყველა ანიონის და კათიონის მოღების რიცხვი მიღებულია. რომ სრულყოფილ ხსნარებში აქტივირება ტოლია მათი იონური წილებისა: ${}^a\text{Fe}^{2+} = N_{\text{Fe}^{2+}}$; ${}^a\text{S}^{2-} = N_{\text{S}^{2-}}$; ${}^a\text{O}^{2-} = N_{\text{O}^{2-}}$. ამ გამოსახულებებში იონების მოღების რიცხვი ვანგეულის სრული დისოციაციის პირობებში შესაძლოა შემდეგ განტოლებებთან გამოვითვალოთ:

$${}^a\text{Fe}^{2+} = {}^a\text{FeO}; \quad {}^a\text{Cu}^{2+} = {}^a\text{CaO}; \quad \Sigma n_+ = {}^a\text{FeO} + {}^a\text{CaO} + \dots \quad (VI.6)$$

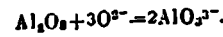
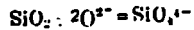
S^{2-} და O^{2-} ანიონებისათვის, შესაბამისად, იქნება.

$${}^a\text{S}^{2-} = {}^a\text{S}; \quad {}^a\text{SiO}_4^{4-} = {}^a\text{SiO}_2 \quad \text{და ა. შ.} \quad (VI.7)$$

წილები SiO_2 და Al_2O_3 -ის არჩეობის შემთხვევაში ექანასკნელი გამოსახულებები მოღებს შემდეგ სახეს:

$${}^a\text{O}^{2-} = {}^a\text{FeO} + {}^a\text{CaO} + {}^a\text{MgO} + {}^a\text{MnO} - 2{}^a\text{SiO}_2 - 3{}^a\text{Al}_2\text{O}_3 \quad (VI.8)$$

რადგანაც SiO_4^{4-} და AlO_2^- -ის წარმოქმნისას SiO_2 ისა და Al_2O_3 -ის ყოველ ერთ მოღზე იხარჩება, შესაბამისად, O^{2-} -ის 2 და 3 მოლი, ამიტომ მათი გარდაქმნის სქემები შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სქემებით:



ყველა ანიონის მოღების ქაზი იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\begin{aligned} \Sigma n_- &= n_{\text{S}} + n_{\text{SiO}_2} + 2n_{\text{Al}_2\text{O}_3} + n_{\text{FeO}} + n_{\text{CaO}} + n_{\text{MgO}} + n_{\text{MnO}} - 2n_{\text{SiO}_2} - 3n_{\text{Al}_2\text{O}_3} \\ &= n_{\text{S}} + n_{\text{FeO}} + n_{\text{CaO}} + n_{\text{MgO}} + n_{\text{MnO}} - n_{\text{SiO}_2} - n_{\text{Al}_2\text{O}_3} \end{aligned}$$

ამჟეარად, მაგალითად, FeO და FeS -ის იონური წილები განისაზღვრება შემდეგი განტოლებებით:

$$N_{FeO} = \frac{{}^nFeO ({}^nFeO + {}^nMnO + {}^nCaO + {}^nMgO - 2{}^nSiO_2 - 3{}^nAl_2O_3)}{({}^nFeO + {}^nMnO + {}^nCaO + {}^nMgO) ({}^nFeO + {}^nMnO + {}^nCaO + {}^nMgO - {}^nSiO_2 - {}^nAl_2O_3 + {}^nS)} \quad (VI.9)$$

$$N_{FeS} = \frac{{}^nFeO \cdot {}^nS}{({}^nFeO + {}^nMnO + {}^nCaO + {}^nMgO) ({}^nFeO + {}^nMnO + {}^nCaO + {}^nMgO - {}^nSiO_2 - {}^nAl_2O_3 + {}^nS)} \quad (VI.10)$$

პრაქტიკულ დგენებას, რომ რეაქციის მედშიას გაანგარიშება ზემომოყვანულ სქემის გამოყენებით ყარჯალ ემთხვევა ცდის შედეგებს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა წიდაში იწყოფება რთული ანიონების მინიმალური როდენობა ($Si_2O_7^{4-}$ ან $Al_2O_7^{4-}$ -ის ტიპის). მხოლოდ წილები, რომლებიც შეიცავენ $\leq 11 - 12\%$ SiO_2 -ს. შესაძლოა, მრღებელ იქნეს სრულყოფილ იონურ ხსნარებად.

ცხადია, მრღებელიან წილებში გარბად იმყოფება თვისებებო O^{2-} ანიონები, რომლებიც უზრუნველყოფენ SiO_2 -ის SiO_4^{4-} -ად სრულ გარდაქმნას. ამის შედეგად წიდაში O^{2-} თვისებელი იონების კონცენტრაცია მცირდება. ამჟეარად, მყავე წიდაში O^{2-} ანიონების სავარსებობა რაოდენობა შეიკვირებდება SiO_2 -თან, ე. ი. იონური წილი NO_2 — მცირება. თუ წიდა შეიცავს FeO -ს ძღვე მცირე რაოდენობას, მანან წილი ექვეყნება დღად არის დამოკიდებული O^{2-} -ის როდენობის არსებობაზე. რადგანაც მყავე წიდაში NO_2 — მცირება, ამიტომ FeO -ს აქცეობა იქნება

$${}^aFeO = N_{Fe^{2+}} \cdot N_{O^{2-}} \quad (VI.11)$$

ან

$${}^aFeO = {}^aFe^{2+} \cdot {}^aO^{2-} \quad (VI.12)$$

რომელსაც ავრთვეე მცირე მნიშვნელობა ვაჩნია.

ამრიგად, თხვევალი წილების თვისებებზე გადარბება სრულყოფილი იონური ხსნარების თვისებებიდან, რაც, უპირველეს ყოვლისა, ახსნება სხვადასხვა ელემენტის იონების არატოლფარკენებით. რომლებიც სწამაყოფლება ენერგითა და კავშირის ტიპით განსხვავდებოან სწინააღმდეგო ნიშნის იონებისაგან.

ფიზიკურ-ქიმიური და ელექტროქიმიური გამოკვლევებით დამტკიცებელია, რომ კრისტალური და მონოსებრი სხეულების მსჯავსად გამდნარი წილები შედგება დისოცირებული მოლეკულებისაგან. მაგრამ ლითონის არა ყველა ატომი არსებობს კათიონების სახით. ისინი შეესაძლოა კომპლექსური ანიონების სახითაც არსებობდენენ.

§ VI.4. გამდნარი წილების ფიზიკური თვისებები და უმლაპიკული მოქლანენი

წილების ფიზიკური თვისებები დღე გავლენის ახვენს ბეტალურგული პროცესების მემონარბობაზე. ასე, მაგალითად, სიბღანტესა, ზედაპირულ და ფხაათა შირის დამოქლანობაზე დღად არის დამოკიდებული მეტალურგული პროცესების სიქარბე და მამართედება, თხვევალი ლითონის აბზანაში არაღითონური ჩანარბების ჩასახება, გამსხვილებას და ასოტივტივების სიქარბე. ლითონის განვოგობრდება და ელემენტორბაცია, ლითონში აბზების ხსნადობა, განეანვა და ლევირების პროცესებო და სხვ.

განვიხილოთ გამდნარი წილების ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური თვისება.

დნობის ტემპერატურა წარმოადგენს წილების ერთ-ერთ ძირითად ფიზიკურ მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს დანარჩენ მანვენელოვან ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს.

ცნობილია, რომ მეტალურგულ წარმოებაში ხდება წილებს გადახურება დნობის

ტემპერატურის ზევით. ვადახურების ხარისხი სკეპოდ მოქმედებს წილის ფორმირებისთვის. ბაზა (სიბლანტი, ელექტროგამტარობა და სხვ.) და ქიმიურ აქტიურობაზე. წილის დნობა ტემპერატურაზე დიდ გავლენას ახდენს ნებისმიერი მისი კომპონენტის შემცველობა. მეტალურგიულ წილებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მათში SiO_2 -ის კონცენტრაციას. ეს კავშირი დამაკმაყოფილებლად გადმოიყვამ შემდეგი ემპირიული განტოლებით:

$$I_{65} = 1680 - 28(SiO_2) - 0.43(SiO_2)^2 \quad (VI.13)$$

პრაქტიკულად ცნობილია, რომ ყველაზე იდეალურად წილები ($I_{65} \approx 1200 \div 1300^\circ C$) წყევნენ $\sim 30 - 40\%$ SiO_2 -ს კავშირის ასეთი შემცველობით წილები ძირითადად მიიღება როგორც ფუქი, ისე ფოლადის დნობის პროცესის დასაწყისში. ფუქი პროცესის მიმდინარეობისას SiO_2 -ის შემცველობა წილაში ეცემა, ხოლო მეფე პიოცესში პირიქით მაღლა იწევს.

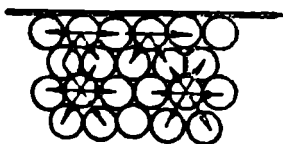
სიბლანტი წარმოადგენს თხევადი წილების ერთ-ერთ ძირითად თვისებას. იგი უმთავრესად დაკავშირებულია გამდნარი წილების შედგენილობასა და აღნაგობასთან. მასზე დღად არის დამოკიდებული წილების აქტიურობა, თხევადი ლითონის აბაზანიდან არჩება და არალითონური ჩანართების მოცილება. თბოვადიქვეშ, შეტალურებული რეაქციების სიჩქარე და სხვ. გარდა ამისა, წილების სიბლანტის შესწავლა წარმოადგენს გვაძლევს წილების აღნაგობაზე თხევად მდგომარეობაში. გამდნარ წილებს უნდა ჰქონდეს სიბლანტის გარკვეული მნიშვნელობა, ბლანტი წილები ხასიათდება დაბალი ელექტროგამტარობით, რასაც დიდ მნიშვნელობა ენიჭება ელექტრომეტალურგიულ პროცესებში. სიბლანტი (VI) განპირობებულია სითხის ამ ცალკეულ ფენებს შორის ხასენით, რომლებიც ურთიერთ-განსხვავებული სიჩქარით გადაადგილდებიან. ამგვარად, სიბლანტი, ან მისი შეტარებელი სილდე თხელდენადობა ($\Phi = \frac{1}{\eta}$) ახასიათებს აღებულ ტემპერატურაზე წილის ძრავობას.

სიბლანტი ახასიათებს პოზიციური სისტემის სითხეებს. იმასთან დაკავშირებით, რომ ლეველესა და სილდე შორის ტემპერატურულ ინტერვალში შეტალურებული წილები იძლევათ მოძრაე მდგომარეობაში და წარმოადგენს ჰეტეროგენულ სისტემებს. ამ ტომ კონტრასტის დაწყების ტემპერატურის ზევით მათი სიბლანტი წარმოადგენს კეშმარტს. ხოლო მის ქვევით — მოჩვენებითს. რადგანაც ამ ორ სიბლანტეს შორის არ არსებობს მკვეთრი ფიზიკური განსხვავება, ამიტომ მოჩვენებითი სიბლანტი ახასიათებს, აგრეთვე. წილის თხელდენადობას.

სიბლანტის განზომილებად მიღებულია: CGS სისტემაში პუაზი (დინი. წმ/სმ²) CH სისტემაში ნ. წმ/მ² (ნიუტონი. წამი/მეტრი), ანუ პა. წმ (პასკალი. წამი).

ტემპერატურის ზრდით სიბლანტი საგრძობლად ეცემა. ბრძედის ნორმალური მუშაობისათვის წილის სიბლანტი 0,3—0,8 პა. წმ (3—8 პუაზი) ფარგლებში უნდა იძლეოდეს. ზედაპირული დაკავშირება. ზედაპირული მოვლენები დიდ როლს ასრულებს მეტალურგიული პროცესების მიმდინარეობაში. თუქისა და სხვა შედგენილების მოდიფიცირება, მანების ფლოტაცია, თხევადი ლითონის აბაზანიდან არალითონური ჩანართების მოცილება. ფოლადების განაწილება, არჩების ხსნადობა და სხვ. მკვეთრად დაკავშირებული ზედაპირულ მოვლენებთან.

თხევადი ნეთოტურის შგა ფენებში განლაგებული მოლეკულები ყველა ნებისმიერ დანერჯის მიერ მოზიდება საშუალოდ ერთნაირად. ამ შემთხვევაში მოზიდულობის ყველა ძალის ტოლქმედო ნულის ტოლია. სხვა სურათს ეხედებით სითხის ზედაპირზე განლაგებული მოლეკულების შემთხვევაში, ისინი განიციდან სითხეს სილდრმესა (შომდგენო ფენაში) და გვერდით განლაგებული მოლეკულების ძალების მოქმედებას ამ ძალების ტოლქმედო ნულის მეტი არ არის და მიმართულია ზედაპირიდან სითხის შიგნით, სილდრმისკენ (ნახ. VI 3). სხანაწილად, „სითხე-პერის“ გამყოფ ზედაპირზე განლაგებული სითხის მოლეკულები პერის მოლეკულებზე უფრო მეტად მიზიდება შიგა მუზობელი ფენის მოლეკულების მიერ. ამიტომ, ზედაპირული ფენების თვისება ყოველთვის განსხვავდება შიგა ფენების თვისებასაგან. აქედან გამომდინარე სითხის ზედაპირზე მოქმედებს დეკიმელობის ძალები. ამ ძალებმა



ნახ. VI.3 სითხის ზედაპირულ ფენებზე განლაგებულ მოლეკულებზე მოქმედო ძალები.

ზედაპირული დაკომპლექსების ძალები სხეულზეა მიღო. ისინი განსაზღვრავენ 1 სმ² ზედაპირზე თვისუფალი ენერჯის, ან სხვანაირად, ერთი ობობარულ-ობობარული პოტენციალის ზრდას. ზედაპირული დაკომპლექსება აღინიშნება σ ასოთი. მისი განზომილებაა: CUS სისტემაში დნი/სმ ანუ ერგო/ქმ²; CH სისტემაში მგ/ქმ² (მოლი/კოული/მეტრა), ქმ² ანუ ნ/მ (ნიუტონი/მეტრაზე) ზედაპირული დაკომპლექსება განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (VI.14)$$

სადაც F ზედაპირის ფენის f სიგრძეზე მოქმედი ძალაა. ზედაპირული დაკომპლექსება ყოველთვის ცდრობს შეამცროს, შეეკუმოს ზედაპირი. იმისათვის, რომ მოლვეყლა სითხის სორმოდან მის ზედაპირზე მოხდეს, საჭიროა მან გადარღოს მიზიდულობის ძალის ტოლქმედი ძალა, ე. ი. დახარჯოს ენერჯია. ძალიან სწრაფად მოქმედებს აქვენი პოტენციალი ენერჯიის გარკვეული სიკარბე. რომლის ზრდას, შესაბამისად, უნდა გამოიწვიოს იმევე სიღრმით მათი კინეტიკური ენერჯიის შემცირება. სინამდვილეში მოლვეყლის გადასვლა სითხის ზედაპირზე არ ცდროს მის კინეტიკურ ენერჯიას.

სითხის ზედაპირულ ფენაზე მოთავსებული მოლვეყლებს სიკარბე ენერჯია ეწოდება.

ტემპერატურის აწევა ნეოთერებათა გაფართოებასა და მოლვეყლებს ერთობლივად დეკომპლექსების ძალებს შენუსტებას იწვევს როგორც ნეოთერებათა შიგნით, ასევე ზედაპირულ ფენაშიც, ე. ი. ტემპერატურის აწევათნ ერთად ზედაპირული დაკომპლექსება ეცემა. იმდენად გარდამავალი ფენის სისქე იზრდება, და კარტიკულ ტემპერატურაზე უსასრულოდ სიღრმე ხდება.

ამრავად, ზედაპირული დაკომპლექსების სიღრმე იმდენად მეტია, რამდენადც ძლიერია ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედება. ზედაპირული დაკომპლექსების დამალი მნიშვნელობით სინამდვილეში ნეოთერებათა, რომლის ნაწილაკები ერთობლივად მოქმედებენ ვან-დერ-ვალსის სესტი ძალებით განსაყუთრებით ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე.

ზოგჯერთი ეანგუელის ზედაპირული დაკომპლექსების მნიშვნელობა სხვადასხვა მეკვეყარებას მონაცემების მიხედვით მოყენილია VI. 1 ცხრილში.

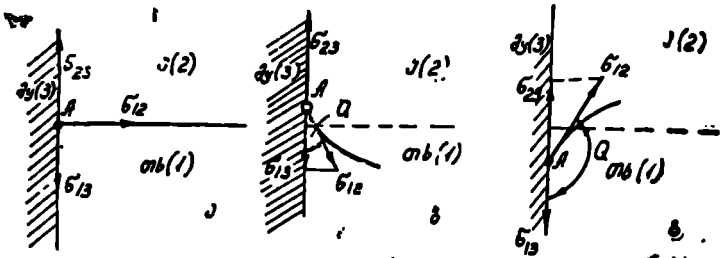
ცხრილი VI. 1

უანგუელების ზედაპირული დაკომპლექსების მნიშვნელობანი

| უანგუელი | T, C | σ , მგ/ქმ ² |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| CoO | 725 | 550 |
| SiO ₂ | 1750 | 400 |
| | | 340 |
| Ni ₂ O ₃ | 1500 | 220 |
| V ₂ O ₅ | 1000 | 86 |
| FeO | 1400 ÷ 1450 | 560 |
| | | 540 |
| | | 580 ÷ 670 |
| K ₂ O | 1430 | 156 |

მეტალურგიულ პროცესებში სშირეს ეხდებოთ დასველების მოქმედებას, რომლებიც დიდ როლს ასრულებს საშხმელო საქმეში, ფოლადსა და თუქსაუნობ პროცესებში, სხმეულს კრისტალიზაციის პროცესში, ია სხვ. დასველების მოქმედების განასრულედალ უანგანალობით სითხის ზედაპირის ფორმა 3 ფაზის გამყოფ სახეურაზე: სითხე, აირი და მეტალი (ნახ. VI. 4.).

სითხის A ნაწილაკი, რომელიც მდებარეობს უშუალოდ კერტიკულ ენველთან სითხის ზედაპირზე, განიცდის 3 ზედაპირული ძალის ზემოქმედებას: σ_{12} , σ_{13} და σ_{23} . ამგვარად, იგი მდებარეობს სშირეს ფაზის გამყოფ ზედაპირზე, რადგანაც σ_{23} აირის ტოლი σ_{12} , ამიტომ A წერტილი ას ზევით იწევს, ან უბრალოდ ენველებს. (იხილ ნუსელებით, თუ რომელი ძალა ეფრო მეტია). თუ $\sigma_{23} > \sigma_{12}$, მაშინ A წერტილი მდებარეობს და მეტალი.



ნახ. VI.4. ხაში ფაზის გამყოფ საზღვარზე მოქმედი ზედაპირული ძალების სვედაბრუნება: ა) მოსახლეობა (ა); სითხე ასველებს კუბკლის კედლებს (ბ) და სითხე არ ასველებს კუბკლის კედლებს (გ).

კუბკლზე ჩახნევილ მენისკს. ამ შემთხვევაში σ_{12} გადაინაცვლებს და მიიღებს ჩახნევილი ზედაპირის მხების მიმართულებას და σ_{12} და σ_{23} შორის წარმოქმნის მახვილ θ კუთხეს (ნახ. VI. 4, ბ). მაშინ წონასწორობის პირობა გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$\sigma_{23} = \sigma_{12} + \sigma_{13} \cdot \cos\theta \quad (VI.15)$$

ს.ღაც θ დასველებს, ანუ, სხვანაირად, ზღვრული კუთხეა

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{13}}{\sigma_{12}} \quad (VI.16)$$

თუ $\sigma_{23} < \sigma_{13}$, მაშინ წერტილი დაბლა ეშვება და ზედაპირი მიიღებს ამოხნევილი მენისკის სახეს (ნახ. VI. 4, გ). კუთხე θ , რამელიც მოთავსებულია σ_{12} და σ_{23} შორის — ბლავგია. ამ შემთხვევაში წონასწორობის პირობა შემდეგი განტოლებით გამოისახება:

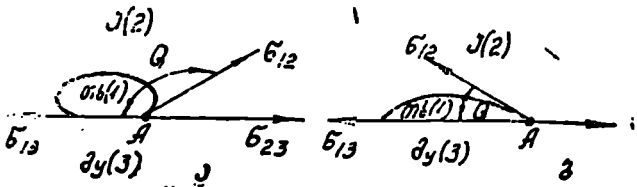
$$\sigma_{23} = \sigma_{12} - \sigma_{13} \cdot \cos(180 - \theta) \quad (VI.17)$$

ე. ი. თუ $\sigma_{23} > \sigma_{13}$, მაშინ $\cos\theta > 0$ და $\theta < 90^\circ$; ამ შემთხვევაში მენისკი ჩახნევილია, ე. ი. სითხე ასველებს კუბკლის კედლებს.

თუ $\sigma_{23} < \sigma_{13}$, მაშინ $\cos\theta < 0$ და $\theta > 90^\circ$; ამ შემთხვევაში მენისკი ამოხნევილია, ე. ი. სითხე არ ასველებს კუბკლის კედლებს.

გვიყვარს მსჯელობა სწორია, მაგალითად, იმ შემთხვევაშიც, როცა სითხის წვეთი მოთავსებულია მყარი სხეულს გლუვ ზედაპირზე ან წყლის წვეთი ზეთის ზედაპირზე (ან პირიქით). ამ შემთხვევაში წვეთი განიღვრება ან არ განიღვრება მყარი სხეულის, ან მეორე სხეულის ფაზის ზედაპირზე (ნახ. VI. 5); არ განიღვრება, როცა $\theta > 90^\circ$; განიღვრება, როცა $\theta < 90^\circ$. ექსპერიმენტით დადგენილია, რომ ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებანი ამცირებენ ფაზათა შორის დაკრძელობასა და მასთან θ კუთხესაც; ხოლო ინაქტიური ნივთიერებანი — პირიქით.

აღკვეთა და კოპკვეთა. თუ ორ შეურეველ სითხეს ან სითხესა და მყარ სხეულს,



ნახ. VI.5. სითხის წვეთისა და მყარ სხეულს შორის გამყოფ ზედაპირზე მოქმედი ძალები.

ან ორ მყარ სხეულს შვიდრად შევახებთ ერთმანეთს, მაშინ მოლეკულათშორისი მიზიდულობის ძალების ზეგავლენით ისინი შეკეპილნი იქნებიან — მიეკრებიან ერთმანეთს და მათი განცალკევებისათვის საჭირო იქნება გარკვეული მუშაობის შესრულება. სხვადასხვა სხეულებს ანუ შეკეპილობას აქვს თავისი ენობა. მაშასადამე, აქვე უნდა აჩიოს გამყოფი ზედაპირზე განსხვავებულ ფაზათა ნაწილაკების ურთიერთმიზიდულობა. სხეულის შიგა ფენების ნაწილაკების ურთიერთმიზიდულობას კი კოჰეზია ეწოდება.

აქვე უნდა აღვნიშნავთ სილიციის ნაბრტყელ ნაწილაკებს შორის არსებულ ფართობზე იმ მუშაობა, რომელიც უნდა შესრულდეს ორი შეკეპილობის სხეულის (ფაზების) განცალკევებისათვის.

ორ თხევად ფაზას შორის აქვე უნდა, (VI.18) მუშაობა გამოისახება ღრუბრის განტოლებით

$$W_0 = \sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13} \quad (VI.18)$$

თხევად და მყარ ფაზებს შორის აქვე უნდა გამოისახება განტოლებით

$$W_0 = \sigma_{12}(1 + \cos\theta) \quad (VI.19)$$

ამ განტოლებაში გამოიხატულია მყარი სხეულის ზედაპირული დაქმნულობის სიდიდე.

თუ აქვე უნდა სილიციის ნაბრტყელს (მოლეკულებს ან ნაწილაკებს) შორის ურთიერთმიზიდულობის ძალების სიდიდეს აქვს აქვს, მაშინ ასეთი ორი ფაზის განცალკევებისას ახალი ზედაპირების წარმოქმნა მიმდინარეობს არა ძველი — ფაზათშორის გამყოფი ზედაპირის გაქრობით, არამედ სითხის ან სხნარის სვეტის ორ ნაწილად გაყოფით. ამ შემთხვევაში სრულდება ეგრეთ წოდებული კოჰეზიის მუშაობა, რომელიც ნეთიერების ორზღვი ზედაპირული დაქმნულობის ტოლია

$$W_3 = 2\sigma \quad (VI.20)$$

შეკეპილობის პირობების გამოსარკვევად იყენებენ განხილვის კოეფიციენტს, რომელიც წარმოადგენს სხვაობას

$$W_3 = W_0 - W_3 \quad (VI.21)$$

W_0 , W_3 და W_3 სიდიდეების ურთიერთდაპირისპირებით შესაძლოა ვიმსჯელოთ იმის შესახებ, თუ სითხის ან სხნარის ნაწილაკები (ან მოლეკულები) რა ძალით მიზიდება იმავე ფაზაში არსებული იდენტური ნაწილაკებისა ან იმ მოლეკულებსავე, ერთი მხრივ, და მყარი სხეული ზედაპირის ნაწილაკებისა ან იმ მოლეკულებსავე, მეორე მხრივ.

განლაპარაკებულია განსაზღვრით ექსპერიმენტულად იმ ფართობის მიხედვით, რომელიც, მყარი სხეულის ზედაპირზე განლაპარაკებული წვეთის უკეთესად განხილვის სარქველად იქნება არის დამოკიდებული სითხის სიძლიანზე.

აღსორბეული მოლეკულები აღსორბეულია ეწოდება პეტროგენული სისტემის ფაზათა გამყოფი ზედაპირზე ნებისმიერი კომპონენტის ათვითმყარს. ეს პროცესი შესაძლოა მიმდინარეობდეს მყარი სხეულისა და აირის, მყარი სხეულისა და სხნარის (ან სითხის) და სხნარისა და აირის გამყოფი ზედაპირზე. ნეთიერებას, რომლის ზედაპირზეც მიმდინარეობს აღსორბეული, აღსორბენტი ეწოდება, ხოლო ფაზის მოცულობიდან შეთანხმებულ ნეთიერებას — აღსორბეული. რამდენადაც მეტადან განუთარგებელი აღსორბეტის ზედაპირი, იმდენად მეტი აღსორბეული შეიძლება იქნება ფაზის მოცულობიდან.

თუ ფაზის გამყოფი ზედაპირზე მიმდინარეობს მოლეკულების აღსორბეული, მაშინ ასეთ პროცესს მოლეკულური აღსორბეული ეწოდება. ამის ანალიზურად შესაძლოა არსებობდეს იმ ნივთიერების აღსორბეული.

აღსორბეული, რომელიც მოლეკულათშორისი მიზიდულობითაა გამოწვეული, ფიზიკური ეწოდება. ქიმიური რეაქციის დროს ატომების ურთიერთქმედებით გამოწვეულ აღსორბეულს ქიმიური აღსორბეული ეწოდება, ანუ ქიმიური აღსორბეული ეწოდება. უპირველეს ყოვლისა, განვიხილოთ აღსორბეული თხევად ზედაპირზე.

ცნობილია, რომ ნეთიერების გახსნა სხნარებში იწვევს ზედაპირული დაქმნულობის ცვლილებას.

განსხვავებულ დადებით აღსორბეულის, როცა სხნარში გახსნის ნეთიერებათა კონცენტრაცია ზედაპირულ ფენაზე მეტია, ვიდრე შიგა ფენებში, და უარა

ყოფნის ადსორბცია — პირველად. ხსნარის ზედაპირულ ფენაში ადსორბციის პრაქტიკული გამოყენება ძიების განტოლებით

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \left(\frac{d\sigma}{dc} \right) T' \quad (IV.22)$$

სადაც Γ არის ზედაპირულ ფენაში ადსორბირებულ ნივთიერებათა რაოდენობა (მოლი/მ²): c — ხსნარში გახსნილ ნივთიერებათა კონცენტრაცია (%).

(VI.22) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციას ზრდით σ მცირდება. ე. ი. $d\sigma/dc < 0$, მაშინ $\Gamma > 0$ და შოკეშული ნივთიერების კონცენტრაცია ზედაპირულ ფენაში მაღალია, ვიდრე თვით ხსნარში (დადებითი ადსორბცია).

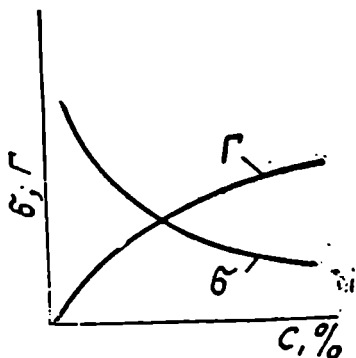
როდესაც $d\sigma/dc > 0$, მაშინ $\Gamma < 0$ და ზედაპირულ ფენაში გახსნილ ნივთიერებათა კონცენტრაცია ნაკლებია, ვიდრე თვით ხსნარში (უარყოფითი ადსორბცია).

VI. 6. ნახაზზე მოცემულია გრაფიკი, რომელიც ასახავს ზედაპირული დაკუმულობისა და ადსორბციის სიღრმის დამოკიდებულებას გახსნილ ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. გრაფიკზე ნაჩვენებია მრუდების საწყისი ნაწილი შეუფარებელ ადსორბციულ ზედაპირულ ფენას, ე. ი. სითხეში არ იმყოფება გახსნილი ზედაპირულ-აქტიური მოლეკულები. აღნიშნული მოლეკულების კონცენტრაციის ზრდით ხსნარში ადსორბციული ფენა მკვრივდება და ზედაპირული დაკუმულობა მცირდება მანამ, სანამ, მთელი ზედაპირი არ დაიფარება მთლიანად ადსორბციული აფსკით. ამ კონცენტრაციის შემდეგ ადსორბცია და ზედაპირული დაკუმულობა პრაქტიკულად არ იცვლება.

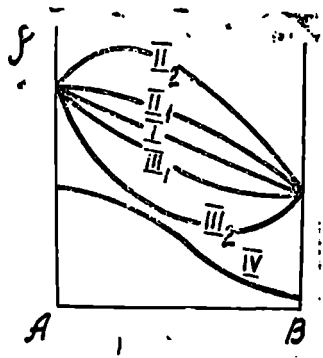
სამკვრივე, თხევადი წილებისა და ლითონის სიმკვრივის შესწავლას დიდი პრაქტიკული და მეცნიერული მნიშვნელობა ენიჭება. თუ ვიცით სიმკვრივის (ρ) ცვლილება, რომელიც დამოკიდებულია შედგენილობისა და ტემპერატურისაგან, შეიძლება ვიმჯელოთ მათ აღნაგობაზე თხევად მდგომარეობაში. სხვა თერაპეუტთან ერთად, სიმკვრივის სიდიდეზე დამოკიდებულია თხევადი ლითონის აბაზანიდან არალითონური ჩანართების მოცულება. ხსნარის სიმკვრივე დამოკიდებულია ტემპერატურასა და წნევაზე. ტემპერატურის ზრდით იგი ეცემა, ხოლო წნევის ზრდით — მატულობს.

„სიმკვრივე-შედგენილობის“ დამოკიდებულების რამდენიმე ტიპის მრუდი არსებობს (ნახ. VI.7.). თუ სიმკვრივე წარმოადგენს კონცენტრაციის სწორხაზოვან ფუნქციას (I მრუდი), მაშინ ρ -ს ცვლილება კონცენტრაციისაგან ემორჩილება ალიტურ კანონს; თუ მრუდი განლაგებულია ამ სწორი ხაზის ზემოთ (II₁) და (II₂) ან ქვემოთ (III₁ და III₂), მაშინ იგი. შესაბამისად, დადებითა ან უარყოფითი. მაქსიმუმი, მინიმუმი ან გადანარს-წერტილებს არსებობს მრუდზე მოწმობს მყარ მდგომარეობაში ქიმიური ნაერთის წარმოქმნასა და მაქსიმუმის არსებობის დრობადობის დიაგრამაზე (ნახ. VI. 8, ა, ბ.). დრობადობის დიაგრამაზე ევტექტიურ ნარევეს შეესაბამება ρ -ს წორხაზოვანი ცვლილება.

VI. 7 ნახაზზე გამოსახული მაქსიმუმი (II₂) მოწმობს იმ ფაქტს, რომ მყარ მდგომარეობაში



ნახ. VI.6 ა და B-ს დამოკიდებულება გახსნილ ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციისაგან.



ნახ. VI.7. ორკომპონენტის ნაღობში სიმკვრივისა და შედგენილობის დამოკიდებულების ტიპური მრუდები.

რეობაში კიმიურ ნაერთს იქვს იონების შეკრები წყობა. მინიმუმი კი, პირაქით, გვეხედვით კიმიური ნაერთის იონების სუსტ წყობას და ურთიერთკეშირს.

ა. აქვნი შემოგთავება სმკერების სიანგარში ფორმულა ალტიური ფაქტორების გამოყენებით

$$\rho = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{\rho_i}} \quad (VI.23)$$

სიდაც ρ_i არის ნაღნბში რანგეულების შემკვლობა (%) P_i — რანგეულების ალტიურობის ფაქტორი, რომელიც ტოლია:

რანგეულები... SiO_2 , H_2O , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , BaO , MnO , CaF_2 ,
 P_i ... 2,24, 2,9, 2,75, 3,2, 8,3, 3,25, 4,3, 7,2, 4,65, 31

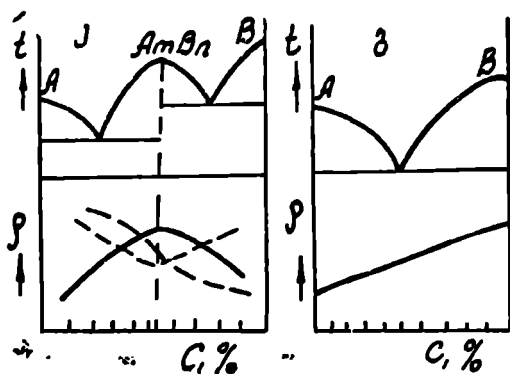
(VI, 23) ფორმულიტ მღღებელი შეღვეები კარგად შეესაბამება ცდით მღღებელ კონკრეტებს.

§ VI. 8. ნაღნბის ფიზიკურ-კიმიური ანალიზი

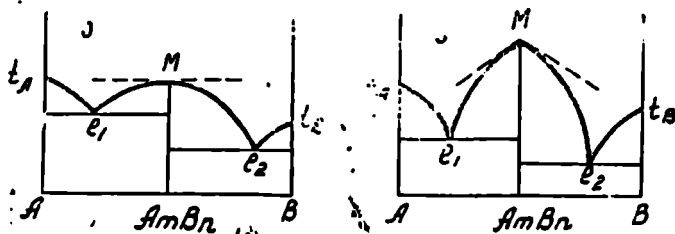
წღღებს თღრღებების შესწავლამი განსაკუთრებულ როლს ასრულებს ფიზიკურ-კიმიური ანალიზი, რომელიც განვიტარდა აკადემიკოს ნ. კერჩაკოვის შრომების საფუძველზე.

(VI. 2) პარაგრაფში მოცემულია ორკომპონენტიანი სისტემის ნაღნბობის დიფერამხე სინგულარული მაქსიმუმები წარმოქმნის შექანონი და აღწერილობა VI. 9. ნახაზზე მოყენილია ორკომპონენტიანი (A და B) სისტემის ნაღნბობის დიფერამა, რომელშიც არსებობს ბინარული $A_m B_n$ კიმიური ნაერთები. VI. 9 ა ნახაზზე ბინარულ $A_m B_n$ შენაერთის რეჟეტი $e_1 M e_2$ მრღვი შეესაბამება ერთი მაქსიმუმით M. იგი არ წარმოადგენს სინგულარულ მაქსიმუმს. VI. 9, ბ ნახაზზე $e_1 M e_2$ მრღვი იუიფა M გარღტების წერტილში ორ შტოდ — $e_1 M$ და $M e_2$ იაე, რომ M წერტილზე (სინგულარულ წერტილზე) შეიძლება გავალოთ ორი მხეტი. ამ შემთხვევაში ამბობენ, რომ ნაღნბი კონგრეუენტულია.

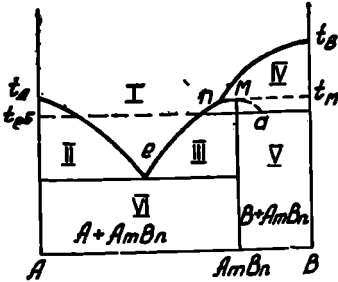
ბ. კერჩაკოვის თანახმად, სინგულარული წერტილის არსებობა (ნახ. VI. 9, ბ) მოწმობს



ნახ. VI. 8. სინკერების მრღღები: ა — კიმიური ნაერთის არსებობა ბ — ევტეკტიის არსებობა.



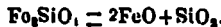
ნახ. VI. 9. ორკომპონენტიან სისტემის ნაღნბობის დიფერამა ბინარულ $A_m B_n$ კიმიური ნაერთის წარმოქმნით: ა — არასინგულარული მაქსიმუმით ბ — სინგულარული მაქსიმუმით.



ნახ. VI.10. ქიმიური ნაერთის ინკონგრუენტული დნობის მდგომარეობის დიაგრამა.

ტემპერატურაზე, რომელიც t_M ტემპერატურაზე დაბლა ძეხს, ქიმიური ნაერთი A_mB_n იშლება. t_{IV} მრუდი, რომელიც შეესაბამება სუფთა B ქიმიურ ნივთიერების კრისტალიზაციის პირობას, თითქოს $კრისტალის$ IV ამობურთულ ნაწილს და A_mB_n ნაერთი IV არეში არამდგრადი ხდება.

წინააღმდეგობა, თხევადი სილიკატური წილების მიმართ ქიმიური ნაერთების დისოციაცია, მრუდული თერმის თვალსაზრისით, შემდეგნაირად განიხილება: მგაღობად, რკინის მონოსილიკატის Fe_2SiO_4 დნობადობის დიაგრამა ხასიათდება ქალზე მდორე მაქსიმუმით. ამიტომ უნდა თვალდინდებ, რომ თითქოს Fe_2SiO_4 -ის დისოციაცია შემდეგი სქემით მიმდინარეობს:



ასეთი შეხედულება სრულებით არ ეთანადება წილების იონურ ბუნებას. ამიტომ თანამედროვე შეხედულებით, სინგულარული მაქსიმუმის არარსებობას დიაგრამაზე უკავშირებენ ანონ SiO_4^{4-} -ის დისოციაციას, რომელიც შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:



ან ზოგადი სახით



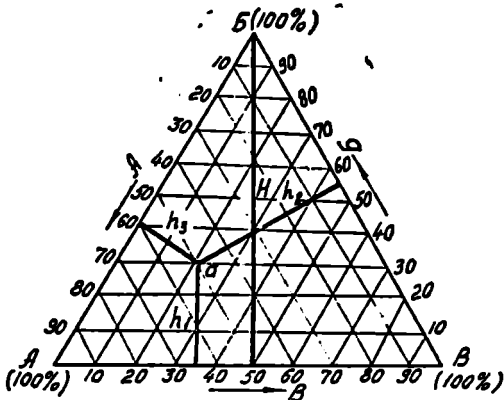
რაც უფრო ნაკლებადაა დნობადობის დიაგრამაზე გამოსახული მაქსიმუმი, მით უფრო მეტა SiO_4^{4-} -ის დისოციაციის ხარისხი.

წილების სისტემების განხილვა თერმული ანალიზის მეთოდით (თერმოგრამების აკუბო), რომელიც ფართოდ გამოიყენება ლიფონების დნობის ტემპერატურის დასადგენად, წილების დაბალი კრისტალიზაციის უნარის გამო არ იძლევა საიმედო შედეგებს: ტიპური ტემპერატურული შეჩერება თერმოგრამებზე სუსტად ან სრულიად არ გამოისახება.

წილების სისტემების დნობადობის შესწავლაში ფართოდ გავრცელებულია ე. წ. „წითლის“ მეთოდი. სისტემის წონასწორობის მიღწევის მიზნით წილის სინჯი დიდი ხნის განმავლობაში იყოფება გარკვეულ ტემპერატურაზე (თხევადი, კრისტალური ან შუალედური). ამის შემდეგ მიღწეული წონასწორული მდგომარეობა ფიქსირდება სინჯის სწრაფი გაცივებით წყალში, ზეთში ან ვერცხლისწყალში წრთობით. წრთობის შემდეგ ნიმუშს მიკროსკოპულიად ან რენტგენოგრაფიულად იკვლევენ. ამ მეთოდით გახურების ტემპერატურის ცელით შესაძლებელია იმ ტემპერატურული ინტერვალების დადგენა, რომელშიც მიმდინარეობს ესა თუ ის გარდაქმნები (მთ შორის დნობაც).

მოკლედ გაეზიაროთ სამკომპონენტური სისტემის დნობის დიაგრამების გამოსახვის მეთოდი.

სამკომპონენტური დიაგრამა წარმოადგენს ტოლფერდა სამუხებელს, რომლის წვეროები



ნახ. VI.11. სამკომპონენტური სისტემის დიაგრამის გამოსახვა.

გაძლეკს სამკომპონენტური სისტემის ჭიმურ: ნებისმიერ შედგენილობა გამოვსახოთ ერთი წერტილით. მაგალითად, შენადნობი, რომელიც შეიცავს 30% A, 50% B და 20% B, განოისახება a წერტილით, რომლისათვისაც $h_1=30\%$, $h_2=50\%$ და $h_3=20\%$, ამასთან $h_1+h_2+h_3=100\%$.

შესაბამებია 100% სუფთა კომპონენტებს A, B და B (ნახ. VI.11). სამკუთხედის გვერდები დაყოფილია 100 თანაბარ ნაწილად (ან 100 დანაყოფად 10% შესაბამისად). დაყოფის წერტილებზე სამკუთხედის დანარჩენი ორი გვერდიდან გაიღებულა პარალელური ხაზები. გეომეტრიიდან ცნობილია დებულება, რომ ტოლფერდა სამკუთხედის ნივთი ალებულ ნებისმიერ წერტილიდან სამივე გვერდამდე მანძილების ჯამი წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. რომელიც H-ის ტოლია, ე. ი. $H = h_1 + h_2 + h_3$. ეს დებულება საშუალებას

თუჯის მებაღეობა

VII თავი

საკაჯემ მასალაში და მათი მომზადება

§VII.1. კაინის მადნის კლასიფიკაცია და ზოგადი დახასიათება

თუჯის წარმოებაში ძირითადი ნედლეულია კაინის მადანი, რომელშიც რკინა იმყოფება უანგბადთან ან ნახშირორთქანგთან ერთად.

კაინის მადანი ეწოდება ქანს, რომელიც შეიცავს კაინას ისეთი ფორმითა და რაოდენობით, რომ ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე ეკონომიკურად მიზანშეწონილია მისი გაღაჭუშაება.

დედამიწის ქერქში მადნის ბუნებრივი შეჯკუფება წარმოქმნის მადნის საბადოს, რომელიც ძირითადად ფასდება მისი ზარისხით, მარაგის მოცულობით, განლაგების პირობებითა და ადგილმდებარეობით.

ჭარბა კაინის შენაერთებისა, კაინის მადანი შეიცავს, აგრეთვე, ფუჭ ქანებს, მავნე და სასარგებლო ზინარეკებს.

კაინის მცირე შემცველობის ქანები ან გასამდიდრებლად იგზავნება, ან წიაღში რჩება. ტექნიკის განვითარებასთან ერთად დროთა განმავლობაში მადანში კაინის შემცველობის ზღვარი თანდათან მცირდება და ამუშავებენ სულ უფრო და უფრო ღარიბ მადნებს.

კაინის შემცველობისა და ფორმის მიხედვით მადანი შეიძლება დაიყოს 4 ძირითად კატეგორიად: 1. მურა კაინაქვა, რომელშიაც კაინის შემცველი მინერალი წარმოდგენილია წყლიანი კაინის უანგის სახით; 2. წითელი კაინაქვა; 3. მაგნიტური კაინაქვა; 4. შპატური კაინაქვა.

ზოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

მურა კაინაქვა ძირითადად შეიცავს მინერალებს — ლიმონიტს $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ და ჰეტიტს $Fe_2O_3 \cdot H_2O$. ზოგადად ისინი გამოისახება ფორმულით $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$.

ბუნებაში მურა კაინაქვა ყველაზე უფრო ლიმონიტის მინერალის მადალი შემცველობით გვხვდება. მურა კაინაქვა სუფთა და მდიდარი სახით იშვიათად მოიპოვება.

კაინის შემცველობა, ჩვეულებრივ, მურა კაინაქვაში დაახლოებით 37—55% შეადგენს. უშეტესად ეს მადანი ხასიათდება მანგანუმისა და ფოსფორის მადალი შემცველობით. ჩვეულებრივ, შავი მოყვითალო-მოყავისფრო ან მუქი მოწითალო ფერისაა, გამოირჩევა მაღალი სიფხვიერითა და ფორიანობით და სხვა მადნებთან შედარებით ბრძმელში იოლად აღდგება. ამიტომ, მას შედარებით მცირე რაოდენობით იყენებენ. მურა კაინაქვის მადნის ფუჭი ქანი ძირითადად კაჟმიწის, თიხამიწისა და კირისაგან შედგება.

წითელი კაინაქვა ძირითადად შედგება ჰემატიტისაგან (კაინის უშუალო Fe_2O_3 უანგისაგან, რომელიც დაახლოებით 70% კაინისა და 30% უანგბადს შეიცავს) და ყველაზე უფრო გავრცელებული მადანია. იგი ხასიათდება კაინის მაღალი და მავნე ზინარეკების დაბალი შემცველობით. წითელი კაინაქვა ცვალებადი ფერისაა (გვხვდება წითელი, ღია რუხი,

ხშირად შავი ფერის). იგი სხვა მადნისაგან განსხვავდება ფიზიკური თვისებებით: მადნის ფუჭ ქანებს, ჩვეულებრივ, კაჟმიწა და თიხამიწა შეადგენს.

მაგნიტური რკინაქვა შედგება მაგნეტიტისაგან, რომელიც შეიცავს რკინის მაგნიტურ ქანს Fe_3O_4 , (72,4% რკინასა და 27,6% ტანგბადს). პემორტიტთან შედარებით იგი ნაკლებად გავრცელებული მინერალია. მისი ფორმულია $FeO \cdot Fe_2O_3$. მაგნეტიტის ქიმიურ შედგენილობაში 31% რკინის ქვექანგი და 69% რკინის ქანგი შედის. ბუნებაში მაგნეტიტი სუფთა სახით იშვიათად მოიპოვება. მაგნიტური რკინაქვა რკინის მაღალი შემცველობით ხასიათდება (54—60% Fe)

ატმოსფეროს ქანგბადისა და ტენის ზემოქმედებით მაგნეტიტი იჟანგება. მოლეკულაში $FeO \cdot Fe_2O_3$ რკინის ქვექანგი რეაგირებს ჰაერის ქანგბადთან $4FeO + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$, რეაქციით და რკინის უშუალო ჯანგში გადადის, ამის შედეგად მაგნეტიტი გადადის ე. წ. მარტიტში. ბუნებაში გვხვდება მადნები მარტიტში მაგნეტიტის გადასვლის სხვადასხვა ხარისხით. ამ გადასვლის

საზომია $k = \frac{Fe_{საერთო}}{Fe_{FeO}}$ ფარდობის სიდიდე. რაც მეტია სიდიდე, მით უფრო

მაღალია მაგნეტიტის დაქანვის ხარისხი. სუფთა მაგნეტიტში $k=3$. შიუხე. ღვად ამისა, მიღებულია, როდესაც $k \leq 3,5$, მადნები მიეკუთვნება მაგნეტიტურს. თუ $k=3,5-7,5$, მადანი განეკუთვნება ნახევრადმარტიტს და თუ $k > 7,5$, —მარტიტს.

მაგნეტიტური მადანი გოგირდისა და ფოსფორის შედარებით მაღალ რაოდენობას (0,02—2,5% S და 0,02—0,7% P) შეიცავს, რომლებიც გვხვდება პირიტის და აპატიტის სახით. ხშირად მის შედგენილობაშია თუთია და სპილენძი სფალერიტისა და ქალკოპირიტის სახით. მაგნეტიტურ მადანში შესაძლოა იყოს ტიტანი $FeTiO_3 \cdot Fe_2O_4$. ასეთ მადნებს ტიტანომაგნეტიტურს უწოდებენ. მათი გამდიდრების შედეგად გამოიყოფა ილმენიტი $FeTiO_3$, რომელიც გამოიყენება ტიტანის მისაღებად. მადანში შესაძლოა აგრეთვე შედოდეს ვანადიუმი 0.2—0.4% რაოდენობით.

მაგნეტრის ფერი იცვლება რუხი ფოლადის ფერიდან შავ ფერამდე იგი წარმოქმნის წერტილმარცვლოვანი აღნაგობის მკერვი ნაკრებს.

მაგნიტური რკინაქვის ფუჭ ქანებში გვხვდება კირისა და მაგნეზიის შედარებით მაღალი შემცველობა.

შპატური რკინაქვა ძირითადად მინერალი სიდერიტისაგან შედგება. მასში რკინა რკინის კარბონატის $FeCO_3$ -ის სახით შედის. სუფთა მდგომარეობაში იგი შედგება 48.2% Fe, ანუ 62.1% FeO და 37.9% CO_3 -საგან, და წარმოადგენს მკერვი კრისტალურ მუქი რუხი ფერის მოშაო-მოყვითალო ვლუფერის ნივთიერებას. მასში შესაძლოა იყოს მაგნიუმი, მანგანუმი და კალციუმის კარბონატები.

ჩვეულებრივ, შპატური რკინაქვა 30—40% Fe შეიცავს. სასურველია, სიდერიტი წინასწარ მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოიწვას ან შეცხვეს, რის შედეგადაც იგი ფოროვანი და ნაკლებმტკიცე ხდება.

სხვა მადანთან შედარებით, ბუნებაში შპატური რკინაქვა იშვიათად გვხვდება. მას ახასიათებს მაღალი აღფენითი უნარი. რკინის დაბალი შემცველობა და ფუჭი ქანების დიდი რაოდენობა. ჰაერის ქანგბადისა და ტენის ზეკველენით სიღერატუბი შეიძლება გარჯიქმნას მურა რკინაქვად, რადგანაც $FeO \cdot CO$, ზოლკულაში რკინის ქვექანგი იქანება და შთანთქმავს ტენს. ამ-

ტომ საბალოების ზემო ფენები წარმოადგენს მურა რკინაქვას, ხოლო ქვე-
და — სიღერიტებს.

რკინის მადნის შევასება შემდეგი მაჩვენებლებით ხდება: 1. რკინის შემცვე-
ლობით; 2. რკინის შემცველ ძირითადი მინერალის ტიპით; 3. ფუჭი ქანების შედ-
გენილობითა და თვისებებით; 4. მანვე მინარეების შემცველობით; 5. ქიმიურ
ი შედგენილობის სტაბილურობით; 6. აღდგენადობით; 7. ნაქროვანობით;
8. სიმტკიცით; 9. ფორიანობითა და 10. ტენიანობით.

ამჟამად 90% -ზე მეტი მადანი გადის წინასწარ სპეციალურ მომზადებას,
რის შედეგადაც ზემოწამოთვლილი მახასიათებლები საგრძნობლად იცვლება.
ზღიდარ მადანს ისეთებიც მიეკუთვნება, რომლებშიაც რკინის შემცველობა
60—68% აღწევს; საშუალოსი—50—60%, ღარიბისა $\leq 40\%$.

ბრძმედის მუშაობის მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მი-
საღებად რკინამადნური საკაზმე მასალები (რკინის მადნები, აგლომერატი,
გუნდები) უნდა აკმაყოფილებდეს გარკვეულ ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ
თვისებებს.

აღნიშნული მადნის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებია მხოლოდ მაღალი აღდ-
გენადობა. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება მისი ფორიანობითა და მიხერალურ-
ი შედგენილობით. ყველაზე ფორიანია მურა რკინაქვა და სიღერიტი, რომ-
ლებშიც აქროლადი ნივთიერებების მოცილების შემდეგ მკვეთრად იზრდება
ფორების მოცულობა. ამით აიხსნება მათი იოლი აღდგენადობა. მინერალური
შედგენილობის მიხედვით ყველაზე ძნელ აღდგენადობით ხასიათდება მაგნე-
ტიტური მადანი. ამდენად, იოლად აღდგება კემპიტები, შემდეგ მურა რკი-
ნაქვა და სიღერიტები.

მადანი უნდა ხასიათდებოდეს შემდეგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით:

1. ნაყარი მასის მაღალი აირგანვლადობით, რომელიც მიიღება მადნის
გარკვეული ნაქროვანობით, წვრილი ფრაქციების დაბალი შემცველობით, მა-
ღალი სიმტკიცით და ცვეთამედვადობით.

მადნის ნაქროვანობა მისი გრანულომეტრული შედგენილობით ხასიათ-
დება: ნაქრების ქვედა ზღვარი უნდა 5—8 მმ შეადგენდეს, მაგრამ განსაკუთ-
რებით მაღალტენიანი მადნის ცაცარის სიძნელესთან დაკავშირებით ეს ზღვა-
რი იცვლება და 10—12 მმ შეადგენს. ნაქრების ზედა ზღვარიც შეზღუდუ-
ლია, რაც მადნის აღდგენადობასთანაა დაკავშირებული. ნაქრების მაქსიმალური
ზომები 30—50 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს. თუმცა პრაქტიკაში გა-
მოიყენება 60—100 მმ-ის ზომის მქონე ნაქრებიც.

სიმტკიცის განსაზღვრა მხოლოდ აგლომერატისა და კოქსისათვის წარ-
მოებს. მადნის სიმტკიცის განსაზღვრას იმ შემთხვევაში მიმართავენ, თუ მად-
ნის გამოყენება წინასწარი მომზადების გარეშე უშუალოდ ბრძმედში ხდება.

2. მადნის ფორიანობით, რომელიც დიდად მოქმედებს ბრძმედულ პრო-
ცესზე, როცა ხდება მასში მადნის უშუალო ჩატვირთვა.

ფუჭი ქანები ეწოდება განგეულების ისეთ ნაერთს, რომელიც რკი-
ნას არ შეიცავს. მადანს ყოველთვის თან სდევს ფუჭი ქანების გარკვეული
რაოდენობა. მადნური მინერალის ფარდობა ფუჭი ქანებთან მადნის სიმდიდ-
რის მახასიათებელი ნიშანია.

მადნის ფუჭი ქანებს ძირითადად წარმოადგენს კაემიწა (SiO_2), თიხამიწა
(Al_2O_3), კალციუმის ფანგი (CaO) და მაგნიუმის ფანგი (MgO), რომლებიც
სხვადასხვა ნაერთების სახით იმყოფებიან მასში.

ბრძმედულ პროცესში ფუქი ქანების გადნობის შედეგად წარმოიქმნება წიდა. ნორმალური ბრძმედული წიდა ხასითდება ასეთი ფარდობით:

$$O = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = 0,9 \div 1,4.$$

ოლნიშულ ფარგლებში წიდის ფუქიანობა ხელს უწყობს ლითონის განგოგირდებას. თუ წიდის ფუქიანობა აღნიშნულ ზღვარს ცილდება, მაშინ აუცილებელია ფუქი ან მკავე ქანგეულების დამატება. რადგანაც უმეტესად ფუქი ქანების შედგენილობაში შედის დიდი რაოდენობით SiO_2 და Al_2O_3 . ამიტომ აუცილებელია CaO და MgO -ს შემცველობის ნაერთების დამატება. ისეთ ფუქი ქანებს, რომელთა ფუქიანობა მიახლოებით 1,0 ტოლია, თვითდნობადს უწოდებენ (ან, რომლებიც გადნობისათვის არ მოითხოვს ფლუსის დამატებას).

რკინის მადანში ფუქი ქანების რაოდენობა 20% მდე აღწევს. 1 ტ ისეთი მადნის გადამუშავებისას, რომელთა ფუქი ქანებში დაახლოებით 10% CaO და 9% SiO_2 შედის და მათი ფუქიანობა ~1,2 ტოლია, წარმოიქმნება 200 კგ წიდა. ისეთი მადნის შემთხვევაში, რომლის ფუქი ქანები ძირითადად SiO_2 -გან შედგება, იმავე ფუქიანობის წიდის წარმოქმნისათვის 1 ტ ასეთ მადანზე საჭიროა დამატებითი შევიტანოთ კიდევ CaO შემდეგი რაოდენობით: $1,22 \times 200 = 244$ კგ. 1 ტ ასეთი მადნის გადამუშავების შედეგად წიდის საერთო რაოდენობა იქნება $200 + 240 = 440$ კგ. ე. ი. თითქმის ორჯერ იზრდება. ამასთან ერთად მის გადნობაზე სათბობის ხარჯიც მატულობს. მოყვანილი მაგალითი გვიჩვენებს, რომ მადნის დახასიათებაში არსებით როლს ასრულებს მადნის ფუქი ქანის ქიმიური შედგენილობა.

გარდა ფუქი ქანებისა, რკინის მადანი შეიცავს მკენე მინარევებს. ასე, მაგალითად, გოგირდს, ფოსფორს თუთიას, ღარიშხანს და ა. შ.

გოგირდი მადანში ძირითადად პირიტის FeS_2 სახით გვხვდება. იშვიათ შემთხვევაში შესაძლოა იგი იყოს თაბაშირისა $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ და ბარიტის $-BaSO_4$ -ის სახით. გოგირდი მადანში ყოველთვის მკენე მინარევად ითვლება. მისი არსებობა ლითონში იწვევს წითელმეტეზობას. გოგირდის მოცილება ბრძმედულ პროცესში დიდ სიძნელეს წარმოადგენს (საგრძობლად ეცემა დნობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები). ყოველივე ეს დაკავშირებულია ბრძმედის კაზმში დამატებით დიდი რაოდენობით კირქვის შეტანასთან, რომლის კალციუმის ქანგიც აკავშირებს გოგირდს და გადაყავს წიდაში. ამიტომ მადანში გოგირდის შემცველობა 0,15% არ უნდა აღემატებოდეს. მადნიდან გოგირდის მოცილების ერთ-ერთ საშუალებას აგლომერაცია — შეცხობა წარმოადგენს, რომლის დროსაც იგი მაქსიმალურად ამოიწვება.

ფოსფორი გოგირდის მსგავსად ლითონისათვის მკენე მინარევს წარმოადგენს. მისი მადალი შემცველობა სცემს ფოლადის დარტყმით სიბლანტეს და ზრდის ცივმეტეზობას, ე. ი. დაბალ ტემპერატურებზე ფოლადებს ანიჭებს სიშიფეს. მადანში ფოსფორი გვხვდება აპატიტების $Ca_3(Fe, Cl) \cdot (PO_4)_2$ და იშვიათად ვივიანიტის $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ სახით. აგლომერაციისა და ბრძმედულ პროცესში ფოსფორის მოცილება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ბრძმედულ პროცესში ფოსფორი აღდგება და თითქმის მთლიანად გადადის თუჯში. ამიტომ მადანში მისი შემცველობა რაც შეიძლება დაბალი უნდა იყოს (მეასედი პროცენტები). მისი მოცილება შესაძლებელია ფოლადისდნობ პროცესებში.

თუთია, შიშხუბდავად იმისა, რომ იგი თუჯში არ გადადის, მადნის მავნე მინარევს წარმოადგენს. თუთია ბრძმელში აღდგენისთანავე ორთქლდება და ღუმლის ზემო ნაწილის კედლებზე ილექება თუთიის ქანგის სახით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ნალევენობები. თუთიის ქანგის ორთქლი აღწევს აგურის წყობურებს შორის ღრუგობებსა და ფორებში, ვაიქონება ლითონური გარსაკმისაყენ და იწვევს მის გაწყვეტას.

თუთიის შემცველობა მადანში, ჩვეულებრივ, შეზღუდულია და 0,1% არ უნდა აღემატებოდეს. თუთიის უფრო მაღალი შემცველობის მადანი საჭიროა, შეერიოს შედარებით სუფთა მადნებს, რომლისაგან მისი მოცილება შესაძლებელია ფლოტაციის ან მაგნიტური სეპარაციით. ამისათვის საჭიროა მადნის წვრილად დაფქვა, რაც იწვევს ელექტროენერჯის ზედმეტ ხარჯს.

ტყვი ა მავნე მინარევი. აღდგენისთანავე იგი გროვდება ღუმლის ქუჩრაში და იწვევს წყობის რღვევას.

ღარიშხანი ლითონში 0,1%-ის შემცველობის ზემოთ წარმოადგენს მავნე მინარევს, რადგანაც იწვევს ლითონის სიმყიფეს—ცივად მსხვრევას და აუარესებს მის შედუღებადობას.

ღარიშხანი მადანში შედარებით იშვიათად გვხვდება—ძირითადად მერა რკინაქვაშია, იგი მადანს აგლომერაციისა და გამოწვის პროცესში ნაწილობრივ ცილდება.

სპილენძი ბრძმელულ პროცესში მთლიანად გადადის თუჯსა და შემდგომ ფოლადში. სპილენძის მცირე შემცველობა (0,2—0,3%) აუმჯობესებს ფოლადის თვისებებს, კერძოდ, მის კოროზიულ თვისებებს. მაგრამ მისი მეტი შემცველობა აუარესებს ფოლადის ცხლად დამუშავებას—ანიჭებს მას წითელმეტანობას.

სპილენძი ძირითადად მაგნიტურ რკინაქვაში ქალკობიტის (CuFeS_2 , სპილენძის ალმადანი) სახით გვხვდება. მადნიდან მისი გამოყოფა შესაძლებელია მაგნიტური სეპარაციის, ფლოტაციის ან ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებით.

გარდა მავნე მინარევებისა, რკინის მადანში შესაძლოა იყოს სასარგებლო მინარევებიც, როგორცაა Ti, Cr, Mn, V, W, Ni, Mo და სხვ.

ტიტანი ხშირად მაგნიტურ რკინაქვაში მინერალ ილმენიტის— FeTiO_3 -ის სახით გვხვდება. იგი ფოლადში სასურველ მინარევს წარმოადგენს, რომელიც ზოგიერთ შემთხვევაში სპეციალურად შეიჭვთ ფეროტიტანის შენადნობის სახით. ბრძმელული დნობის პროცესში ტიტანი წარმოადგენს მადნის არასასურველ მინარევს, რადგანაც მისი 90—95% მთლიანად გადადის წიდაში და აუარესებს მის თვისებებს. წიდაში ტიტანის უანგვეულების დიდი რაოდენობა იწვევს ბრძმელის ქვედა ნაწილში ნალევენობის წარმოქმნას.

ქრომი ზოგიერთი მადნის შედგენილობაში ქრომიტის— $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ -ის სახით გვხვდება. ქრომი, განსაკუთრებით ნიკელთან ერთად წარმოადგენს მადნის მეტად სასარგებლო მინარევს, რაც აუმჯობესებს თუჯის მექანიკურ თვისებებს. მიუხედავად ამისა, ვადასამუშავებელ თუჯში მისი არსებობა არასასურველია, რადგანაც აძნელებს ფოლადად გადასამუშავების პროცესს.

მანგანუმი წარმოადგენს მადნის მეტად სასარგებლო მინარევს. ვადასამუშავებელ და ჩვეულებრივ სამსხმელო თუჯის გამოდნობისას მისი შემცველობა დაახლოებით 0,6—2% შეადგენს. რკინის მადნებში მანგანუმის არსებობა ამცირებს ბრძმელში მანგანუმის მადნის ხარჯს. გარდა ამისა, აუმჯობესებს აგლომერაციის პროცესს.

ვანადიუმი მადანში იშვიათი, მაგრამ მეტად სასარგებლო მინარევი. ბრძედულ პროცესში ვანადიუმის თითქმის 70—90% აღდგება და თუჯში გადადის; თუჯის ფოლადად გადამუშავებას პროცესში ვანადიუმი იყენდება და წილადში გადადის. ვანადიუმი იხმარება ფოლადის განაწმენვისა და განსაკუთრებით ლეფირებისათვის, რისთვისაც გამოიყენება ფეროვანადიუმის შენადნობები.

§ VII. 2. საპატოთა ქაშვირის ძირითადი რაინის საბაღოთაი

საბჟოთა კავშირში რკინის მადნის მარაგი დაახლოებით 160 მილიარდ ტონას შეადგენს. კავშირის მსუბუთოთ რკინის მადნის საბაღოები არათანაბრად დაწარულებული და სხვადასხვა სწარმოო-ეკონომიკური მნიშვნელობისა. სსრ კავშირის ჩოღორო ევროპული ნაწილის მახვილი საბაღოებია: ოლენოგორსკი, კოვლორსკი, კომბამუშკი და პულოვოგორსკი.

ოლენოგორსკის საბაღოები განლაგებულია მერმანსკის სამხრეთით; ექსპლუატაციას 1955 წლიდან. მადანი წარმოადგენს რკინოვან კვარციტებს, რომელიც შეადგენს 71% მაგნეტიტსა და 25% კვარციტის ნარეუს. რკინის შემცველობა 31%-მდეა; ფუქი ქანი ძირითადად კავშირია. ფოსფორის შემცველობა ~ 0,035%-ია, ხოლო გოგირდი ძალზე დაბალია < 0,06%. მადანი მაგნეტიტ-გრაფიტოცილი მეთოთი ადგურევი მღორდებს, რის შედეგადაც რკინის შემცველობა 60%-ზე ახოვება. მოღებული კონცენტრატი ქარბნება აგლომერაციისათვის გაჯაეყმა.

კოვლორსკის საბაღოები განლაგებულია ოლენოგორსკის დასავლეთით კირიონ რაიონში (მერმანსკის ოლქი). მადანი წარმოადგენს მაგნეტიტურ კვარციტებს 31—32% Fe შემცველობით. ოლენოგორსკის მადნიდან იმთ განსხვავდება, რომ კოვლორსკის მადნის ფუქი ქანები ძირითადად შედგება MgO, CaO და P₂O₅-საგან, რომლის ფუქიანობა დაახლოებით 1,6 შეადგენს, ამასთან MgO-ს შემცველობა გაოლებით მაღალია, ვიდრე CrO-ს. იდგილზე მაგნეტიტს სუპარაციით გამღიდრების შედეგად მიიღება 63,5% რკინის შემცველობის კონცენტრატი. გამღიდრების პროცესში თითქმის მთელი CaO ცილდება და კონცენტრატი შეიცავს 0,86% CaO, 6,22% MgO და 1,58% SiO₂, ე. ი. ფუქიანობა 4,4-ს აღწევს, რაც იძლევა MgO-ს მაღალი შემცველობის მაღალფუქიან წილებს.

კოვლორსკის მადნები ხასიათდება ფოსფორის მაღალი შემცველობით, რომელიც (წილ მადნი) 2,7—2,9%-ს შეადგენს, გამღიდრების შედეგად მისი შემცველობა 0,15—0,2%-მდე ეყმა.

კოსტამუშკის საბაღოები განლაგებულია კარელიის ასსრ-ში. მადანი ძირითადად მაგნეტიტურ რკინოვან კვარციტებს შეიცავს 30 ÷ 35% Fe (~ 0,07% P და ~ 0,2% S). ფუქი ქანები მყაური ხასიათისაა (40—41% SiO₂). საბალანსო მარაგი 1,2 მილიარდ ტონას შეადგენს.

პულოვოგორსკის საბაღოებიც განლაგებულია კარელიის ასსრ-ში, ონგვის ტბის სანაპიროზე. მადანი ძირითადად ტრანომაგნეტიტურია (22—30% Fe ~ 0,10% P და ~ 0,12% S). მასში შედის მკირე რაოღენობით კობალტი და სპილენძი. მადნების მარაგი 1,2 მილიარდ ტონას შეადგენს.

სსრ კავშირის ცენტრალურ ევროპულ ნაწილში განლაგებულია კურსკის მაგნეტიტური ანოზილის (კმა) აუზი, ბელგოროდის, ორლოვსკის, ბრიანსკისა და ხარკოვის ოლქების საბაღოები.

კურსკის მაგნეტიტური ანოზილია წარმოადგენს მსოფლიოში ყველაზე დახლო კრინის მადნის საბაღოების რაიონს. მისი მარაგი 40 მილიარდ ტონას შეადგენს. 1783 წელს საბაღო აღმოაჩინა აკადემიკოსმა პ. ირხოლოცუმა. 1920 წელს კომპლექსურა კვლევა დაიწყო ე. ი. ლენინის მიითებით შექმნილმა საგანგებო კომისიამ, რომელსაც გამოჩენილი საბჟოთა მეცნიერები ი. გუბკინი, პ. ლახარევი და ა. არხანველსკი ხელმძღვანელობდნენ. საბაღო ძირითადად წარმოადგენს მაგნეტიტურ კვარციტებს (35—40% Fe), და პეპიტიტურ-მარტიტულ მადნს (50—61% Fe). გარდა ამისა, მადანი შეიცავს 0,1—0,6% S,

0,02 — 0,04% P და 10—20%, ჰიგროსკოპულ ტენს. ამეამდ აწარმოებენ გამდიდრებულ კვარცტუბის აგუნდას.

მადანი ხასიათდება თხამიწის მაღალი შემცველობით ($SiO_2 : Al_2O_3 = 2,3 - 3,6$), ამ-ს შედეგად ბრძმედში პიოლება მაღალი თხამიწის შემცველობის, ბლანტი, მკორდობი-რავი წილა. ამიტომ სასურველია ამ მადანთან ერთად გამოეყენებულ იქნეს კრივიორიკის მ. დანი, რომელშიც მაღალია კაემიწის შემცველობა. ეურსკის მადანი მახვილნაპროვანი და მკოცა.

ეურსკის აუზის ძირითადი საბადოები განლაგებულია მხაილოვსკში, ლებდინსკში, სტოლენსკსა და სამხრეთ კიროპოვსკოეში.

ბელგოროდის რაიონის საბადოები ძირითადად განლაგებულია იაკოვლესკოეში, გრტინიწკესკოესა და სხვ. მდნის მარაგი 25 მილიარდ ტონას შეადგენს. ძირითადად მა-დანი ქემატ-ტურ-მარტიტულია 60—61% Fe შემცველობით, ე. ი. მაღალხარისხიანია.

საბჭოთა კავშირის სამხრეთ ევროპული ნაწილის რკინის მდნის ძირითად ღირს-ბ. დის კრივიორიკის აუზი წარმოადგენს. რკინის მდნის მარაგი 24 მილიარდ ტონას შეადგენს. უმთავრესად გვხვდება 3 სახის საბადო: მდიდარი ჰემატ-ტურ-მარტიტული, მაგ-ნეტური და რკინოვანი კვარციტები, მდიდარი მადანი ძირითადად შეიცავს 55—57% Fe, 0,03—0,04% P და ~0,05% S. უფრო ქანები უმთავრესად მეურის ხასიათისაა SiO_2 -ის მაღალი შემცველობით—15—20% ($SiO_2 : Al_2O_3 = 15 - 20$). კვარციტებში რკინის შემცველობა 65—67%-ს აღწევს. ზოგიერთი მადანი გვიგირდისა და ფოსფორისაგან იმდენად სუფთაა, რომ მათ პირდაპირ იყენებენ ბრძმედში თუჯის მისაღებად. მადანი შეიცავს $\leq 0,05\% S$ და $\leq 0,04\% P$.

კრემენჩუგისა და ბელოზერსკის რკინის საბადო წარმოადგენს კრივიორიკის აუზის გაგრძელებას.

საბჭოთა კავშირის სამხრეთ ევროპული ნაწილის მეორე ღირს რკინის მდნის საბადოა ქერჩის საბადო, რომელიც ქერჩის ნახევარუნძულის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში მდებარეობს. მადანი მურა რკინაქვის წარმოადგენს (34—39% Fe). აღნიშნული საბადო იყ-ფა: ყავისფერი (დაქანგული) და თამბაქოსებრი. მადანი ხასიათდება მაღალი ტენიანობით (20—30% ჰიგროსკოპული და 10% ჰიდრატული ტენი), მანგანუმის მაღალი (0,8—4,3%), 0,6—1,1% P, 0,07—0,13% As და ვანადიუმის მცირე შემცველობით.

რკინის საბადო, განსაკუთრებით თამბაქოსებრი, ძველად მდიდრდება, ავგოლზე ხდება მ. ი. დამსხვრევა, გარეცხვა და კლასიფიკაცია. მიღებულ 45% Fe შემცველობის კონცენტრატს აწვდის ქარხნებს ავლომერატიისთვის.

გარდა აღნიშნულისა, ამიერკავკასიის მეტალურგიის ძირითად ბაზას წარმოადგენს და შვედნის რკინის საბადო (ზურბათიანის სსრ), რომელიც შეიცავს 36-46% Fe, 0,04—0,40% S და 0,03—0,07% P. მადანი თვითმდნელია და შეიცავს ფუჭ ვანგულებს მაღალ რაოდენობას. მადანი ადვილად მდიდრდება შხარლი და სველი მაგნიტური სეპარაციის მეთოდებით. პილენზე კონცენტრატში რკინის შემცველობა 55—60%-ს აღწევს.

ჩვენი ქვეყნის მნიშვნელოვან სამთომადნო რაიონს ურალი წარმოადგენს, სადაც მოთაქსებელია მთელი მარაგის დაახლოებით 15%, მათ შორის 8,4 მილიარდი ტონა საწარმოო მარაგი. განვიხილოთ ზოგიერთი მთავარი საბადო. კაჩკანარსკია სამთომადნო რაიონზე მოდის ურალის მთელი მარაგის 80%. მადანი ტიტანურ-მაგნიტურია; მოთაქსებელია ნივინ ტაგილის ჩრდილოეთით. ძირითადად შეიცავს მაგნიტრის და ილმენიტს. რკინის შემცველობა ძალზე მცირეა — 16—17%-ია. მაგნიტური გამდიდრების შემდეგ კონცენტრატი 60—61% Fe შეიცავს. ფუჭი ქანის ფუჭიანობა 0,8—0,9 შეადგენს. აღსანიშნავია, რომ მადანი შეიცავს ვანადიუმს (~0,15%). ადგილზე აწარმოებენ ავლომერატიასა და აგუნდას.

ტაგილ-კუშკინსკის რკინამდნის რაიონი წარმოადგენს ნივინტაგილსკის ნუ-ტალურგული კომბინატის ძირითად ნედლ ბაზას. ძირითადად გვხვდება მაგნიტური და მარტიტული მდნები (32—55% Fe, $\leq 0,01\% S$ და $\leq 0,2\% P$). ფუჭი ქანები უმთავრესად თხამიწის მაღალი შემცველობისაა ($SiO_2 : Al_2O_3 = 1 - 2$). მდნის მარაგი 40) მილიონი ტონით განისაზღვრება.

მაგნიტოგორსკის საბადოები წარმოადგენილია მაგნიტებისა და უმნიშვნელო მარტიტების სხით (40-50% Fe). ეგი გვიგირდის მაღალი შემცველობისაა ($\leq 2\% S$ სულ-

ფილების სახით), რომელიც ავლომერატის მეშვეობით ცალდება. ფუქი ქანები შეიცავს მაღალ Al_2O_3 და SiO_2 ; $Al_2O_3 = 4,0$. მდნის მარაგი 450 მილიონ ტონას შეადგენს.

ბაკალსკის საბადოები ძირითადად მურა რკინიქვისა და სიდერიტებისაგან შედგება, რომლის მარაგი 1,1 მლნარდ ტონას აღწევს. სიდერიტებში რკინა 32% შედის; მურა რკინიქვაში — 48%. მადანი გოგირდისა და ფოსფორის მიმართ სუფთაა; შეიცავს $\leq 2\%$ Mn . ფუქი ქანები — კაუბადოვანი სიდერიტები შეიცავს $\leq 15\%$ Mn .

ორსკობალილოვის საბადო შედგება ძირითადად მურა ქრომნიკელიანი რკინიქვისაგან (30—36% Fe, 1—1,5% Cr). რომელსაც გაუმდიდრებლად იყენებენ. მდნის მარაგი 340 მილიონ ტონის განისაზღვრება.

უბახეთის სსრ რკინის საბადოს მარაგის მიხედვით მესამე მსხვილ რაონს წარმოადგენს. მისი მარაგი 16,7 მილიარდ ტონას შეადგენს. აქედან ყველაზე დიდი საბადოებია: სოკოლოვსკო-სარბაისკის, კაჩარსკის, ლისაიოვსკის, აიატსკის და ატანაუსკის.

სოკოლოვსკოეს, სარბაისკისა და კაჩარსკის საბადოები განლაგებულია ევტანონის ოლქში და შედგება მაგნეტიტური მადნებისაგან (43—48% Fe). სოკოლოვსკოსა და სარბაისკის მადანი შეიცავს გოგირდის მაღალ კონცენტრატს (1—4%) და 0,10—0,14% P, რომლის გამდიდრება მაგნეტიტური სეპარაციით წარმოებს. მიღებული კონცენტრატი შეიცავს 65% Fe. მდნის მოპოვება ძირითადად ღია წესით მიმდინარეობს.

კაჩარსკის საბადო შეეგება როგორც მდიდარი მადნისაგან (59% Fe). ისე შედარება მარბაისკისაგან (43% Fe). ღარიბ მადანში გამდიდრების შემდეგ რკინის შემცველობა 65%-ს აღწევს.

ლისაიოვსკის და აიატსკის საბადო შეეგება მურა რკინიქვისაგან (35—38% Fe 0,03—0,35% S და 0,35—0,55% P). მადანი ნოტიო მტერისებრია. ფუქი ქანები ძირითადად შედგება SiO_2 და Al_2O_3 -ისგან. გამდიდრებული მადნების ღარიბი კონცენტრატები შეიცავს 47—55% Fe. მარაგი 9 მილიარდ ტონას აღწევს.

ატანაუსკის საბადო მაგნეტიტურ-ჰემატიტურია. მისი მარაგი 0,3 მილიარდ ტონას შეადგენს, მდიდარი მადანი შეიცავს 55% Fe, 0,5—1,0% S და 0,04% P. ზოგიერთ მადანში შედის $\leq 20\%$ Mn .

ციმბირისა და შორკულე აღმოსავლეთის რკინის საბადოს მარაგი 2,4 მილიარდ ტონას შეადგენს. მათგან აღსანიშნავია მთიანი შორია, მთიანი ალტაი და ევზენსკის ალტაი.

მთიანი შორიას საბადო შედგება მაგნეტიტური მადნისაგან (40—50% Fe). ზოგიერთ მადანში რკინის შემცველობა 32—35%-ია. მდნის უმრავლესობა გოგირდოვანია. ფუქი ქანები შეიცავს კარბ ფუჭი ქანებებს. აღვლზე წარმოებს მდნის გამდიდრება სველი რეპარაციის სეპარაციით მიღებულ კონცენტრატში რკინის შემცველობა 56—58%-ს აღწევს.

მთიანი ალტაის საბადო შედგება ღარიბი მაგნეტიტური მადნისაგან (35—42% Fe). გამდიდრება ხდება მაგნეტიტური მეთოდით.

აღმოსავლეთ ციმბირში განლაგებულია კიდევ რამდენიმე საბადო, რომელთაგან აღსანიშნავია ხოკასკის და ანგარალიოვსკის რაონები. ეს საბადო შედგება მაგნეტიტური მადნისაგან: 35—45% Fe, 0,67—2,3% S და 0,10—0,20% P. მათი მარაგი დაახლოებით 1,3 მილიარდ ტონას შეადგენს.

გარდა აღნიშნულისა, აღმოსავლეთ ციმბირში გვხვდება სხვა საბადოებიც, როგორცაა რენდოვოვსკის, ტატარინსკის, კრანოიარსკის, ანგარაპეტსკის, შუა ანგარისა და პრიაზენსკის.

§ VII. 3. მანგანუმის მადნები და მათი ძირითადი საბადოები

მანგანუმი წარმოადგენს ფოლადის ერთ-ერთ მთავარ განმჟანგველსა და ხშირ შემთხვევაში მალევირებელ ელემენტს. ბრძმელში, გარდა თუჯისა, აწარმოებენ ფეროშენადნობების გამოდნობასაც: სარკისებრ თუჯს (10—25% Mn და 2% Si), ნახშირბადიან ფერომანგანუმსა და ფერომანგანუმს ($\geq 75\%$ Mn).

მანგანუმი მადანში უმთავრესად ქანებების ან კარბონატების სახით გვხვდება. დავახასიათოთ მოკლედ თითოეული მათგანი.

1. პიროლუზიტ — MnO , წარმოადგენს მანგანუმის უწყლო ოქსიდს.

სუფთა პიროლუზიტი შეიცავს 63,2% Mn. ასეთ მადანს პიროლუზიტური ეწოდება. სუფთა სახით პიროლუზიტი ბუნებაში არ გვხვდება; მას ყოველთვის თან სდევს კაჟიწა, რკინის ჰიდროქსიდული და სხვ.

2 პსილომელანი — $MnO \cdot MnO_2 \cdot mH_2O$ შეიცავს 45-60% Mn. ნაწილი MnO -ს შესაძლოა შენაცვლებულ იქნეს CaO , BaO ან სხვა ენაგულით. ამ მინერალისაგან შემდგარ მადანს პსილომელანს უწოდებენ. იგი — ბუნებაში გავრცელების მიხედვით პიროლუზიტურის შემდეგ მეორე ადგილზეა.

3. ბრაუნეტი — Mn_2O_3 შეიცავს 69,9% Mn. ბრაუნეტი მადანი ბუნებაში შედარებით ნაკლებად არის გავრცელებული.

4. ჰაუსმანიტი — Mn_2O_3 შეიცავს 72,1% Mn.

5. როდოხროზიტი — $MnCO_3$ — მანგანუმის კარბონატი შეიცავს 47,8% Mn. ამ სახის მადანი ფართოდაა ბუნებაში გავრცელებული. ხანდახან გვხვდება პიროლუზიტურსა და პსილომელანთან ერთად.

გარდა ამისა, ბუნებაში გვხვდება აგრეთვე მანგანიტი $Mn_2O_3 \cdot H_2O$ და სილიკატური მადანი $MnSiO_3$.

მანგანუმის მადანის დუქი ქანები ძირითადად შედგება SiO_2 , Al_2O_3 და MgO -საგან. აქედან მთავარს SiO_2 და შედარებით ნაკლებს Al_2O_3 წარმოადგენს.

მანგანუმის მადანის მანე მინარეგებად ფოსფორი და გოგირდი ითვლება. გოგირდი აღნიშნულ მადანში მცირე რაოდენობით გვხვდება (0,07—0,3% S), ამიტომ ძირითად მანე მინარეგ ფოსფორი წარმოადგენს, რომლის შემცველობაც 0,5%-მდე აღწევს.

მადანის ხარისხის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს მანგანუმის შემცველობის რკინის შემცველობასთან შეფარდება. მაღალხარისხიან მადანებში ეს შეფარდება 6—10 საზღვრებში უნდა იყოს.

საბჭოთა კავშირში მანგანუმის მადანის ძირითადი საზღვრებია ნიკოპოლისა და კიათურის.

ნიკოპოლის საბადო არის დნეპროპეტროვსკის ოლქში და წარმოადგენს მსხვილ საბადოს, რომლის მარაგიც 1 მილიარდ ტონას აღემატება. მთელი საბადოს 80% პიროლუზიტური მადანს შეადგენს, დანარჩენი კარბონატულია. მათში მანგანუმის შემცველობა იცვლება 23—31%-ის ფარგლებში. დუქი ქანები ძირითადად 20—30% SiO და 6—8% Al_2O_3 -საგან შედგება. ფოსფორის შემცველობა 0,1—0,3%-ია. მადანის გამდიდრება გარეცხვით ხდება. შედარებით მცირე ნაწილისა კი მაგნიტური სებარაკით. კონცენტრატში მანგანუმის შემცველობა 75%-მდე აღწევს. მიღებული კონცენტრატები მანგანუმის შემცველობის მიხედვით შემდეგნაირად ხარისხდება: პიროლუზიტური >52%, A—>47%, I—>43%, II—34—43%, III—25—34% და შლამები—22—24%. მათში ფოსფორის შემცველობა 0,2%-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

კიათურის საბადო თავის მნიშვნელობითა და მარაგით ნიკოპოლის შემდეგ მეორე ადგილზეა საბჭოთა კავშირში. მისი მარაგი 180 მილიონ ტონას შეადგენს. საბადო ძირითადად ორი ტიპისაა: პიროლუზიტისა და პსილომელანის ნაწილი და კარბონატული. მანგანუმის შემცველობა იცვლება 25—47% ზღვრებში. ფოსფორის—0,18—0,2%. რკინის შემცველობა ძალზე მცირეა. მადანის ძირითადი ნაწილი მდიდრდება გარეცხვითა და გრავიტაციით. კონცენტრატები მანგანუმის შემცველობის მიხედვით 4 ხარისხად იყო-

ფა: I—48—50%, II—42—48%, III—34—42%, IV—22—34%. კარბონატული მადანი შეიცავს 22—30% Mn და $\leq 10\%$ CaO, პიროლუზიტური ზღაპები კი $> 20\%$ Mn, ფოსფორის შემცველობა $\leq 0,2\%$.

გარდა ამისა, საბჭოთა კავშირში მანგანუმის საბადოები გვხვდება პოლენონროში, მარსიატსკოვში, ივდელსკოვში (ჩრდილოეთ ურალი) დეზბინსკის, ატასუსკი (ყაზახეთის სსრ) და სხვ.

ბოლო წლებში ზაპოროციეს სამხრეთით აღმოჩნდა ბოლშე ტოკმასკოეს კარბონატული მადნის მძლავრი საბადო 20% Mn-ით.

§V.1.4. წარმოების ნარჩენები და მდნობები

ბრკმელში ხშირად გამოიყენება წარმოების ნარჩენები, რომლებიც შეიცავენ რკინისა და მანგანუმის მაღალ რაოდენობას, აგრეთვე CaO და MgO-ს. მათ რიცხვს განეკუთვნება: საკერძე მტვერი, აღმადანის ნაშვრი, შედუღების წილები, გლინვის წარმოების ხენჯი, მარტენის ფუძე წილები, ბესეჰერის მყვე წილები და ბრძმელის მანგანუმიანი წილები.

საკერძე მტვერი ძირითადად შეიცავს 45—50% რკინისა და 5—10% ნაზშირბალს. მისი ძირითადი (91—97%) რაოდენობა 1—0 მმ ფრაქციისაგან შედგება. შესაძლოა მათში კოქს ს ნაწარაკების არსებობაც.

საკერძე მტვერი წარმოადგენს სააგლომერაციო კაზმის ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს, რომელიც რკინის მადანთან შეცხება და დანაჭროვნებულის სახით ბრძმელში ჩაიტვირთება.

მედუღების წილები წარმოადგენს გლინვის წარმოების ნარჩენებს და მიიღება ლითონის ზოდების ლუქელში გახურებისას ცეცხლგამძლე მასალებთან ურთიერთქმედებით ისინი შეიცავენ $\sim 50\%$ Fe, $\sim 30\%$ SiO₂, $\sim P$ და S-ის მკირე რაოდენობას. რკინა წილაში სილაკატების საიით შედის. მათი დნობის ტემპერატურა დაბალაა.

ხენჯი ძირითადად გლინვის პროცესში წარმოიქმნება და შეიცავს $\sim 70\%$ Fe, 1—2% SiO₂ და Al₂O₃; მანე მინარეების რაოდენობა საგრძნობლად მცირეა. გამოიყენება სააკლომერაციო კაზმში დასამატებლად.

მარტენის ფუძე წილები საშუალოდ შეიცავს 12—20% Fe, 7—10% Mn, 1—2% P. (CaO + MgO) შემცველობა 45—50%-ს აღწევს SiO₂-სა—30%;—ბრძმელში ისინი ნაწილობრივ რკინის მადანსა და ფლუსებს ცელთან. მარტენის წილები ფოსფორის მაღალ რაოდენობას (1—2%) შეიცავს. ამიტომ ბრძმელის კაზში მარტენის წილის რაოდენობა 10%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. მათ იყენებენ არა მარტო ფრაგოზიანი სამსხმელო თუჯების გამოღწობისათვის, არაქვე ჩვეულებრივი ნორპალური მარტენის თუჯების გამოღწობის დროსაც.

ბრძმელის მანგანუმიანი წილები მიიღება მაღალ მანგანუმიანი თუჯების გამოღწობის შედეგად. მანგანუმის შეცველობა მასში 15—20% ს აღწევს.

მდნობები (ფლუსები). მდნობები ეწოდება დასამატებელ მასალებს, რომლებიც შეაქვთ ბრძმელსა და სააკლომერაციო კაზმში საკაზმე მასალების ფუძე ქანების დნობის ტემპერატურის დაბლა დასაწვეად და ბრძმელულ წილებისადმი სასურველი ქიმიური შედგენილობისა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მისანიჭებლად (რაც აუცილებელია განვოგირდებისა და ბრძმელული

პროცესის ნორმალურად წარმართვისათვის). აგრეთვე ბრძმედულ პროცესში მდნობები გამოიყენება ფუჭი ქინებისა და კოქსის ნაცრის წილაში გადასაყვანად. მდნობები შესაძლოა იყოს ფუჭე (კირიანი ან კირიან მავნეზიური), მგვე (კემიწიანი) და თიხაშიწიანი. ამასთან ფუჭე მდნობები ძირითადად გამოიყენება მკავე ფუჭქანებიანი მადნის დნობის შემთხვევაში. უმთავრესად ფუჭე ფლუსად კირქვა გამოიყენება, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს: მაღალი ფუჭიანობა, კემიწის, თიხაშიწისა და მკვე მინარევების (S და P) რაც შეიძლება დაბალი შემცველობა, მაღალი სიმტკიცე და ნაკლები გარკვეული ზომები.

სუფთა კირქვა, ანუ კალციუმის კარბონატი,—კალციტი CaCO_3 შეიცავს 56% CaO და 44% CO_2 . კირქვაში, რომელიც მოიპოვება ბუნების წიაღში შედის 50—54% CaO . მასთან ერთად იგი შეიცავს სხვა მინარევებსაც. განსაკუთრებით არასასურველ მინარევებს წარმოადგენენ კემიწა და თიხაშიწა, რის შედეგადაც მისი ფუჭიანობა დაბლა იწევს. ტექნიკური პირობების მიხედვით ჩვეულებრივ კირქვაში ფოსფორის რაოდენობა 0,01 არ უნდა აღემატებოდეს, ხოლო დაბალფოსფორიან კირქვაში—0,005 %.

ფართოდ გამოიყენება დოლომიტიზებული კირქვა, რომელიც შეადგენს კალციტისა CaCO_3 და დოლომიტის $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ -ის იზომორფულ ნარევს. მისი გამოყენება ძირითადად განპირობებულია წილაში MgO -ს შემცველობის გაზრდის მიზნით.

კირქვის ნაკროვობის ზედა ზღვარი არ უნდა აღემატებოდეს 80 მმ, ქვედა—25 მმ. სააგლომერაციო კაზში კირქვის ფრაქცია 0—3 მმ შეადგენს.

საბოლოო კავშირში კირქვის ძირითადი საბადოებია ელენოვსკის, ნოვოტროიციის, კარაკუბსკის, ბლაკლაისის, კამიშ-ბურუნსკის (უკრაინის სსრ) და სხვ.

მკავე მდნობები გამოიყენება შედარებით იშვიათად, როცა აუცილებელია წილაში Al_2O_3 -ის შემცირება. მკავე მდნობებად ძირითადად კვარციტები, თიხოვანი ფიქლები და აგრეთვე SiO_2 -ის შემცველი ლარიბი მადანი გამოიყენება.

§ VII. 5. ბრძმედო გამოყენებული სათბოობი და მისი დახასიათება

ბრძმედული პროცესისათვის ძირითადად მყარი სათბობი—კოქსი გამოიყენება, რომელიც შეიცავს ~80%-მდე მყარ ნაწილობად.

ნაწილობად გამოიყენება კაზმის გასახურებლად და გასადნობად, აგრეთვე აღმდგენად და რკინის დაჰანახობადებელ რეაგენტად.

მყარი სათბობი, რომელიც ბრძმედულ პროცესში გამოიყენება, შემდეგ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს:

1. წვის მაღალი სითბო და მაღალი პირობეტალურგიული უნარი, მისი წვის დროს ბრძმედის პროცესისათვის აუცილებელი მაღალი ტემპერატურის შესაქმნელად;
2. მკვე მინარევების (S და P) მინიმალური შემცველობა;
3. საკმაო ფორიანობა კაზმის მაღალი აირკამტარობისათვის;
4. საკმაო სიმტკიცე და თბოქედეგობა;
5. ბრძმედული პროცესის პირობებში მათი შეუცხოებადობა;
6. მცირე ნაცრიანობა;
7. აქროლად ნივთიერებათა მცირე შემცველობა;
8. დაბალი ღირებულება.

მყარი ნედლი სათბობები თბომედეგობითა და შეცხოებადობით ამ მო-

თხოვნებს ვერ აკმაყოფილებს, რის შედეგადაც ხდება მათი სპეციალური წინასწარი მომზადება.

დიდი ხნის განმავლობაში ხის ნახშირი თუჯის წარმოებისათვის ერთადერთ ძირითად სათბობს წარმოადგენდა. ამჟამად მისი ბრძმედულ პროცესში გამოყენება მთლიანად შეცვლილია კოქსით, რომელიც საკოქსე ღუმელებში ქვანახშირის მშრალი გამოხდით მიიღება.

როგორც აღვნიშნეთ, ბრძმედში კოქსი პირველად გამოყენებულ იქნა ინგლისელების მიერ XVIII ს. 30-იან წლებში.

კოქსის წარმოება. კოქსი ეწოდება მყარ, შეცხოვილ, მკვრივ, ნაქროვან მასას, რომელიც წარმოიქმნება ქვანახშირის უპაეროდ 1000—1300°C-ზე გახურებით. დაკოქსის პროცესი მიმდინარეობს საკოქსე ღუმელების კამერებში, რომლებიც წარმოადგენენ 400—450 მმ სივანის პარალელურ, ლეპიპედს. კამერაში იტვირთება სპეციალურად მომზადებული საკოქსე კაზში რომელიც წარმოადგენს 0—3 მმ მარცვლების მქონე სხვადასხვა ხარისხის ქვანახშირის გასაშუალებულ ნარევეს. კანერები იზოლირებულია ატმოსფეროდან და მიერთებულია მხოლოდ აერის გაწოვ და დამკერ აპარატურასთან. სპეციალურ არხებში კამერის კედლების გაწოვრივ განუწყვეტლივ მოძრაობს წვის პროდუქტების ნაკადი, რომელიც აერის წვით მიიღება.

კოქსის მიღების პროცესი პირობითად 5 სტადიად იყოფა: შრობა, დაშლის საწყისი სტადია, პლასტიკური მდგომარეობა, ნახევრადკოქსის წარმოქმნა და კოქსის წარმოქმნა.

350°C-ზე მიმდინარეობს ქვანახშირის დაშლა. გამოყოფილი აქროლადი ნივთიერებანი და ფისი გაიტანება კამერის გარეთ. 350—500°C ინტერვალში კაზში გადაღის პლასტიკურ მდგომარეობაში და პლასტიკურ ფენას წარმოქმნის. კედლებთან ტექურატურა იზრდება და აქროლად ნივთიერებათა გამოყოფით ნახევრად დაკოქსის პროცესი მიმდინარეობს, ამის შედეგად წარმოიქმნება ფოროვანი მყარი მასა—ნახევრადკოქსი. საბოლოოდ კოქსის წარმოქმნა 1000—1300°C-ზე მთავრდება: შეცხოვილი მასა მოცულუბაში მცირდება და სკდება. პროცესი მთავრდება, როცა მთელი კაზი კოქსად გარდამიქმნება. ამის შემდეგ კოქსი კამერიდან გამოიხდვითება და ჩაქრება.

საკოქსე ქვანახშირი უნდა ხასითდებოდეს რიგი თვისებებით, რომელთაგანაც ყველაზე ძირითადი შეცხოვადობაა. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს წვრილად დამსხვრეული ქვანახშირის უპაეროდ გახურებისას შეცხოვილი მყარი ნაქროვანი პროდუქტის წარმოქმნის თვისებას. შეცხოვადობა დამოკიდებულია ქვანახშირის სიძველესა და შეცხოვის პირობებზე (ტემპერატურის აწვეის სიჩქარე, დამსხვრევის ხარისხი, შესაცხობი ფენის სიმკვრივე და სხვ.) ქვანახშირის მნიშვნელოვან თვისებებს განეკუთვნება აგრეთვე კოქსეადობა (ქვანახშირის თვისება წარმოქმნას საჭირო სიკვრივის მსხვილნაქროვანი კოქსი) და აქროლად ნივთიერებათა გამოსავალი.

საბჭოთა კავშირში ამჟამად დასაკოქსებლად ძირითადად შემდეგი მაჩის ქვანახშირები გამოიყენება: K—საკოქსე და ჯK—უხიმიანი.

კოქსის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესი რამდენიმე საფეხურისაგან შედგება: კაზმის მომზადება, კოქსის წარმოქმნა, ქიმიური პროდუქტების დაქერა და გადამუშავება და კოქსის წინასწარი დამუშავება.

კაზმის მომზადება შემდეგ ოპერაციებს აერთიანებს: ქვანახშირის შემოტანა ქარხანაში და მისი საწყობში მოთავსება, მისი შედგენილობის გასაშუა-

ლება, კაზმის შედგენა, ღოზირება, გამდიდრება, გამოშრობა, მსხვრევა და კაზმის არევა.

საკოქსე ღუმლები, ანუ საკოქსე კამერები, ჯგუფდება ბატარეებად. თითოეულ ასეთ ბატარეაში რამდენიმე ათეული საკოქსე კამერა შედის (77 ცალამდე).

დაკოქსვის ხანგრძლივობა 14—16 საათს შეადგენს. მიღებული კოქსი, როცის დაპაჟერების შემდეგ გამოიტივრთება კამერებიდან. გახურებული კოქსის ჩაქრობას ძირითადად სველი ხერხით—წყლის მეშვეობით აწარმოებენ. ჩაქრობა იუცილებელია, რათა არ დაეუშვათ გავიარებელი კოქსის ჰაერზე წვა, რაც თავიდან აგვაცილებს ნახშირბადის კარგვას.

ამჯამად არსებობს კოქსის ჩაქრობის უფრო პროგრესული ხერხი—მშრალი ჩაქრობა, რომელსაც სველ მეთოდთან შედარებით რიგი უპირატესობანი აქვს.

კოქსის მშრალ გამოხდას ინერტულ აირებთან აწარმოებენ. ამ დროს მიღებული სითბო სხვადასხვა დანიშნულებისათვის გამოიყენება, მთილება მალახარისხოვანი კოქსი და ატმოსფეროში არ ხდება გამოყოფილი მავნე აირების გადასვლა.

დაკოქსვის პროცესის ძირითად აქროლად პროდუქტებს წარმოადგენს კოქსის აირი, ბენზოლი, ფენოლი, ნაფტალინი, ქვანახშირის ფისი, ამონიუმის სულფატი და ქვანახშირის სქელფისი. მეტალურგიულ წარმოებაში მხოლოდ კოქსის აირი გამოიყენება.

1 ტ მშრალ კაზმიდან მიიღება 750—800 კგ კოქსი და 320—330 მ³ კოქსის აირი, რომლის კალორიულობაც 17200—18400 კჯ/მ³ შეადგენს. კოქსის აირი შეიცავს 55—60% H₂, 24—28% CH₄, 6—8% CO, 2—4% CO₂ და აზოტის, ენგბადისა და ნახშირწყალბადების ნაერთების უმნიშვნელო რაოდენობას. გარდა ამისა, 1 ტ მშრალი კაზმიდან მიიღება 33 კგ ქვანახშირის ფისი და 11 კგ ბენზოლი.

კოქსის ქიმიური შედგენილობა ძირითადად ორგანული მასისაგან ხასიათდება. კოქსის ორგანული ნივთიერება შეიცავს: 96,5 ÷ 97,5 % C, 0,5 ÷ 0,8 % H₂, 0,3—0,4% O₂ და S და N მცირე რაოდენობას. ანალიზის ძირითად მაჩვენებელს ნახშირბადის შემცველობა წარმოადგენს.

კოქსის ტექნიკური ანალიზი მარტივია და კოქსის ხარისხზე იძლევა რიგ ინფორმაციას. ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ნაცრის შედგენილობა (A), ტენინობა (W), აქროლადი ნივთიერებები (AB) და გოგირდი (S). ამ მეთოდით ნახშირბადის რაოდენობა შემდეგნაირად იანგარიშება: C = 100 - (AB + A + S). ჩვეულებრივ, მეტალურგიული კოქსის ნაცრიანობა 8—15%-ის ფარგლებშია.

კოქსის ნაცარი შეიცავს SiO₂, Al₂O₃ და Fe₂O₃ და (SiO₂ + Al₂O₃) = 50—75%, ამასთან, SiO₂ ყოველთვის 1,5—2-ჯერ მეტია Al₂O₃-ზე; Fe₂O₃-ის შემცველობა 10—20% არ აღემატება; (CaO + MgO) = 4—6%.

კოქსში არის გოგირდი: ორგანულ შასაში (67—76%) და მინერალურ ნაწილში—ნაცარში (20—25% სულფიდებში, 6—8% სულფატებში). ორგანული გოგირდი ქვანახშირის გამდიდრების პროცესში არ ცილებს, მაშინ როცა მინერალური ნაწილობრივ გამოიყოფა. კოქსში გოგირდის შემცველობა 1,2—2%-მდე იცვლება.

კოქსის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებიდან აღსანიშნავია სიმტკიცე, ფორიანობა და კუთრი მასა.

კოქსის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებიდან აღსანიშნავია რეაქციული უნარი და წვის უნარი. წვას უნარში იკულისხმება ქანგბადთან კოქსის ურთიერთქმედება; რეაქციულ უნარში—სხვა აირებთან ურთიერთქმედება (ძირითადად CO_2 და წყლის ორთქლთან).

კოქსის შემცველ ელემ. კოქსის შემცველებად შედარებით ფართოდ ბუნებრივი და კოქსის აირები გამოიყენება, აგრეთვე თხევადი და მტერისებრი სათბობები.

ბუნებრივი აირი შეიცავს 81—98% CH_4 და 1,5—1,6% ნახშირწყალბადებს. გარდა ამისა, მცირე რაოდენობით შედის ნახშირბადის (II) ოქსიდი და აზოტი.

გაწმენდილი კოქსის აირი შეიცავს 57—60% H_2 , 24—26% CH_4 , 2,5—3,0% C_nH_m და 6—7% CO .

მაზუთი შეიცავს 84—88% C , 10—11% H_2 , 0,7—4,0% S და 0,8% ($\text{O}_2 + \text{N}_2$). გარდა ამისა, შეიცავს 0,3% ნაცარს და 3—9% ტენს.

მტერისებრი სათბობს წარმოადგენს წერილად დაფქული ქვანახშირი.

§ V.I 6. დნობისთვის მადნის წინასწარი მომზადება

თანამედროვე ბრძმელის წარმოება დად მთხოვნებს უყენებს ნედლი მასალების ხარისხს. რკინის მადნის ძირითადი ფუნქციაა გარკვეულა სიდიდე, ქიმიურა შედგენილობის ერთგვარონობა და მასში რკინის მაალაი შემცველობა. ამეამად შეტალურგიული ნედლეულის აკც ერთი სახე არ გამოიყენება ამა თუ იმ წინასწარი მოზადების გარეშე.

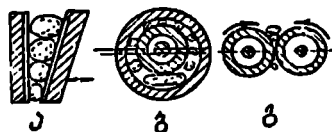
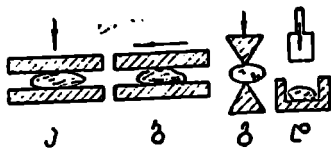
ბრძმელის მწარმოებლურობის ამაღლებისა და სათბობის ხარჯის შემცირების ძირითად რეზერვს კაზში რკინის შემცველობის გაზრდა წარმოადგენს; დადგენილია, რომ კაზში რკინის შემცველობის 1%-ით გაზრდა გვამღევს კოქსის ხარჯის 1—3%-ით შემცირებას. მადაწში რკინის შემცველობის გაზრდის ეფექტური საშუალებაა მადნის გამდიდრება. გარდა ამისა, ბრძმედულ პროცესში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კაზმის ერთგვარონობას ნაჭრების ზომებისა და ქიმიური შედგენილობის მიხედვით.

მაღნებისა და ნელაი მასალების მოზადებისათვის გამოიყენება შემდეგი მეთოდები: ა. მსხვრევა და კლასიფიკაცია; ბ. გასაშუალება; გ. გამდიდრება; დ. დანაჭრონება. განეხილოთ მოკლედ თითოეული მეთოდი ცალ-ცალკე.

მსხვრევა. მსხვრევა წარმოადგენს მყარი მასალების ზომების შემცირების მიზნით გარეშე ძალების ზემოქმედებით გამოწვეულ რღვევის პროცესს და მიზნად ისახავს მიანიჭოს მასალის ნაჭრებს გარკვეული სიდიდე.

მადნის მსხვრევა შესაძლოა წარმოადგენდეს ძირითადს ან მოსამზადებელ ოპერაციას მათი შემდგომი დნობისათვის. ძირითად ოპერაციას წარმოადგენს იმ შემთხვევაში, როცა დასხვრეული მადანი დნობისათვის მიეწოდება უშუალოდ ბრძმელს და არ მოითხოვს წინასწარ გამდიდრებას ან დანაჭრონებას.

მოსამზადებელ ოპერაციას იყენებენ ყველა გასამდიდრებელი მადნისათვის. რაც მცირეა მადნის დასხვრეული ნაწილაკები, მით უფრო სრულყოფილად წარმოებს შემდგომ მათი გამდიდრება. თანამედროვე სასხვრევი და ნადგარები საშუალებას იძლევა მივიღოთ 6—8 მმ-მდე ზომის ნაშხვრეები ასეთი ზომის მადანი განიკლის მხოლოდ წინასწარ გამდიდრებას. უფრო ღრმა



ნახ. VII.1. მსხვერვის მეთოდებს სქემატური გამოსახულება: ა—გაქვლევათ; ბ—გაცვეთათ; გ—გაპობათ; დ—დარტყმით.

ნახ. VII.2. გაქვლეტვის მეთოდების სახეობანი: ა—მრხველი ბრტყელუბებიანი; ბ—ექსცენტრიკულად განლაგებული მრგვალუბდაპირებიანი; გ—მბრუნავგლინებიანი.

გამდიდრებისათვის აუცილებელია ნამსხვრევების დაფქვა 1 მმ ზომის ნაწილაკებამდე (ზმირად მათ 0,1 მმ-ზე ნაკლებადაც ფქვავენ). ამ შემთხვევაში მსხვრევას ემატება წმინდად დაფქვის ოპერაცია.

მსხვრევისა და დაწვრილმანების მთელი პროცესი რამდენიმე საფეხურს შეიცავს (თანდთანობითი მათი დაქუცმაცებით). ყოველ საფეხურზე მსხვრევის პროცესის ტექნოლოგიურ მაჩვენებელს მსხვრევის ხარისხი და ეფექტურობა წარმოადგენს.

მსხვრევის ხარისხი განისაზღვრება დასამსხვრევი და დამსხვრეული ნიჭრების მაქსიმალური ზომების ჯარლობით: $i = D/d$, ხოლო მსხვრევის ეფექტურობა—დამსხვრეული მასალის იმ გამოსავლით, რომელიც ერთეული ელექტროენერჯის ხარჯით მიიღება.

მყარი სხეულების მსხვრევა პირობითად იყოფა: მსხვილი—1500-იდან 300 მმ-დე; საშუალო—300-იდან 30 მმ-მდე; წვრილი—30-იდან 3—5 მმ-მდე წმინდა—3—5-იდან 0 მმ-მდე.

მსხვილი მსხვრევისათვის მსხვრევის ხარისხი 2—5 შეადგენს, საშუალო-სათვის—5—10, წვრილისათვის—10—50 და წმინდასათვის—>50.

მსხვრევა და დაწვრილმანება მეტად ენერგოტევალი და ძვირადღირებული პროცესია, ამიტომ ცდილობენ, რაც შეიძლება შეზღუდულ იქნეს მსხვრევის საფეხურები.

მსხვრევა შესაძლოა განხორციელდეს: გაქვლეტით (გათელებით), ცვეთით, გაპობითა (გახლენით) და დარტყმით (ნახ. VII.1).

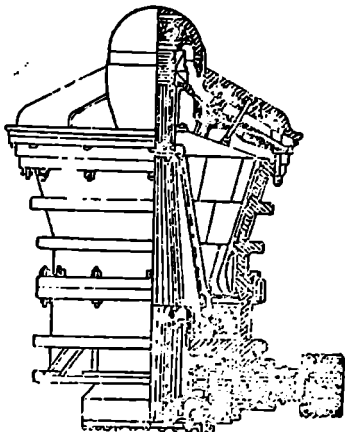
მსხვრევის მეთოდებისა და სამსხვრეველას ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია მასალის ფიზიკურ თვისებებზე, მის საწყის სიდიდესა და დამსხვრეულ ნაწილაკების ზომაზე.

მყარი და რბილი მასალების მსხვრევისათვის შედარებით რაციონალურია გაქვლეტვის (გათელების), დარტყმისა და გაცვეთის მეთოდების გამოყენება; მყიდვე მასალებისათვის კი—გაპობის.

წინააღმდეგობას, რომელსაც მასალა უწევს მსხვრევას, მისი სიმტკიცე, ანუ სიმაგრე, ეწოდება.

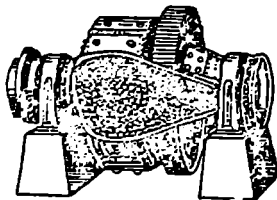
აშეამად მეტალურგიაში გამოიყენება სამსხვრეველას რამდენიმე ტიპი. გაქვლეტით (გათელებით) მსხვრევა ხორციელდება მრხველადებებიან ექსცენტრულად განლაგებულ ორზედაპირიან ან მბრუნავგლინებიან სამსხვრეველებში (ნახ. VII.2), ხოლო დარტყმითი მსხვრევა ხორციელდება ფილთაქვაში, ღებინტეკრატორებში ან მბრუნავ ჩაქურებიან (ან ღერობიან) სამსხვრეველებში.

მასალების მსხვრევა უმთავრესად ყებებიან სამსხვრეველაში წარმოებს. ყებებიანი სამსხვრეველა წარმოადგენს პერიოდული ქმედების მექანიზმს. ამეამად გამოიყენება სხვადასხვა აღნაგობისა და ზომის სამსხვრეველები.



ნახ. VII.3. კონუსური სამსხვრეველის სქემატიკური გამოსახულება..

მასალის საშუალო და მსხვილად დასამსხვრევად გამოიყენება, აგრეთვე, კონუსური სამსხვრევლა (ნახ. VII.3). მსხვრევა მიზდინარეობს ორი წაკვეთილი კონუსების ზედაპირებს შორის. არსებობს ასეთი სამსხვრეველის რამდენიმე ტიპი, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ღერძის დამაგრების სახით.



ნახ. VII.4. მბრუნავი კონუსებზე-თელებიანი წისქვილი.

ამ უკანასკნელზე დამაგრებულია მოძრავი კონუსი.

მბრუნაველნიან სამსხვრევლებში შესაძლოა გლინებს შორის ღერძის ზომების ცვლა. მათი მწარმოებლურობა 40 - 150 ტ/სთ შეადგენს.

შშინდა დაწვრილმანებისათვის ძირითადად გამოიყენება ისეთი წისქვილი, სადაც დარტყმები შერწყმულია ცვეთასთან. ამგაოდ ყველაზე ფართოდ გამოიყენება მბრუნავი წისქვილები, სადაც დაწვრილმანება ხორციელდება მყარი სხეულებით (ლითონის ღეროებით ან ბურთულებით) (ნახ. VII.4). ამის შემდეგ წარმოებს დასმხვრეული მასალის გაცხრილვა, რისთვისაც დიდი გავრცელება პოვა დოლისებრმა და გორგოლა ქები-ნაპტავებმა.

გაცხრილვა და კლასიფიკაცია. მექანიკური ცხრილებით ან საცრებით მასალების სორტირებას მათი სიდიდის მიხედვით გაცხრილვა ეწოდება, ხოლო წყლის ან ჰაერის გამოყენებით დახარისხებას, რომელიც დაწყობულია სხვადასხვა ზომის ნაქრების ვარდნის სიჩქარეთა სხვაობაზე, პიდრავლიკური ან ჰაერული კლასიფიკაცია ეწოდება.

გაცხრილვით ყოფენ 1-3 მ ზომის მასალებს, ხოლო უფრო წვრილ ფრაქციისას—კლასიფიკაციის მეთოდებით.

ამ პროცესების ძირითადი მაჩვენებლებია: მწარმოებლურობა და ეფექტურობა.

გაცხრილის მიზანია ცხაურზე მიწოდებულ საწყის მასალიდან წვრილმანი ფრაქციის სრულყოფილი მოცილება. ამ პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს საწყისი მასალების შედგენილობა. ნაქრების სიდიდის მიხედვით გაცხრილის მწარმოებლურობის დაცემა და პროცესის გაუარესება შეიძინევა იმ ზომის ნაქრების არსებობის შემთხვევაში, რომელთა ზომებიც ცხაურის ხერელის ზომებს უახლოვდება. ასეთი ნაწილაკები ანშობს ცხაურის ხერელებს და დაბლა წევს ცხრილების ან საცრების მწარმოებლურობას.

გაცხრილის პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს, აგრეთვე, მასალის პიგროსკოპული ტენი.

გაცხრილების დანადგარები შემდეგნაირად იყოფა: ა. მოძრავი და უძრავ-
ცხურებიანი; ბ. ნახევრადები-რაციული და ვიბრაციული და გ. დოლიანი.
ყველა აღნიშნული დანადგარის ძირითადი ნაწილია ცხრილები.

1 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციის მასალის კლასიფიკაცია მათი დიდი დამტვე-
რებების გამო წყლის მეშვეობით—პილრაელიკური მეთოდით წარმოებს.
ამის შედეგად მიიღება მიახლოებით ერთნაირნაწილაკებიანი მასალა. დანად-
გარებს, რომლებიც სველი კლასიფიკაციისათვის გამოიყენება, პილრაელიკური
კლასიფიკატორები ეწოდება.

ამ მეთოდის უარყოფითი მხარეა წყლის დიდი ხარჯი. ამიტომ იმ რაი-
ონებში, სადაც წყლის ნაკლებობაა, იყენებენ ჰაერის, ანუ პნევმატიკური
კლასიფიკაციას. ჩვეულებრივ, იგი უპირისპირდება საფეკავ წისქვილებს და
მშრალ გამდიდრებას.

მადნის გასაშუალოება. განლაგებისა და მოპოვების პირობების
მიხედვით რკინის მადანს აქვს ცვალებადი ქიმიური შედგენილობა. მადანში
რკინისა და ფუქვი ქანების შემცველობის ცვლილება დიდ გავლენას ახდენს
ბრძმედის თბურ რეჟიმსა და წილის შედგენილობაზე. ყოველივე ეს იწვევს
ბრაქმედის ნორმალურ მსვლელობის დარღვევას, კოქსის ხარჯის ზრდას, ლუმ-
ლის მწარმოებლურობის შემცირებას, გამოსადნობი თუჯის ქიმიური შედგე-
ნილობის არაერთგვაროვნებას, ამიტომ ბრძმედული დნობის მაჩვენებელზე
მადნის ქიმიური შედგენილობის ცვლილების უარყოფითი ზეგავლენის შემცი-
რების მიზნით აწარმოებენ მადნის გასაშუალოებას. ქიმიური და გრანულო-
მეტრაული შედგენილობის გაერთგვაროვნების მიზნით მადნის ბრევის გასა-
შუალება ეწოდება. რადგანაც თითქმის ყველა მადანი მაინც განიცდის დანაქ-
როვნებას, ამიტომ, უპირველეს ყოვლისა გასაშუალების ძირითად დანიშნუ-
ლება მადანში რკინის შემცველობის ცვლილების შემცირებას წარმოადგენს.
ამემადა, ახალი ტექნიკური პირობებით, მადანში რკინის შემცველობის ცვლი-
ლება საშუალოდ 0.25% არ უნდა აღემატებოდეს.

მადანში წვრილი მარცვლების (3 მმ) 10%-ზე მეტი შემცველობა იწვევს
კოქსის ხარჯის 4—7% ით ზრდას.

მადნის გასაშუალოება წარმოებს მადნის ებოში, რომელიც ბრძმედის
აქლოს მდებარეობს. მადნების გასაშუალება წარმოებს გრეიდერული ამწეების
ან ლენტური ტრანსპორტირების მეშვეობით. ძირითადად გამოიყენება პორ-
ტალური გრეიდერული ამწეები. გრეიდერის ნაწილობრივი გახსნით და ამწის
გადაადგილებით მადანი გარკვეული მიმართულებით იყრება.

მადნის გაშლიდრება პირველადი დამუშავების პროცესია, რომ-
ლის დროსაც სასარგებლო მინერალები გამოიყოფა ფუქვი ქანებიდან, ანუ
გაშლიდრების შედეგად მიიღება მადნის კონცენტრატი, სადაც ძირითადი
ელემენტის კონცენტრაცია უფრო მაღალია, ვიდრე საწყის ნედლეულსა და
ნარჩენებში. გაშლიდრების შედეგად მადნიდან გამოიყოფა ე. წ. კულები (ნარ-
ჩენები) და შუალედური პროდუქტი. ხშირ შემთხვევაში შუალედური პრო-
დუქტი არ გამოიყოფა და პროცესის საბოლოო პროდუქტებს კონცენტრატი
და კულები წარმოადგენს.

გამდიდრების შედეგად მიღებული კონცენტრატის გამოსავლის (γ) გან-
საზღვრისათვის იყენებენ შემდეგ გამოსახულებას:

$$\gamma = \frac{\alpha - Q}{\beta - Q} \cdot 100\%, \quad (\text{VII.1})$$

სადაც α არის მადანში ლითონის საწყისი შემცველობა (%); β —კონცენტრატში ლითონის შემცველობა და Q —ქედებში ლითონის შემცველობა.

მადნის გაშლიდრების ეფექტურ მაჩვენებელს წარმოადგენს აგრეთვე სასარგებლო ელემენტის ამოღების ხარისხი, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\varepsilon = \gamma \frac{\beta}{\alpha} \quad (\text{VII.2})$$

მაგალითათვის განვიხილოთ მაგნეტიტური კვარციების განმადრება, რომელშიც რკინის შემცველობა $\alpha=38\%$ და გაშლიდრების შემდეგ კონცენტრატში მისი შემცველობა $\beta=60\%$ -მდე გაზარდა. ნარჩენებში რკინის რაოდენობა $Q=10\%$. მაშინ კონცენტრატის გამოხველი იქნება

$$\gamma = \frac{\alpha - Q}{\beta - Q} \cdot 100\% = \frac{38 - 10}{60 - 10} \cdot 100 = 56\%$$

კონცენტრატში რკინის აზოლების ხარისხი იქნება:

$$\varepsilon = 56 \cdot \frac{60}{33} = 88,42\%$$

ამასთან, ნარჩენებში რკინის დანაკარგები შეადგენს:

$$100 - 88,42 = 11,58\%$$

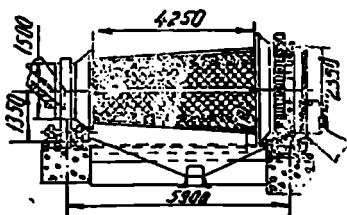
მადნის გაშლიდრების რამდენიმე ხერხი არსებობს, რომლებიც დამყარებულია მადანში შემავალი მინერალების ფიზიკურ თვისებებზე. ასეთებია: გარეცხვა, გრავიტაცია, ფლოტაცია და მაგნიტური სეპარაცია. განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

ა) გარეცხვა. მადანს რეცხავენ ფუქი ქანის მოცილების მიზნით. ჩვეულებრივ, ამ ოპერაციას აწარმოებენ სპეციალურ მბრუნავ დოლებსა, (ნახ. VII.5) და ვარცლურ (გობან) საჩრებელში (ნახ. VII.6). სარეცხელი მბრუნავი დოლი შესაძლოა იყოს ცილინდრული ან კონუსური (ცხაური ან მთლიანი ზედაპირით). კონუსური დოლების ლერძი ჰორიზონტალურადაა მოთავსებული და მადნის გადაადგილება მის დახრილ ზედაპირზე მიმდინარეობს. ცილინდრული სარეცხელი დოლების ლერძი ჰორიზონტალურთან $5-7^\circ$ -ითაა დახრილი, რათა მოხდეს მასალის გადაადგილება. ხშირად ამ მიზნით მის ზედაპირზე სპირალურად კუთხოვანების გარკვეულ რაოდენობას ამოგრებენ.

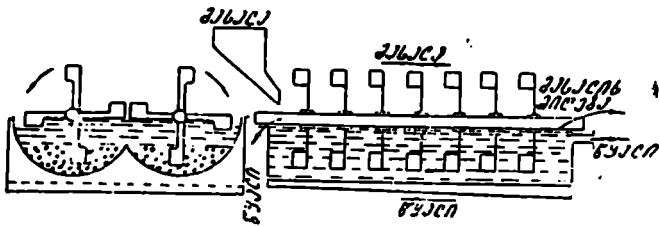
გარეცხვისათვის დოლში გატარებულია სპეციალური შილი, რომლის მეშვეობითაც $4-8$ ატმოსფეროს წნევით მიეწოდება წყალი. ფუქი ქანები და მადნის წვრილი შემადგენელი ნაწილაკები ცხაურის ხერელების გავლით წყალთან ერთად გარეთ გამოიძინება.

კონუსური სარეცხელი მბრუნავი დოლების სიგრძე $5-7$ მ აღწევს; ჩასატეირი ბოლოში დიამეტრი $1,5$ მ შეიძლება, ხოლო გადმოსატეირი ბოლოში— $2,5$ მ-ს. ცილინდრული სარეცხელი დოლების სიგრძე 10 მეტრს შეადგენს, დიამეტრი— $2,5$ მ; მათი ბრუნვა რიცხვი დაახლოებით $10-15$ ბრ/წთ შეადგენს. თანამედროვე სარეცხი დოლების მწარმოებლურობა 100 -იდან 300 ტ/სთ-ია.

მადნის ვარცლური სარეცხელი შედგება $1,2-2,4$ მ სიგანისა და $6-8$ მ



ნახ. VII.5. ცხურზედაპირიანი კონუსური სარეცხი დოლი.



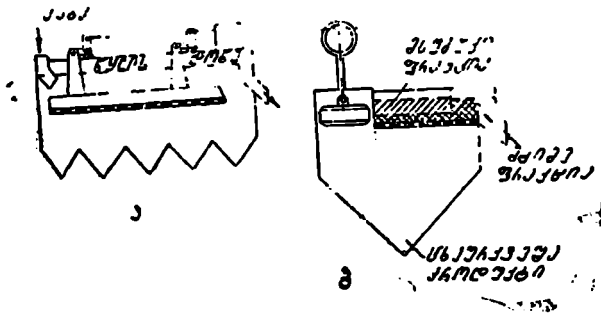
ნახ. VII.6. ვარცლური სარეცხის სქემა.

სიგრძის ვარცლისაგან (გობისაგან). მისი ძირი დახრილია 5° ; ვარცლში მოთავსებულია ხრახნულად დამაგრებული ფრთებიანი ორი ღერძი, რომლებიც ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით ბრუნავენ $12-15$ ბრ/წთ სიჩქარით.

მადანი გაიღლის წყლის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რომელიც ფრთების ბრუნვის მეშვეობით ხორციელდება, ვარცლური სარეცხელებს იყენებენ მადნისათვის, რომელთა ნაჭრების ზომები $70-80$ მმ არ აღემატება. მათი მწარმოებლურობა $60-80$ ტ/სთ შეადგენს. 1 ტ მადანზე წყლის ხარჯი $2-5$ მ³-ია. ამოღების ხარისხი (ϵ) $85-89\%$ შეადგენს.

ბ) გ რ ა ვ ი ტ ა ც ი ა. მადნის გრავიტაციით გამჟღავნება დამყარებული მადანში შემავალი მინერალებისა და ფუჭი ქანების კუთრი წონის სხვადასხვაობაზე. გასამდიდრებელი მასალები გადაეცემა წყალში ჩაშვებულ საცერს და განიცილის წყლის ნაკადის აღშავალ და დამავალ ცვალებად ზეშოკებას. აღშავალი ნაკადის დროს მინერალების მარცვლები ამოტივტივდება საცერის თავზე. ამასთან, მსუბუქი მარცვლების ამოტივტივება ხდება უფრო სწრაფად ვიდრე მძიმეებისა. დამავალ ნაკადის დროს კი—მძიმე ნაწილაკები უფრო სწრაფად ეშვება დაბლა, ვიდრე მსუბუქები. დროთა განმავლობაში მძიმე ნაწილაკების (მინერალის) გარკვეულ ფენა საცერს ქვემოთ მოექცევა, ხოლო მსუბუქების (მცირე კუთრი წონის)—ზემოთ. ეს ხერხი ისეთი მადნის გასამდიდრებლად გამოიყენება, რომელთა ნაწილაკები $0,5-60$ მმ შეადგენს.

განასხვავებენ ორი სახის დასალექ მანქანებს: ა. მოძრავი საცრით, რომელიც ვერტიკალურ სიბრტყეში აწარმოებს უკუქცევით-წინსვლითს მოძრაობას (ნახ. VII.7, ა) და ბ. უძრავი საცრით (ნახ. VII.7, ბ), რომლებშიც წყლის მოძრაობა დღუშით ხორციელდება.



ნახ. VII.7. დასალექი მანქანების სქემა.

უძრავსაცრიან მანქანებში დღეში გამოწვეული წყლის მოძრაობა იწვევს გასამდიდრებელი მასალის განშრეეებას და ნაწილაკების სხვადასხვა სიჩქარით გაუადგილებას. მძიმე, დაღეკილი მადანი (კონცენტრატი) გამოდის გვირგვინი ზეგრილიდან, ხოლო მსუბუქი ნაწილაკები კი გვერდითი გამოსაშვებზე ზღურბლიდან წყლის ნაკადს მიყვება. ასეთი მანქანების მწარმოებლურობა შეადგენს 1 მ³ საცერის ზედაპირზე 4 ტ/ს; წყლის ხარჯი 1 ტ მადანზე 3—5 მ³ აღწევს.

მოძრავსაცრიანი მანქანების მწარმოებლურობა 1 მ³ საცერის ზედაპირზე 4—7 ტონას აღწევს. ამასთან, წყლის ხარჯი გაცილებით მცირეა (2—3 მ³ 1 ტ მადანზე).

არსებობს აგრეთვე მადნის მძიმე სითხეებსა და არეებში გრავიტაციული გამდიდრება. ამ შემთხვევაში სითხის ან სუსპენზიის სიმკვრივე ფუქვი ქანების სიმკვრივეზე მეტია, რის შედეგადაც ისინი ამოტივტივდებიან სითხის ზედაპირზე, ხოლო უფრო მძიმე ნაწილაკები—ილექება. გამოყენებული სითხის სიმკვრივე 3 გ/სმ³ უნდა იყოს. ასეთი სიმკვრივე მრავალ ორგანულ სითხეს აქვს, მაგრამ სიძვირის გამო მათი გამოყენება ძალზე შეზღუდულია.

გ) ფლოტაცია. გამდიდრების ფლოტაციის მეთოდი დამყარებულია მადნისა და ფუქვი ქანების ნაწილაკების ზედაპირების სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, უფრო სწორად, სითხეში არსებულ ჰაერის ბუშტულებთან ფუქვი ქანებისა და მადნის მინერალების წვრილი ნაწილაკების მიკერის უნარსა და სითხის ზედაპირზე ქაფის სახით ამოტივტივებაზე. ამოტივტივების უნარი ისეთ ნივთიერებებს აქვთ, რომლებიც წყლით არ სველდებიან. ასეთი ნივთიერებები ჰაერის ბუშტულებს ადვილად ეკვრიან და იოლად ამოტივტივდებიან, ხოლო მინერალები, რომლებიც სველდებიან წყლით,—ჰაერის ბუშტულებს არ ეკვრიან და წყალში იძირებიან.

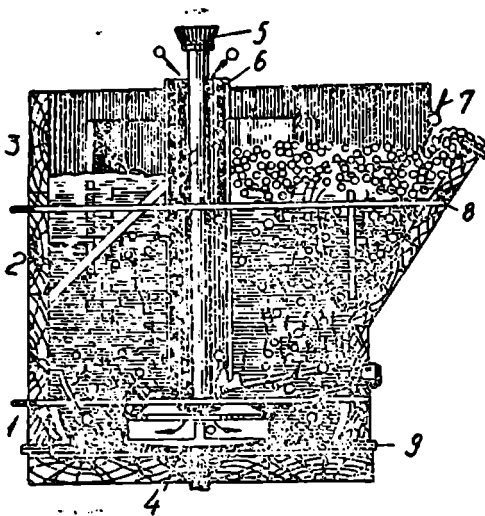
ჩვეულებრივ, ფუქვი ქანის ნაწილაკები წყლით კარგად სველდება და იძირება ძროზე, ხოლო მადნის მინერალის ნაწილაკები კი პირიქით—ქაფის მეშვეობით ამოტივტივდება სითხის ზედაპირზე.

ფლოტაციის პროცესის განხორციელებისათვის წვრილად დაფხვნილი მადანი (0,2—0,01 მმ) წყალთან ერთად მექანიკურად ან წყლისა და ჰაერის ერთობლივი ქაფლით ირევა. წყალში სპეციალურად დამატებულია მცირე რაოდენობით შემკრები (კოლექტორი) და ამჟაფებელი ნივთიერებანი.

გასამდიდრებელი მასალა ფლოტაციის წინ სხვადასხვა ორგანული მასალებით, ე. წ. საფლოტაციო რეაგენტებით გადის წინასწარ რთულ დამუშავებას. ამ რეაგენტებიდან მთავარს ე. წ. კოლექტორი, ანუ შემკრები, წარმოადგენს.

შემკრები ნივთიერებები თავს იყრის მათლოტრიბელ მინერალის ნაწილაკების ზედაპირზე და სითხის მიმართ მათ უსველებადს ხდის, რის შედეგადაც ისინი იოლად ეკვრიან ჰაერის ნივთიერებს და გამოიდევენებიან სითხის ზედაპირზე. აქედან მინერალიზებული ქაფი თვითღინებოთ ან მექანიკური საშუალებებით სცილდება სითხის ზედაპირს, რომელსაც მიყვება გამდიდრებული კონცენტრატი, ხოლო ფუქვი ქანის ნაწილაკები რჩება ნალექში, ე. წ. პულპაში.

ამჟამად, შემკრებ ნივთიერებად ძირითადად სინთეზური რეაგენტები გამოიყენება, რომლებიც მიიღება გოგირდნახშირბადის, სპირტისა და ტუტების ურთიერთქმედებით. ამჟაფებელ ნივთიერებებად ხშირად გამოიყენება ფიქვის ზეთი, რომლის ხარჯი 1 ტონა მადანზე 50 გ შეადგენს.



ნახ. VII.8. მექანიკური ფლოტაციური მანქანის მოქმედების სქემა: 1—ჰაერაციისა და არევის უბანი; 2—გაყოფის უბანი; 3—კონცენტრაციის უბანი; 4—სარევი; 5—ღერძი; 6—მილი.

ფლოტაციის მანქანები ორ ტიპად იყოფა: მექანიკური და პნევმატიკური. პირველი ტიპის მანქანებში პულპის არჩევა და ჰაერის დისპერსირება მბრუნავი მექანიკური სარევის მეშვეობით წარმოებს (ნახ. VII.8).

პნევმატიკური ფლოტაციის მანქანებში პულპის არევა და დისპერსირება ჰაერით მიმდინარეობს, რომელიც მაღალი წნევით გადაეცემა.

პირობითად მექანიკური ფლოტაციის მანქანებში შესაძლოა გამოიყოს 3 უბანი:

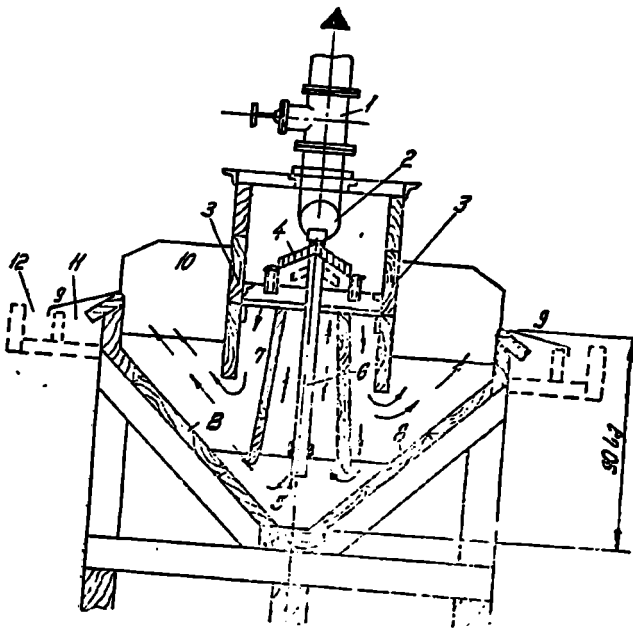
1. ჰაერაციისა და არევის, 2. გაყოფისა და 3. კონცენტრაციის. კამერის ძირში მოთავსებულია რადიალური ფრთებით აღჭურვილი სარევი დისკო 4. არევის ღერძი 5 გადის ვერტიკალურ მილში 6, რომელიც ქვევით ეყრდნობა დამაგრებულ მიმდებ ხეუს. ამ მილის საშუალებით სარევის ფრთებზე მიწოდებული პულპა ცენტრიდანული ძალებით გაიტყორცნება განზე და ზემოთ. სარევის სწრაფი მოძრაობით ხდება ჰაერის გაიშვიათება, რის შედეგადაც შერევისა და ჰაერაციის უბანში შეისრუტება ჰაერი და პულპა. ამ უბანში იხინი ერთმანეთს ერევიან და წარმოებს სითხის გაჯერება ჰაერის წერილი ბუშტულების დიდი რაოდენობით. გაყოფის უბანში 2 ჰაერის ბუშტულები მიკრობილი მინერალის ნაწილაკებთან ერთად მალლა მიემართება, ხოლო ფუჭი ქანების ნაწილაკები იძირება და დისკოს ხერხელების გავლით გადადის ისევ შერევის უბანში 1.

კონცენტრაციის უბანში 3 გამდიდრებული მასალა მინერალიზებული ქაფის სახით ნაწილობრივ გამოიყოფა ტახრით 7,8, თავს იყრის ტიხრის ზემოთ და მბრუნავი სახვეტის მეშვეობით ცილდება.

ფლოტაციურ მანქანას, ჩვეულებრივ, რამდენიმე თანამიმდევრულად განლაგებული სარკმლები აქვს. მათი მუარმოებლურობა 10—20 ტ/სთ შეადგენს.

პნევმატიკურ ფლოტაციურ მანქანებიდან დიდი გავრცელება პოვა აერლიფტურმა მანქანებმა (ნახ. VII.9), რომლებიც რიგი სარკმლებისაგან შედგება.

ჰაერი 0,12—0,15 ატ წნევით ვერტიკალური მილების საშუალებით გადაეცემა ასარევ სარკმელში, რომელიც ვერტიკალური ტიხრებისაგან შედგება. მიწოდებული ჰაერი ასარევ სარკმელიდან პულპას დევნის ზევით, ხადაც სახვეტით აბაზანისკენ მიეღინება. ქაფის წარმოქმნა ვერტიკალურ ტიხ-



ნახ. VII.9. აერლიფტური პნემატიკური ფლოტაციური მანქანა: 1—საკონტროლო ვენტილი; 2—პერეზომეზანი; 3—ტისარი; 4—ახაქცივი; 5—გაიშვითების უბანი; 6—სამაერო მილები (~25 მმ); 7—გრძივი ტისარი; 8—განვიტისარი; 9—ღარი; 10—შივრალიზებული ქაფის წარმოქმნის უბანი; 11—ღარი შეაღები პროდუქტისათვის; 12—ღარი კონცენტრატისთვის.

რებს შორის ხორციელდება და გამოიტვირთება გამოსატვირთ ღარზე. ქაფის ფენის სისქე დაახლოებით 100—200 მმ-ია. ასეთი 1 მეტრი სიგრძის მანქანების მწარმოებლურობა 100 ტ დღე-ღამეში შეადგენს. ფლოტაციით გაშლილ რებას დიდი როლი ენიჭება ფერადი მადნების გასამდიდრებლად. რკინისა და მანგანუმის მადნებისათვის ამ მეთოდის გამოყენება შედარებით შეზღუდულია, რაც გამოწვეულია რკინისა და მანგანუმის ამოღების დაბალი ხარისხით—66—70% და დაბალი მწარმოებლურობით. ძირითადად ფლოტაციის მეთოდით გაშლიდრება წარმოადგენს მაგნიტური სეპარაციით გამდიდრებული მადნის კულებიდან სასარგებლო მინერალების გამოყოფის ეფექტურ საშუალებას.

ღ) მაგნიტური სეპარაცია. რკინის მადნების გაშლიდრების ერთ-ერთ გავრცელებულ ხერხს ელექტრომაგნიტური სეპარაცია წარმოადგენს. ამ მეთოდით მადანი, რომელსაც მაგნიტური შემთვისებლობა აქვს, ფუჭი ქანებისაგან ელექტრომაგნიტური ძალების გავლენით გამოიყოფა. მაღალი მაგნიტური შემთვისებლობის უნარით ხასიათდება მაგნეტიტები და ტიტანომაგნეტიტები; უფრო ნაკლებით—ნახევარმარტატები და მარტიტები; კიდევ უფრო ნაკლებით—გემატიტები; ხოლო უმნიშვნელოთი—არალითონური მინერალები.

მაგნიტურ სეპარატორებში მინერალების მარცვლები მაგნიტური და მე-

ქანიკური ძალების ზემოქმედებით მოძრაობს სხვადასხვა ტრაექტორიით. არა მარტო მარცვლების ტრაექტორია განისაზღვრება ძირითადად მექანიკური ძალებით, რომლებიც მოქმედებენ ამ მარცვლებზე (მაგალითად, ტრანსპორტის ლენტის მოძრაობის შედეგად მარცვლებზე მიყენებული ძალები). ამ გვარად, ამ მეთოდში დიდ როლს ასრულებს მექანიკური ძალები. რომელიც ძირითადად სიმძიმისა და ცენტრიდანული ძალები წარმოადგენენ.

მაგნიტური შემთვისებლობის მიხედვით მინერალები ოთხ ჯგუფად იყოფა:

1. ძლიერმაგნიტური. მათ მიეკუთვნება მაგნეტიტი, ტატანომაგნეტიტი, მაგნიტური რკინის ცანგი, გაპოშვარი საღერატი მცირედდაქანგული ნახევარმარტიტები. მაგნიტური ალმადანი;
2. საშუალომაგნიტური მინერალები. მათ რიცხვში შედის ტიტანური რკინაქვა, ნახევარმარტიტი და მარტიტი მაგნეტიტის ჩანართებით;
3. სუსტი მაგნიტური მინერალები. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება მანგანუმიანი მინერალები და რკინისშემცველი მინერალების უმეტესი ნაწილი: გემატიტი, მარტიტი, რკინის ჰიდროქსიდი და სიდერატი;
4. არამაგნიტური მინერალები. ამ ჯგუფს განეკუთვნება ფუჭი ქანები: კვარციტები, მინჯვრის შპატი, კალციტები, აპატიტი და სხვა.

მშრალი და სველი სეპარირებისათვის თანამედროვე მაგნიტური სეპარატორები მზადდება მუდმივი ან ცვლადი ელექტრომაგნიტებით. კონსტრუქციულად იგი შეიძლება იყოს დოლური, ლენტური, შკივური, გორგოლაკური და რგოლური. VII.10 ნახაზზე ნაჩვენებია მსხვილნაკვრავანი მადნების გასამდიდრებლად გამოყენებული მაგნიტური სეპარატორის სქემა.

მაგნიტური გამდიდრების შემთხვევაში წინასწარმომზადებული მადანი, რომელიც მაგნიტური შემთვისებლობით ხასიათდება, უწყვეტი ლენტის მეშვეობით ხედება მაგნიტურ ველში. ამ უქანასკნელის ძალხაზები თავს იყრის მინერალის მარცვლებში, ამაგნიტებს მას, რის შედეგადაც ისინი მიიზიდებიან მაგნიტის მიერ. არამაგნიტური მასალები არ განიცდის მაგნიტური ველის გავლენას და თავისუფლად გადიან მის არეში. მიზიდული ნაწილაკები, როგორც კი გაივლის მაგნიტური ველის არეს, სიმძიმის ძალის მეშვეობით ცილდება ტრანსპორტიორის ლენტას და თავს იყრის სპეციალურ ბუნკერებში. არამაგნიტური მასალის ნაწილაკები კი — ცენტრიდანული ძალების მეშვეობით გაიტყორცნება მაგნიტური ველის სფეროდან გარკვეული ტრაექტორიით და თავს იყრის მათთვის განკუთვნილ მეორე ბუნკერში.

თანამედროვე მაგნიტურ სეპარატორებში მაგნიტური ველის შესაქმნელად გამოიყენება მუდმივი მაგნიტი. რკინის მადნის მაგნიტური გამდიდრება ხორციელდება სველი ან მშრალი მაგნიტური სეპარაციით, ან შესაძლოა გამოიყენებულ იქნეს კომბინირებული მეთოდი (მშრალი სეპარაცია შემდგომი სველი სეპარირებით). თანამედროვე მაგნიტური სეპარატორების მწარმოებლობა საათში 400 ტ-მდე შეადგენს.

სუსტი მაგნიტური თვისებების მქონე მადნისათვის წინასწარ აწარმოებენ ე. წ. მაგნეტიზებულ, ანუ აღდგენით, გამოწვას,



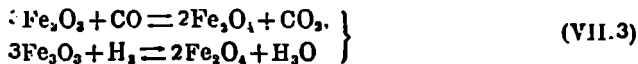
ნ-ბ: VII 10 მაგნიტური სეპარატორის სქემა.

რის შემდეგაც მადნის მაგნიტური ამთვისებლობა აზრდება. ამის შემდეგ ისინი ჩვეულებრივად განიცილიან მაგნიტურ სეპარაციას.

მადნის მაგნეტიზებული გამოწვა საკაზმე მასალების მომზადების ერთ-ერთ ძირითად პროცესად ითვლება.

აღმდგენელ ატმოსფეროში გამოწვა მიმდინარეობს დაბალმაგნიტური რკინის ქანგის Fe_2O_3 მაღალმაგნიტური Fe_3O_4 -ში გადასაყვანად. ამ მეთოდის გამოყენება ძირითადად ამ ბოლო ხანებში დიწყო, როდესაც შექმნილ იქნა მაღალმწარმოებლურობის საწარმოო ლუმლები.

მაგნიტიზებულ გამოწვას აწარმოებენ აღდენის ატმოსფეროში. აღმდგენ-ლად გამოიყენება ნახშირქანგი ის წყალბადი. პროცესი შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



გამოწვის პროცესში აუცილებელია ზუსტად იქნეს დაცული ტემპერატურა და აღმდგენელი აირის შემცველობა, რაც უზრუნველყოფს მაღალი მაგნიტური ამთვისებლობის პროდუქტის მიღებას. პრაქტიკულად პროცესს $600-800^{\circ}C$ ზე ატარებენ. მიღებული პროდუქტის გაციება უუხანგავ ატმოსფეროში ხდება.

კარბონატული მადნის მაგნიტური ამთვისებლობის გაზრდისათვის მათ გამოწვავენ ნეიტრალურ ატმოსფეროში, რის შემდეგაც აცივებენ CO_2 -ით მდიდარ აირების ნაკადში.

გაცივებისას მაგნეტიტი უცვლელი რჩება, რადგანაც იგი არ იქანება რეაქციის პროდუქტებით— CO_2 და H_2O -თი. რკინის ქვეჯანგი გაცივებისას შესაძლოა დაიქანოს CO_2 -ით, შემდეგი რეაქციით:

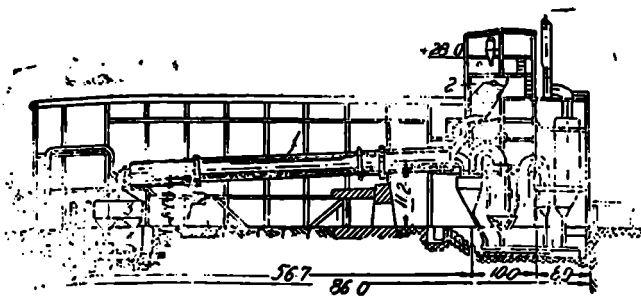


აღმდგენელ ატმოსფეროში რკინის მადნის არასაკმარისი დაყოვნებისა ან პროცესის დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაში მისი მაგნიტური სეპარაციით გამდიდრებისას რკინის ამოღების ხარისხი მცირეა, რადგანაც აღუდგენელი რკინის მაღალი კედებში (ნარჩენებში) მიდის, ხოლო გამოწვის მაღალ ტემპერატურის შემთხვევაში პროცესი მაგნეტიტის მიღებით არ მთავრდება, არამედ გრძელდება, რასაც მიყვავართ მადნის სუსტი მაგნიტური ამთვისებლობის შქონე ვუსტიტის მიღებამდე. მადნის გამოწვისათვის გამოიყენება: მილალუმლები, ლუმლები მდულარა ფენითა (რეაქტორები) და შახტური.

ამჟამად მადნის გამოწვისათვის შედარებით ფართო გავრცელება მბრუნავმა მილალუმლებმა პოვენ (ნახ. VII,11). მისი სიგრძე $50-150$ მ აღწევს დიამეტრი 5 მ. ლუმლის მწარმოებლურობა დღე-ღამეში $1000-2000$ ტონას შეადგენს. მსგავს ლუმლებში 3 არე შეიმჩნევა: მოსამზადებელი (ჩასატვირთ საკმელთან)—მადნის გახურებისა და ტენის მოცილებისათვის; აღმდგენელი, სადაც მაღალი $600-800^{\circ}C$ -მდე ხურდება, აღდგება და არამაგნიტური რკინის ქანგი გადადის მაგნიტურში, და გაცივების არე, სადაც მაღალი აირის ნაკადით ცივდება.

ტემპერატურისა და აირის ატმოსფეროს რეგულირება სხვადასხვა ზონაში სანთურების მეშვეობით წარმოებს, რომლებიც ოუმელში სიგრძეზეა განლაგებული.

მდულარა ფენის ლუმლებში მხოლოდ წვრილფრაქციან მადანს გამოწვა-



ნახ. VII.11. მადნების გამოსაწვავი მბრუნავი მილალუმის სქემა:
 1—მილალუმელი; 2—ბუნკერი მადნისათვის; 3—ბუნკერი გამომწვავი მადნისათვის; 4—აირსადენი.

ვენ (3—0 მმ). აღმდგენელი აირი ქვევიდან მაღალი წნევითა და სიჩქარით გადაეცემა. შესაძლებელია ლუმელში არსებობდეს რამდენიმე არე, რომლებიც ვერტიკალურად ერთმანეთის თავზე არიან განლაგებულნი. გამოსაწვავი მადანი თანამიმდევრულად ზემოდან ქვემო არეში იყრება, თანდათან ხურდება და წარიშართება აღდგენის პროცესებში.

შებტურმა ლუმლებმა ჯერჯერობით ვერ პოვეს ფართო გავრცელება, რადგანაც შეცხოების გამო შეუძლებელია წერილი მადნის გამოწვა.

არჩევნ აგრეთვე ეანგვით გამოწვას, რომელსაც აწარმოებენ მადნიდან CO_2 -ის ჰიდრატული ტენისა და გოგირდის მოცილების მიზნით, აგრეთვე მკვრივი მადნების გაფხვიერებისათვის.

ძირითადად ეანგვით გამოწვას აწარმოებენ მკვრივი სიდერიტებისა და მაგნიტური რკინაქვის მადნებისას. სიდერიტის მადნები გამოწვისას 30%-მდე წონის კარგავს. მაგნიტური რკინაქვა ეანგვით გამოწვისას იუანგება, ირღვევა და შედარებით იოლად აღსადგენი ხდება. მურა რკინაქვა ამ შემთხვევაში კარგავს მასში შემავალ ჰიდრატულ ტენს. ამასთან ერთად მიმდინარეობს გოგირდის ნაწილობრივი მოცილება. ამჟამად სიდერიტებისა და თიხოვანი რკინაქვების კამოსაწვავად ძირითადად ეანგვით გამოწვა გამოიყენება.

§VII. 7. მადნის დანაბროვნების ძირითადი მეთოდები

ა) აგლომერაცია

ბრძმედის კაზში დიდი რაოდენობით წერილი ფრაქციის არსებობა იწვევს საყრატე შტვერის გაზრდას, აირის ნაკადის არარაციონალურ ვანაწილებას და აქედან გამომდინარე კოქსის ხარჯის ზრდას, დნობის ინტენსიურობის შემცირებასა და საერთოდ ლუმლის მუშაობის გაუარესებას. ცხადია, თანამედროვე მეთოდებით გაანდიდრებული მადანის—კონცენტრატების უშუალოდ ბრძმელში გამოყენება შეუძლებელია წინასწარ დანაკრუვნების გარეშე. ერთ-ერთი ისეთი მეთოდი აგლომერაცია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს წერილფრაქციულ მადნებთან და კონცენტრატებთან ერთად დავანაკროვნოთ კაზმის სხვა შემდგენელი შეცხოების მეთოდით და მივიღოთ მაღალი მეტალურგიული თვისებების მქონე მასალა. გარდა აღნიშნულისა, აგლომერაციის პროცესში მიმდინარეობს მადნიდან ისეთი მავნე მინარევების მოცილება, როგო-

რიცაა გოგირდი და ნაწილობრივ ღარიშხანი. შეცხოვის პროცესი იმ სითბოს ხარჯზე მიმდინარეობს, რომელიც გამოიყოფა კაზმში შერეული სათბობის წვის შედეგად. აგლომერაციის პროცესში კაზმში შემავალი სათბობის წვა ჰაერის ხარჯზე ხორციელდება, რომელიც შესაცხოზი კაზმის ფენის გავლით ზემოდან ქვემოთ გაიწოვება.

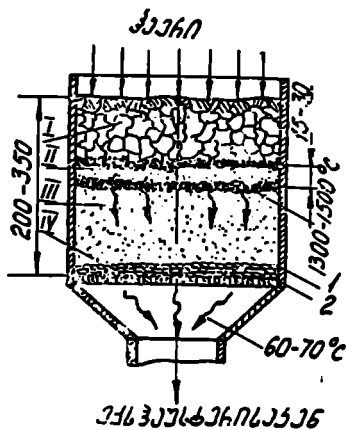
აგლომერაციის მეთოდმა დიდი გავრცელება პოვა ლენტური ანუ (კონვეიერული) სააგლომერაციო მანქანების შექმნის შემდეგ. აგლომერაციის პროცესი სქემატურად ხელსაყრელია განვიხილოთ ლაბორატორიული დანადგარის პრილით, რომელიც ნაჩვენებია VII.12 ნახაზზე.

კაზმი შედგება კონცენტრატისა, 8—10 მმ სიღის რკინის მადნისა, საკერძე მტურისა, 0—10 მმ ფრაქციის მქონე აგლომერაციის პროცესის ნაბრუნისა და 0,3 მმ ფრაქციის დაფხვილი კირქვისაგან. კაზმში სათბობად შეყვით 0—3 მმ ფრაქციის 4—6% კოქსწყრილი და 7—9% ტენი. სააგლომერაციო კაზმში შესაძლოა გამოვიყენოთ აგრეთვე მანგანუმის მადანი, დოლომიტიზებული კირქვა, კირი, რკინის ხენჯი, ლითონის ბურბუშელა და სხვ. თითოეული ჩამოთვლილი მასალა 10 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს, ხოლო დოლომიტიზებული კირქვისა—0—3 მმ-ს.

შეცხოვის წინ მბრუნავ დოლებში კაზმს ურევენ, დაანოტივებენ და დააგუნდავებენ. ამის შედეგად მტურისებრი მასალებიდან წარმოიქმნება 0,5—5 მმ გუნდები. ეს უქანასქნელი კაზმის ფენას ანიჭებს კარვ აიოგანვლადობას, რასაც აგლომერაციის პროცესში დიდი მნიშვნელობა აქვს.

შეცხოვის პროცესი შემდგენიარად ხორციელდება: ცხაურების ხერელების კაზმით დახზობის თაიდან ასაცილებლად უშუალოდ მასზე სათბობის გარეშე რკინის მადნის ან აგლომერატის ნაბრუნს ტვირთავენ და წარმოქმნიან 30—35 მმ-იან სისქის თხელ ფოროვან ფენას—ქვესაგებს. ნაწილაკები 10—20 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

შემდეგ ქვესაგებზე ტვირთავენ სააგლომერაციო კაზმის 200—350 მმ-ან ფენას. ცეცხლრიკ ცხაურებს ქვემოთ მძლავრი ექსპანსტერების მეშვეობით იქმნება 4,9—11,8 კნ/მ² (500—1200 მმ წყ. სვ.) გაიშვიათება. ამის შედეგად ჰაერი გაიწოვება კაზმის ზემოდან მთელი ფენის გავლით. კაზმის ანთება სპეციალური სანთურების მეშვეობით ხორციელდება. წვის ზონა, რომელიც 15—30 მმ სიმაღლეს შეადგენს, თანდათან ქვევით მიიწევს 10—40 მმ/წთ სიჩქარით. ამის შედეგად მიმდინარეობს კაზმის გახურება და აგლომერატად შეცხოზა. პროცესის ხანგრძლივობა 10—20 წუთს არ აღემატება. წვის ზონაში ტემპერატურა 1300—1600°C აღწევს. წვის პროდუქტები გაივლიან კაზმის მომდევნო ფენას. გადასცივინ მათ თავიანთ სითბოს და ცეცხლრიკ ცხაურების გავლით 60—70 ტემპერატურის

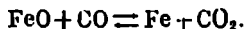
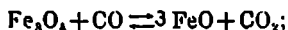
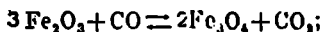


ნახ. VII.12. შეცხოვის პროცესის სქემა: 1—სათენი; 2—ცეცხლრიკ ცხაური. შესაცხოზი ზონები: I—ჰაერის გახურებისა და აგლომერატის გაცივების; II—წვისა და შეცხოვის; III—კაზმის გახურების; IV—გამდებენიანების.

მკონენი გარეთ გამოიდენებია. როდესაც წვის ზონა საფენს უახლოვდება, გამოვალი აირების ტემპერატურა 350—400 C აღწევს.

შეტჯობის დაწვევის შემდეგ კაზმის ფენაში შესაძლოა გამოვყოთ შემდეგი ზონა (ნახ. VII.12): აგლომერატის გაცივებისა და შეწოვილი ჰაერის გახურების (I), სათბობის წვისა და კაზმის შეტჯობის (II), კაზმის გახურებისა და გაშრობის (III) და კაზმის გადამეტტენიანობის (IV).

აგლომერაციის პროცესი პირობითად ქიმიურად და ფიზიკურ-ქიმიურად იყოფა. ძირითად ქიმიურ პროცესებად გვევლინება ეანგეულების აღდგენითი პროცესები. ამ პროცესის დამახასიათებელია მაღალი ტემპერატურა და CO-ს არსებობა. ეს პროცესები შემდეგი სქემით მიმდინარეობს:



რადგანაც აღმდგენელი ნივთიერების კონცენტრაცია არასაკმაოა, ამიტომ აღდგენა ძირითადად Fe_3O_4 -მდე წარმოებს და შედარებით მცირე ხარისხით FeO-მდე. ლითონურ რკინამდე აღდგენა თითქმის არ ხდება.

შეტჯობის ფენაში მთავარ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესად გვევლინება თვის შეტჯობის პროცესი. იგი შემდგენარად შეიძლება წარმოვიდგინოთ: მაღალ ტემპერატურებზე მიმდინარეობს ალვილმდნადი თხევადი ფაზის წარმოქმნა, რომელიც შედგება რკინის ეანგეულებისა, ფლუსისა და ფუქი ქანებისაგან წარმოქმნილი თხევადი ფაზა გარს უვლის გაუმდნარ მყარ წვრილ ნაწილაკებს და გაცივებისას წვრილ კაზმს მყვრივ ნაჭრებად—აგლომერატად გარდაქმნის.

ამ პროცესის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს წარმოქმნილი თხევადი ფაზის ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები: დნობის ტემპერატურა მყარი ნაწილაკების დასველების უნარი, ზედაპირული დაქიმულობა და სხვ.

შეტჯობის პროცესი მთავრდება, როცა წვისა და კაზმის შეტჯობის ზონა მდნისა და ნაბრუნე აგლომერატისაგან შემდგარ ქვესაგებს (ბოლო ფენას) მიდწევს.

აგლომერაციის პროცესში. გარდა რკინის ეანგეულების აღდგენისა, წვის ზონაში მიმდინარეობს აგრეთვე კარბონატების დისოციაცია: ასე, მაგალითად. კირქვა დისოციირებს შემდეგი რეაქციით $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$. მდნის კაუმიწის არსებობის შემთხვევაში აგლომერაციის პროცესში წარმოქმნება რკინის მონოსილიკატი—ფიალიტი (Fe_2SiO_4 ანუ $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) შემდეგი რეაქციით:



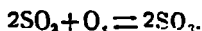
რომლის დნობის ტემპერატურა 1200—1210°C შეადგენს.

კირქვის დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი CaO უერთდება FeO, SiO_2 და Fe_2O_3 და წარმოქმნის ალვილმდნად რკინაკალიუმის ოლივიტებს (CaO)_x·(FeO)_{2-x}· SiO_2 , მათი დნობის ტემპერატურაა 1130°C, ფერიტებს $\text{CaO} \cdot 2\text{FeO}$ ($t_{\text{ფ}} = 1230^\circ\text{C}$) და $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{ფ}} = 1216^\circ\text{C}$), ფიალიტს $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ($t_{\text{ფ}} = 1205^\circ\text{C}$) და სხვ.

რკინის ქვეყანგის შემცველობა აგლომერატის ფენის სიმალღეში არათანაბარია: ზემო ფენები შეიცაა მის შედარებით მცირე რაოდენობას, ვიდრე შუა და განსაკუთრებით ქვედა ფენები, რადგანაც სათბობის წვა ქვედა ფენებში შედარებით ცხელი ჰაერით მიმდინარეობს.

როგორც აღინიშნა, აგლომერაციის პროცესში ეფექტურად მიმდინარეობს გოგირდის მოცილება, ნ.წილობრივ ცილდება ღარიშხანი, ხოლო ფოსფორი პრაქტიკულად არ ცილდება და თითქმის მთლიანად აგლომერატში რჩება.

გოგირდი მადანში პირიტის FeS_2 -ის სახით გვხვდება. რომელიც აგლომერაციის პროცესში $1000^{\circ}C$ -ზე იჟანგება შიშველი რეაქციით:



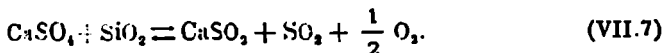
დადგენილია, რომ კატალიზატორის (Fe_2O_3) თანსლებით დაახლოებით $40\% SO_2$ იჟანგება SO_3 -მდე. კოქსწვრილას ორგანული გოგირდის გარკვეული ნაწილი გადადის აირად ფაზაში და მასში იხსოფება ორთქლის კომპლექსების S_2 ($500-600^{\circ}C$), S_6 და S_8 ($\leq 500^{\circ}C$) სახით. აშკარად დადგენილია აგრეთვე გამოშავალ აირებში H_2S და COS -ის არსებობა.

მადანში გოგირდი შესაძლოა შეეცვლებდეს როგორც რკინის სულფიდის (FeS_2), ასევე კალციუმის ($CaSiO_3$) ან ბარიუმის ($BaSO_4$) სულფატის სახით.

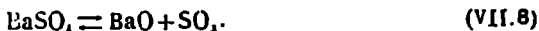
$800^{\circ}C$ -ზე ზევით $CaSiO_3$ გოგირდის ანჰიდრიდის წარმოქმნით იწყებს დისოცირებას და ინტენსიურად მიმდინარეობს $1375^{\circ}C$:



კაემიწის ზეპოქმელებით კალციუმს სულფატი შემდეგი რეაქციით იშლება:



ეს რეაქცია $1000^{\circ}C$ -ზე იწყება და ინტენსიურად მიმდინარეობს $1200^{\circ}C$ -ზე. ბარიუმის სულფატი დისოცირებს $\sim 1500^{\circ}C$:



სულფატური გოგირდი მადანს ცილდება შედარებით მაღალი ტემპერატურული აგლომერაციის პროცესით. მიუხედავად ამისა, მისი ამოწვის ხარისხი მცირეა. ვიდრე სულფიდური გოგირდისა და $70-80\%$ არ აღემატება.

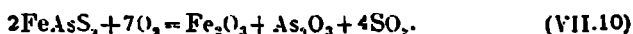
თუ თეა მადანს აგლომერაციის პროცესში პრაქტიკულად არ ცილდება. მისი ნაწილობრივი მოცილება შესაძლოა კაშში ქლორიდების დამატებითა და შექვდომ აღმდგენელ ატმოსფეროში აგლომერაციით. ამის შედეგად სათბობის ხარჯი $4-5$ -ჯერ იზარდება.

ფოსფორი, როგორც აღინიშნეთ, აგლომერაციის პროცესში მადანს პრაქტიკულად არ ცილდება.

ღარიშხანი მადანებში ჩვეულებრივ არსენობირიტის $FeAsS$, ლელინგიტის $FeAsS_2$ და სკროდიტის $FeAs_2S_3 \cdot 2H_2O$ სახით გვხვდება. არსენობირიტი და ლელინგიტი $430-500^{\circ}C$ -ზე იწვება. არსენობირიტი კი იჟანგება რეაქციით



ანალოგიურად იჟანგება ლელინგიტი

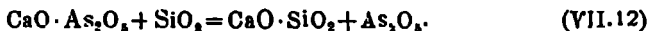


ამ დროს წარმოქმნილი As_2O_3 (ღარიშხანის სამეანგი) აქროლდება და გაციფების შემდეგ კონდენსირდება. იმ შემთხვევაში, თუ აგლომერაციის პრო-

ცესი ჰაერის ჰაზობი მიწოდებით მიმდინარეობს (ე. ი. სათბობის დაბალი ხარჯით), მაშინ As_2O_3 იქნაგება აუქროლადი დარიზხანის ხუთგანგამდე



კაზში კირის არსებობის შემთხვევაში As_2O_3 წარმოქმნის მდგროდ კალციუმის არსენიტს ($CaO \cdot As_2O_3$), რომელიც აგლომერატში რჩება. მაგრამ კაჯ-მიწაშ კალციუმის არსენიტებთან შესაძლოა გამოდგენოს დარიზხანის ხუთგანგე შემდეგი რეაქციით:



მაღალი ტემპერატურის გავლენით As_2O_3 დისოცირებს აქროლად სამეანგინ დარიზხანად და ქანგბადად.

ამჟამად გავრცელებულია აგლომერატის შემდეგი სპეციოლური სახეები: ა. დაფლუსებული (მიღებული რკინის მადნისა და კირქვის შეცხოებით); ბ. მანგანუმიანი და რკინაძანგანუმიანი (მიღებული სუფთა მანგანუმის მადნის ან მისი რკინის მადანთან შეცხოებით).

თანამედროვე აგლომერაციული მანქანების მწარმოებლურობა დღე-ღამეში 1500—10000 ტ შეადგენს. შეწოვილი ჰაერის ხარჯი 1 ტ აგლომერატზე 2500—3000 მ³-ს შეადგენს. მსხვილი სააგლომერაციო მანქანების ექსპლუატერების მწარმოებლურობა 9500 მ³/წთ აღწევს. ასეთ მანქანებზე ექსპლუატერების რაოდენობა 2-ს შეადგენს.

ბ) გუნდების წარმოება

ბრძმედული დნობისათვის დარიზი მადნის გამოყენება შესაძლო გახდა მხოლოდ მათი დრმა გამდიდრების შემდეგ, რკინის მადნის გამდიდრების პროდუქტის ძალზე დაწვრილმანებულ კონცენტრატების დანაქროვნება აგლომერაციის მეთოდით ხელსაყრელი არ არის, რადგანაც საგრძნობლად ეცემა სააგლომერაციო მანქანების მწარმოებლურობა და უარესდება აგლომერატის ხარისხი. ამიტომ ბოლო წლებში ფართოდ განვითარდა დაწვრილმანებული კონცენტრატების დამრგვალების — დაკუნდავების მეთოდი. მადნების დანაქროვნების ეს პროცესი ჩვენს ქვეყანაში ინტენსიურად განვითარდა 50-იან წლებიდან.

გუნდების წარმოების პროცესი დამყარებულია დრმად გამდიდრებული კონცენტრატების წვრილი ფრაქციებიდან 10—25 მმ დიამეტრის ნედლი გუნდების მიღებასა და შემდგომ მათ გამოწვაზე. გუნდების წარმოების ძირითად მასალად მაგნეტიტური კონცენტრატი გამოიყენება, რომელიც მაგნეტიტური სეპარაციის პროდუქტს წარმოადგენს.

კაზში ძირითადი კონცენტრატისა, ნაბრუნისა და დაწვრილმანებულ კირქვისაგან შედგება. მათი ერთმანეთთან შერევა დოლის მეშვეობით წარმოებს, რის შემდეგაც კაზში თეფსა გრანულატორზე მიეწოდება. ამ უკანასკნელის დიამეტრი შესაძლოა იყოს 3 დან 5 მ-მდე. მკვრივი გუნდების მიღების შიზნით კაზშს 0.3—1.5% შემკვერელი ნივთიერება და წყალი ემატება. შემკვერელ ნივთიერებად ბენტონიტის თიხას იყენებენ. გრანულატორის ბრუნვითი მოძრაობის შედეგად კაზშის წვრილი ნაწილაკები ერთმანეთს ეკვრიან და წარმოქმნიან გუნდებს. გარკვეული ზომების მიღწევის შემდეგ გუნდები გრანულატორიდან გამოიტყირთება. ნედლი გუნდები მიეწოდება ლენტური კონვეიერის სახის შესაცობ მანქანას. ისინი კონვეიერზე მოძრაობის დროს თანამიმდევრულად გადაიან სამ ზონას: გაშრობის, გამოწვისა და გაცივების ზონა.

ნებს. გაშრობის ზონაში მიმდინარეობს გუნდების გახურება 200—380°C. გახურებისასთვის ძირითადად გამოიყენება შეცხოების და გაცივების ზონიდან მიწოდებული ნაშვები აირები (გაზები). გამოწვის ზონაში ტემპერატურა 1200—1350°C აღწევს. გაცივების ზონაში გუნდების გაცივება ხორციელდება ძძულეებით მიწოდებული ჰაერის მეშვეობით. გაცივებული გუნდები გამოიტვირთება ცხავეზე. 10 მმ-ზე მეტი ფრაქციის გუნდები ბრძმედისაკენ მიემართება. მხოლოდ 0—10 მმ ფრაქციები ისევ უკან ბრუნდება. თანაწევროვე გრანულატორების მაქსიმალური მწარმოებლურობა 260 ტ სთ აღწევს.

ნელდ გუნდებს წინასწარ გამოაშრობენ იმ მიზნით, რათა შეცხოების პროცესში არ მოხდეს მათი რღვევა-დასკდობა. როგორც ცნობილია, ნელდი გუნდების სწრაფი გახურება იწვევს მისგან ორთქლის ინტენსიურ გამოყოფას, რასაც მათ გაგლეჯვამდე მიეყვართ.

გუნდების მაღალტემპერატურული გამოწვა შესაძლოა მიმდინარეობდეს ორი რეჟიმით: თხევადი ფაზის წარმოუქმნელად (მყარფაზური შეცხოება) და გარკვეული რაოდენობით თხევადი ფაზის წარმოქმნით (თხევადფაზური შეცხოება). მათ შორის ტემპერატურული საზღვარი დამოკიდებულია აირადი ფაზის დამენგველ-აღმდგენელ პოტენციალსა და ფუჭი ქანების შედგენილობასა და რაოდენობაზე. დაქანებულ გუნდებისათვის შეცხოების ტემპერატურა 1150—1250°C-ს შეადგენს.

ნაწილაკების შეცხოების პროცესის მიმდინარეობისა და გუნდების განმტკიცების კრიტერიუმს წარმოადგენს კაზმის ნაწილაკების შეხების სიგრძე, რომელიც გამოისახება გუნდებში ფორების ხვედრითი (ჯამური) ზედაპირით. შეხების სიგრძე მით უფრო მეტია, რაც ნაკლებია ფორების ზედაპირი და ნაკლებია მარცვლის სიდიდე.

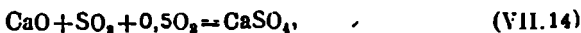
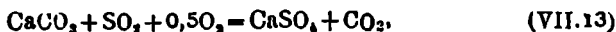
შეცხოების პირველ სტადიაში გუნდების განმტკიცება მიმდინარეობს მოცულობითი ფორიანობის შემცირებით. ამიტომ მოცულობითი ფორიანობის ცვლილება წარმოადგენს გუნდების სიმტკიცის მახასიათებელ პარამეტრს.

მყარფაზური შეცხოების რეჟიმით, ჩვეულებრივ, მტკიცდება კონვეირული მანქანის ქვემო ფენებისა და, აგრეთვე, მცირე ფუჭი ქანების შემცველი შიდარი კონცენტრატების არააფლუსებული გუნდები. მყარფაზური შეცხოების პროცესი 800—900°C-ზე მიმდინარეობს. ამასთან, აქტიურად ცხება როგორც ჰემატატი, ისე მაგნეტიტი.

მყარფაზური შეცხოების მახასიათებელ პარამეტრს წარმოადგენს გამოწვის პროცესში გუნდების ჩაჯდომის სიდიდე. ამ პროცესის სიჩქარე შედარებით დაბალია. 3%-ზე მეტი ფუჭი ქანის შემცველი კონცენტრატები გამოწვის რეალურ დროში ვერ აღწევს საკმაო სიმტკიცეს. ამიტომ სასურველია შეცხოების პროცესში გარკვეული რაოდენობის თხევადი ფაზის წარმოქმნა. ამასთან, დიდ როლს თამაშობს წარმოქმნილი თხევადი ფაზის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები, განსაკუთრებით სიმოანტე და რკინის ქანგულების დასველები უნარი.

აგლომერაციის მსგავსად, გუნდების დამყანგველი შეცხოების პროცესში ინტენსიურად ცილდება გოგირდი, ხოლო ფოსფორი, დარიშხანი, თუთია და სხვ. გუნდებს პრაქტიკულად არ შორდება. სულფიდური გოგირდის მოცილების ხარისხი 95—99%-ს აღწევს. ამ დროს გოგირდი იჟანგება და SO₂-ის სახით გამოიყოფა აირად ფაზაში. კირქვის თანყოფით დესულფურაციის ხარისხი საკმაოდ ეცემა.

დადგენილია, რომ 400—800°C-ზე CaO შთანთქავს SO₂-ს, რომლის რეაქტივობა შემდეგნაირად შეიძლება გამოვსახოთ:



ამგვარად, დაულესებული გუნდების შეცხოების პროცესში შესაძლებელია გარკვეული რაოდენობის მდგრადი შენაერთის კალციუმის სულფატის წარმოქმნა და დესულფურაციის ხარისხი ძირითადად დამოკიდებულია ამ სულფატის დაშლაზე.

გუნდებში რკინის შემცველობა, რომელიც დამოკიდებულია კონცენტრატის შედგენილობაზე (სიმდიდრეზე), ჩვეულებრივ, საშუალოდ 62—65% შეადგენს.

ბოლო დროს ბრძმედულ წარმოებაში დაიწყო მეტალიზებული გუნდების გამოყენება, რომლებშიც რკინის ნაწილი ლითონურ მდგომარეობაში იმყოფება. ამასთან პროცესი მეტალიზაციის ხარისხით ხასიათდება, რომელიც გვიჩვენებს, თუ მეტალიზებულ მასალიდან რკინის რა ნაწილი გადავიდა ლითონურ რკინაში.

ეს პროცესი მეტად ძვირია და ამჟამად წარმოებაში ჯერ კიდევ ფართოდ არ გამოიყენება. ამასთან, ბრძმედში მეტალიზებული გუნდების გამოყენება 21%-ით ამცირებს კოქსის ხარჯსა და 25%-ით ზრდის ბრძმედის მწარმოებლურობას.

გ) ბრიკეტების წარმოება

დაბრიკეტება ეწოდება დაწნეხვის პროცესით მტვრისებრი მანდების ან კონცენტრატების ერთგვაროვან ფორმით დანაქროვნებას (შემკვრელ ნივთიერებების დამატებით ან დაუმატებლად). ბრიკეტების მეტალურგიული თვისებების გასაუმჯობესებლად მათ თერმულად ან ქიმიურად ამუშავებენ. დასაბრიკეტებელი მასალის ნაწილაკები 5 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს. შემკვრელების დამატების გარეშე მანდებს აბრიკეტებენ ჩვეულებრივ დაწნეხვით, რის შემდეგაც ისინი განიცდიან მაღალტემპერატურულ გამოწვას $\geq 1200^\circ\text{C}$ -ზე. ამ პროცესში მიმდინარეობს ბრიკეტების გამტკიცება შემკვრელების დაუმატებლად დაბრიკეტება მაღალთიხაჩიწოვანი მანდები, სადაც შემკვრელის როლს თხა ასრულებს.

შემკვრელების დამატებით მანდებისა და კონცენტრატების დაწნეხვით მიღებულ ბრიკეტებს აქვს საგრძნობი სიმტკიცე და გამოწვას არ საჭიროებენ. შემკვრელზედ გამოიყენება ორგანული და მინერალური ნივთიერებანი. მაღალტემპერატურულ პირობებში ორგანული შემკვრელები (ფისი, სქელფისი და სხვ.) კარგავს შემკვრელ უნარს, ამასთან მათი გამოყენება ეკონომიურად არახელსაყრელია და ამიტომ დიდი გავრცელება ვერ პოვა.

მანდის დაბრიკეტებისათვის ფართოდ გამოიყენება არაორგანული შემკვრელები (პორტლანდცემენტი, ჩამქრალი კირი, თხევადი მინა, ქლოროვანი მაგნიუმი, სუფრის მარილში არეული თუჯის დაწერილობანებული ბურბუშელა და სხვ.). არაორგანული შემკვრელებით დანახლებული ბრიკეტების გამოყენება ბრძმედში იწვევს წილის რაოდენობის საგრძნობ ზრდასა და კოქსის დიდ ხარჯს.

თანამედროვე პრაქტიკაში ბრიკეტების დაწნევის შედარებით მალა-მწარმოებლურ მოწყობილობას გლინებიანი წნეხი წარმოადგენს, რომელიც აღ-ქურვილია ითული კონფიგურაციის პრესფორმების.

მაღლისა და კონცენტრატების დაბრიკეტება ძირითადად გამოიყენება ფერად და ელექტრომეტალურგიაში. მის უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს დაბალი მწარმოებლურობა, დანაღვარის სიჭირვე. შექვეყნების გამოყენების შემთხვევაში ბრიკეტებში რკინის დაბალი შენეველობა და მზა ბრიკეტების შედარებით დაბალი სიმტკიცე.

VIII თ ა ვ 0

ბრძმედის აგმზ უღმზა

ჭVIII. 1. ბრძმედის პროფილი

ბრძმედი წარმოადგენს შახტური ტიპის ლუმელს, რომელიც სამუშაო სივრცით ვერტიკალურადაა აგებული. ლუმელის პროფილი სქემატურად მოცემულია VIII.1 ნახაზზე.

ბრძმედის დანიშნულებაა რკინის მაღნიდან თუჯის მიღება. მასში მიღნიარობს ძირითადად აღდგენითი პროცესები და მისი მუშაობა დაფუძნებულია კახსისა და აირის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობის პრინციპზე: კახში თავისი საკეთარი წონით ბრძმედის ზედა პორიზონტიდან ქვედა პორიზონტისაკენ გაშლენებით ეშვება. შებერილი ჰაერის ტანგბადის მეშვეობით იწვის სათბობი და წაიბოქნილი აღმდგენელი აირი განუწყვეტლივ მიემართება ქვევიდან ზევით. იგი გადასცემს ზემოდან ქვემოთ მომავალ კახს თავის სითბოს და უზრუნველყოფს მასში მთელ რიგ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს მიმდინარეობას.

ბრძმედი შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან:

საკერძე 1, რომელიც წარმოადგენს ზედა ცილინდრულ ნაწილს, საიდანაც გარკვეული უღუფის (კერძის) სახით წარმოებს ლუმელში კახშის ჩატვირთვა;

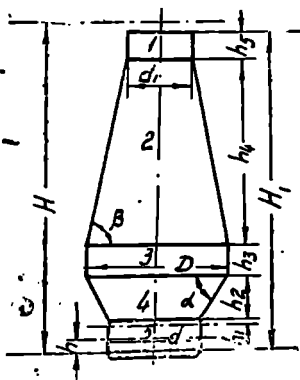
შახტი 2, რომელიც საკერძის უშუალო გაგრძელებაა; იგი კონუსური ფორმისაა;

განივა 3, შეადგენს ლუმელის მცირე სიმაღლის დიდი დიამეტრის ცილინდრულ ნაწილს, მას ფუჭით ეყრდნობა შახტი;

მხარულა 4, წარმოადგენს ლუმელის ქვედა წაკვეთილ კონუსს, რომელიც მოთავსებულია განივასა და ქუჩას შორის;

ქურა 5, მოთავსებულია მხარულას ქვემოთ და წარმოადგენს ბრძმედის ქვედა ცილინდრულ ნაწილს, რომელიც ქვემოთ ლორწონით მოთავრდება.

საკახზე მასალებსა და დნობის პროდუქტების მიერ დაკავებულ მოცულობას



ნ. ნ. VIII.1. ბრძმედის პროფილის სქემა: H —მთლიანი სიმაღლე; H_1 —სასარგებლო სიმაღლე; d_1 —ქურის დიამეტრი; D —განივას დიამეტრი; d_2 —საკერძის დიამეტრი; h_1 —თუჯის კრიკისა და ჰაერის ქუნენის შორის მანძილი; h_2 —ქურის სიმაღლე; h_3 —მხარულას სიმაღლე; h_4 —განივას სიმაღლე; h_5 —შახტის კონუსური ნაწილის სიმაღლე; h_6 —საკერძის სიმაღლე; a —მხარულას დახრის კუთხე; β —შახტის დახრის კუთხე.

ბრძმედის სასარგებლო მოცულობა ეწოდება. იგი წარმოადგენს ბრძმედის ძირითად ზომას, რადგანაც მისი მეშვეობით განისაზღვრება ბრძმედის პროფილის ყველა ზომა.

ბრძმედის პროფილის ძირითადი ზომებია: სრული და სასარგებლო სიმაღლე, ცალკეული ნაწილების სიმაღლე (საკერძის, შახტის, განივასა, მხარულასა და ქურასი) და ქურის, განივასა და საკერძის დიამეტრები.

განვიხილოთ თითოეულის დანიშნულება. ბრძმედის სასარგებლო სიმაღლე წარმოადგენს მანძილს თუჯის გამოსაშვები ხერხის ღერძიდან საკერძეში ჩატვირთული კაზმის ზედაპირამდე. იმასთან დაკავშირებით, რომ ჩატვირთული კაზმის დონე ბრძმედულ პროცესში ყოველთვის მერყეობს, ამიტომ, პირობითად, აღნიშნულ პარიზონტად მიღებულია ჩასატვირთი აპარატის დიდი კონუსის ქვედა ზედაპირი დაშვებულ მდგომარეობაში.

ბრძმედის სიმაღლეს განსაზღვრავენ მყარი სათბობის სიმტკიცის მიხედვით. თუ ბრძმედის სიმაღლე არ შეეთანადება მყარი სათბობის სიმტკიცეს, მაშინ ხდება ამ უკანასკნელის რღვევა, რაც იწვევს კაზმის აირგანვლადობის გაუარესებას. თანამედროვე ბრძმედის მაქსიმალური სასარგებლო სიმაღლე განისაზღვრება $H_1 = 0,88H$ და 3,5 მ-მდე აღწევს. H — ბრძმედის მთლიანი სიმაღლეა, რომელიც წარმოადგენს მანძილს თუჯის გამოსაშვები ხერხის ღერძიდან საკაზმის გარსაცმის ზემო რგოლამდე, რომელსაც დიდი კონუსის მიმღები ძაბრი ეყრდნობა. დადგენილია, რომ ბრძმედის მთლიანი სიმაღლე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით: $H = 6,44V^{0,2}$. V — ბრძმედის სასარგებლო მოცულობაა და სხვადასხვა ტევადობის ბრძმედისათვის მათი მნიშვნელობა ასე გამოისახება:

| | | | | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------|
| V , მ ³ . . . | 1000 . . . | 1300 . . . | 1500 . . . | 2000 |
| H , მ . . . | 29 . . . | 31 . . . | 32 . . . | 34 |

ბრძმედის სასარგებლო მოცულობის ზრდა ხორციელდება ლუმის განივი ზომების ზრდის ხარჯზე. ასე, მაგალითად, სასარგებლო სიმაღლის ფარდობა განივას დიამეტრთან ($H_1 : D$) 1000 მ³ მოცულობის ლუმლებისათვის შიახლოებით 3,18 ტონაია, ხოლო 5000 მ³ მოცულობის ლუმლებისათვის — 2,08.

ქურის დიამეტრი განისაზღვრება დროის ერთეულში დახარჯული სათბობის რაოდენობით. პრაქტიკულად ქურის დიამეტრის ზრდა არ იწვევს ბრძმედული პროცესის დარღვევას და აუარესებს დნობის ტექნიკურ მაჩვენებლებს. თანამედროვე ბრძმედის ქურის დიამეტრი 14,7 მ-ს აღწევს. ამასთან, აუცილებლად დაცული უნდა იქნეს პროპორცია ქურის დიამეტრსა და პროფილის სხვა დანარჩენ ზომებს შორის.

ქურის სიმაღლე წარმოადგენს მანძილს თუჯის გამოსაშვებ ხერხის ღერძსა და მხარულას ქვედა წიბოს შორის. ქურის სიმაღლე მის აღებულ დიამეტრზე განისაზღვრება დნობის პროდუქტების რაოდენობით, რომელიც გროვდება ქურაში მათ გამოშვებებს შორის. ქურის სიმაღლის ძალზე გაზრდა დაუშვებელია, რადგანაც ქვედა ნაწილებში ადგილი ექნება ტემპერატურის ვარდნასა და მიღებული პროდუქტების გაცივებას. თანამედროვე ბრძმედებში ქურის სიმაღლე 3,2—4,4 მ-ის ფარგლებშია.

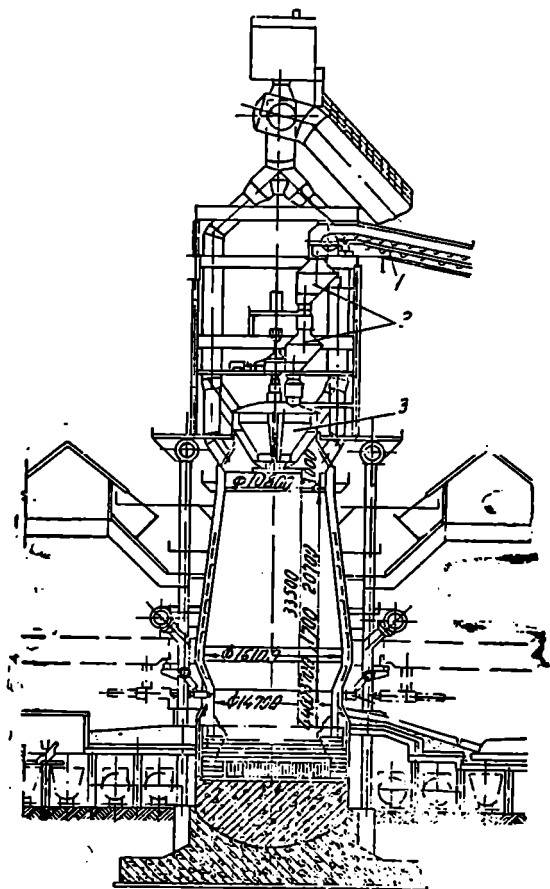
განივას დიამეტრი ძირითადად განსაზღვრავს ლუმის განივკვეთში აირების ნაკადის განაწილებას. განივას მცირე დიამეტრის შემთხვევაში (როცა იგი ქურის დიამეტრს უახლოვდება) პერიფერიებისაკენ ძლიერდება აირების ნაკადი, ხოლო განივას დიამეტრის საგრძნობი ზრდა იწვევს ლუმის

განივკვეთში როგორც ღირების ნაკადის, ასევე სიკაზმე მასალების არათანაბარ განაწილებას. პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ თანამედროვე ლუმლებში განივას დიამეტრის ფარდობა ჭურის დიამეტრთან ტოლი უნდა იყოს 1,09—1,14-სა.

განივასა და საკერძის მუდმივი დიამეტრების შემთხვევაში განივას სიმაღლე განსაზღვრავს შანტის დახრის კუთხეს, რომლის მეშვეობით განისაზღვრება ლუმლის განივკვეთში ღირების ნაკადის სწორე განაწილება და სიკაზმე მასალების სვეტის თანაბარე დაშვება. პრაქტიკიდან დაღგენილია, რომ განივას ზომამ უნდა უზრუნველყოს შანტის კედლის დახრის კუთხე $83^{\circ}30'$ — $84'$. თანამედროვე ლუმლების განივას სიმაღლე 1,7—2,3 მ ფარგლებშია.

საკერძის სიმაღლე საგრძნობლად მოქმედებს ბრძმედში მასალების განაწილებაზე. საკერძის ცილინდრული ფარმა განაპირობებს კაზმის თანაბარ განაწილებას ჩატვირთული მასალის დონის ცვლილებისაგან დამოუკიდებლად. თანამედროვე ლუმლების საკერძის სიმაღლე 2,5—3,0 მ-ის ფარგლებშია.

ჭურის მოცემულ სიმაღლეზე მხარულას სიმაღლე განსაზღვრავს იმ კორიარიზონტის მდებარეობას, საიდანაც იწყება ლუმლის სამუშაო სივრცის შევიწროება. ამ შევიწროების დასაწყისი უნდა შეეფარდებოდეს გასადნობი მასალების მოცულობის შემცირებას, როცა ისინი გადადიან თხევად მდგომარეობაში. მხარულას დიდი სიმაღლის შემთხვევაში ლუმლის სამუშაო სივრცის შევიწროება იწყება გაცილებით ადრე, ვიდრე გასადნობი მასალების მოცულობის შემცირება, რაც იწვევს კაზმის სვეტის არათანაბარ დაშვებას. პირიქით, მხარულას დაბალი სიმაღლე ამ-



ნახ. VIII.2. ბრძმედის ვერტიკალური ქილი: 1—ლუმტური ტანსპორტიორი; 2—ძაბრი და შციირე კონუსი; 3—დიდი კონუსი.

ცირებს მისი კედლების დახრის კუთხეს, რაც აგრეთვე, აუარესებს კაზმის სვეტის თანაბარ დაშვებას. თანამედროვე ბრძმედის მხარულას სიმაღლე იცვლება 3,0—3,7 მ-ის ფარგლებში.

განივასა და საკერძის მუდმივ დიამეტრებსა და განივას მოცემულ სიმაღლეზე შახტის სიმაღლე განსაზღვრავს წისი კედლის დახრის კუთხეს. ამჟამად ფართო გამოყენება პოვა ა. რამის მეთოდმა. მან გვიჩვენა, რომ ბრძმედის ყველა ზომა ხარისხობრივ კავშირშია ლუმლის სასარგებლო მოცულობასთან:

ქურისათვის $h_1 = 0,115 H_1$; $d_1 = 0,32 V^{0,15}$;

მხარულასათვის $h_2 = 3—3,5$ მ;

განივასათვის $h_3 = 0,08 H_1$; $D = 0,5 V^{0,10}$;

შახტისათვის $h_4 = 0,69 H_1 - 3$ მ;

საკერძისათვის $h_5 = 0,115 H_1$; $d_2 = 0,5 V^{0,20}$;

მთლიანი სიმაღლისათვის $H = 6,44 V^{0,25}$.

ეს მეთოდიც ემპირიულია, რომელიც ემყარება სტატიკურ მონაცემებს, მაგრამ მათემატიკურად შედარებით გამართულია.

ბრძმედის ზედა ნაწილი გარედან შემორტყმულია 20—25 მმ, ხოლო ქვედა—35—40 მმ ფურცლოვანი ლითონური შენადული გარსაცმით. გარსაცმის ქვეშ უშუალოდ მოთავსებულია ცეცხლგამძლე ამონაგი, რომლის გაცივებაც გარსაცმში მოთავსებული მაცივრების მეშვეობით წარმოებს. ლუმლის ზედა ნაწილი განივადან საკერძემდე ეგრეთ წოდებულ მარატორის რგოლს ეყრდნობა, რომელიც სვეტებზე ძევს, ხოლო ქვედა ნაწილი საძირკველზეა დაფუძნებული. საკერძე აღკურვილია სხმული ფოლადის სეგმენტებით, რომლებიც იცავენ ამონაგს ლუმელში ჩატვირთვისას კაზმის დარტყმებისაგან. VIII.2 ნახაზზე ბოცემულია 5000 მ³ მოცულობის ბრძმედის ვერტიკალური ჰრილი, რომელშიდაც კაზმის ჩატვირთვა ლენტური ტრანსპორტიორებით ხორციელდება.

განვიხილოთ ბრძმედის ცალკეული ძირითადი ნაწილების მოწყობილობა და კონსტრუქციები.

§ VIII.2. ბრძმედის საძირკველი და ლორჯინი

ბრძმედის საძირკველზე მოსული დატვირთვა ორ ძირითად ნაწილად იყოფა (ნახ. VIII.3): ქვემო (მიწისქვემო) ეგრეთ წოდებული „ძირი“, და ზემო (მიწისზემო), ეგრეთ წოდებული „ძირკვი“. უკანასკნელმა მალალ ტემპერატურის პირობებში უნდა მიიღოს ლუმლის მთელი დაწოლა და გადასცეს იგი ძირს.

საძირკველის ძირის განლაგების სიღრმე გრუნტის ხარისხითა და მის ჩაყინვის სიღრმითაა განპირობებული. ძირის ზომა დამოკიდებულია გრუნტზე დასაშვები წნევებისაგან.

ბრძმედის საძირკველები განიცდის ინტენსიურ თბურ ზემოქმედებას, ამიტომ ისინი მალალი თერმული მდგრადობით უნდა ხასიათდებოდნენ—გახურების შედეგად არ უნდა ირღვეოდნენ და არ უჩდებოდნენ ბზარები ლუმლის საძირკველის ქვემო ნაწილი, რომელიც 500°C-ზე მალლა არ ხურდება, ჩვეულებრივ, ბეტონისაგან მზადდება, ხოლო მიწისზემო ნაწილი (ძირკვი), რომლის ტემპერატურაც 500°C-ზე გაცილებით მალალია—მზურვალმტიკე ბეტონ-

ნობით მყარი ნაწილაკი მიყვება) და კაზმის ნაკრების მოძრაობით გამოწვეული ცვეთა.

დ) ამონაგის ნაკრებისა და ბზარების წიდითა და თუჯით განსოლვა. გარდა ამისა, ამონაგის მდგრადობაზე დიდ გავლენას ახდენს კაზმიდან აორთქლებული ტუტე და ფერადი ლითონები, რომელთა კონდენსირება ამონაგის სიღრმეში წარმოებს.

ამონაგის მუშაობის ხანგრძლივობაზე მოქმედებს გარნისაგის არსებობაც. ე. წ. ნალენითი, რომელიც წარმოიქმნება ცეცხლგამძლე ამონაგის მასალასთან კაზმისა და წიდის კომპონენტების ზემოქმედებით, რის შედეგაც წარმოიქმნება თხევადი ფაზა, რომელიც მყარდება ამონაგის შედარებით ცივ კედლებთან შეხებით.

ლორფინზე განუწყვეტლივ მოქმედებს თხევადი თუჯის გარკვეული მასისა და კაზმის სვეტის წნევა, რის შედეგად იგი განიცდის დიდ ჰიდროსტატიკურ დაწოლას. ამისთან, ლორფინი განიცდის დიდ თბურ დარტყმებს. ლორფინი ძირითადად ირღვევა ამონაგის ნაკრებში თხევადი თუჯის შედწევით. გაცივებით წარმოებს თუჯის გაუართობება და ამონაგის განსოლვა, რაც იწვევს ცალკეული აგურის ამოგლეჯვასა და ლითონის აბაზანის ზედაპირზე მათ ამოტივტივებას. ამიტომ ლორფინის მდგრადობის გაზრდისათვის მის ამოგებას ბლოკებით—დიდი ზომის აგურებით აწარმოებენ.

ქშინების ზონის ამონაგის მუშაობა საგრძნობლად განსხვავდება ლორფინისა და ქურის ამონაგისაგან. წიდისა და თხევადი თუჯის ჰიდროსტატიკური წნევა ქშინების ზონის კედლებზე შედარებით მინიმალურია. მიუხედავად ამისა, ამ ზონაში სათბობის წვის შედეგად ვითარდება ყველაზე მაღალი ტემპერატურა, რომელიც ცეცხლგამძლე ამონაგზე დიდ ზემოქმედებას ახდენს. გარდა ამისა, ქშინების ზონის ამონაგზე დიდ ზეგავლენას ახდენს წიდა და აირი.

მხარულაში მაღალი ტემპერატურული პირობების გამო კაზმის ნაწილი იმყოფება თხევად მდგომარეობაში, რომელიც წვეთების სახით ჩამოიღვენთება კოქსის მყარ ნაწილაკებს შორის და ნაწილობრივ ხედება ამონაგის ზედაპირზე. გარდა ამისა, ცეცხლგამძლე ამონაგის ზედაპირი განიცდის აღმავალი აირების ინტენსიურ ზემოქმედებას.

ქაშვის კედლის ქვედა ნაწილი განიცდის საკმაოდ დიდ თბურ დაზიანებას და წიდის ქიმიურ ზემოქმედებას, შედარებით ნაკლებად განიცდის კაზმის ნაკრებისა და აირის ნაკადით მტერის ნაწილაკების მოძრაობით გამოწვეულ ცვეთას. ზემო ნაწილში კი პირიქით—თბური დაზიანებები მცირეა, წიდის ზემოქმედება პრაქტიკულად არ არის, ხოლო მასალბის ნაკრებისა და აირის ნაკადის მოძრაობით გამოწვეული ცვეთა საგრძნობლად მაღალია.

ქაშვის შუა ნაწილის ცეცხლგამძლე ამონაგზე დიდ გავლენას ახდენს მათ ნაკრებასა და ბზარებში ჰვარტლისებრი ნახშირბადის დაღეკვა. ეს უკანასკნელი იწვევს ცეცხლგამძლე აგურების სტრუქტურის გადაგვარებასა და ამონაგის ზრდას. აღნიშნული პროცესი ძირითადად 500—600°C ზე მიმდინარეობს.

ბრძმელის ამონაგისათვის ძირითადად შამოტის მაღალთიხამიწოვანი აგურები და ნახშირბადის ბლოკები გამოიყენება. მაღალთიხამიწოვანი ცეცხლგამძლე მასალა შეიცავს $\geq 45\% \text{ Al}_2\text{O}_3$. მაღალთიხამიწოვანი აგურით ამოიგება ძირითადად ბრძმელის ქვედა ნაწილები; მათი ცეცხლგამძლეობა უნდა იყოს $\geq 1700\text{—}1800^\circ\text{C}$.

როგორც აღვნიშნეთ, ქურისა და ლორთინის ამოგება ძირითადად ნახშირბადის ბლოკებით წარმოებს, რომლებიც მზადდება კოქსისა და გამოქვყარი ანტრაციტის ნარევეზე ქვანახშირის სქელფისის დამარებით და იგი შემკვრელის როლს ასრულებს. შესაძლოა აგრეთვე ქრომ-ნახშირბადის ბლოკების გამოყენებაც. ბლოკის სიგრძე 3—4 მ-ს აღწევს; განივკვეთის ზომები კი— 400×400 მმ ან 550×550 მმ.

თუჯის გამოსაშვები კრიკა ხერელის სახით მოთავსებულია ქურის კედელში. თუჯის გამოშვების შემდეგ მას სპეციალური მექანიზმების მეშვეობით ცეცხლგამძლე მასით ავსებენ.

თუჯის კრიკას 1,2—1,6 მ-ზე ზემოთ მოთავსებულია წილის კრიკა. მისი დიამეტრი 50—65 მმ შეადგენს.

§ VIII.4. ჩამტვირთი აპარატი და საპირფარეო კაზმის განაწილება

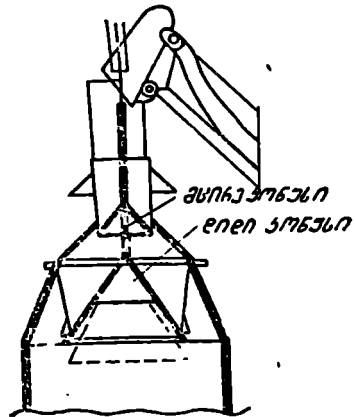
თანამედროვე ბრძმედებს დახურული საკერძე აქვს, სადაც მიერთებულია აირგამყვანები, რომლის მეშვეობით აირი აირსაწმენდებში მიემართება, ხოლო შემდგომ მას სათბობად იყენებენ.

წინათ ღია საკერძეში კაზმის განაწილება ხელით წარმოებდა, თანამედროვე ბრძმედებში დახურულ საკერძეში კაზმის ჩატვირთვა და მათი ლუმის განივკვეთში განაწილება მექანიკური წესით, ჩასატვირთი მექანიზმის მეშვეობით ხორციელდება, რომელიც დიდი და მცირე კონუსებისაგან შედგება (ნახ. VIII.4).

ჩამტვირთი აპარატი შედგება შიმლები ძაბრისა, კაზმის მანაწილებლისა (რომელიც შედგება მბრუნავი ძაბრისა და მცირე კონუსისაგან), დიდი კონუსის ძაბრისა და დიდი კონუსისაგან. კონუსებს შორისი სივრცე პერმეტულადაა დახურული გარსაცმით, რომელსაც აირულ ჩამტვირთს უწოდებენ.

საკაზმე მასალები, რომლებიც საკერძეზე სპეციალური ურეკებით—სკიპებით ან ლენტური კონვეიერის მეშვეობით გადაეცემა, მისაღები ძაბრის მეშვეობით ჩაიტვირთება მცირე კონუსის მბრუნავ ძაბრში. მცირე კონუსის დაშვების შედეგად კაზმი დიდი კონუსის ძაბრში ხვდება. მცირე კონუსის რამდენჯერმე გახსნის შემდეგ კაზმი დიდი კონუსის ზედაპირზე თავსდება, საიდანაც იგი დიდი კონუსის დაბლა დაწვეთით ლუმელში ჩაიტვირთება. ამ დროისათვის მცირე კონუსი დახურულია. ამჟვარად, კაზმი ცალკეული ულუფით (კერძი) ლუმელს გადაეცემა.

ბრძმედის ჩამტვირთ აპარატს მძიმე პირობებში უხდება მუშაობა: განიცდის კაზმის ნაჭრების დარტყმას, მასალის ნაჭრებისა და დამტვირთი აირების მიერ შემხებ ზედაპირების ცვეთას და აგრეთვე მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას. ამიტომ ჩამტვირთი აპარატის დეტალების კონსტრუქციით უნდა იყოს მტკიცე. მაღალი ცვეთამედგვი, იგი მოითხოვს ხშირ შეკეთებას.



ნახ. VIII 4. ბრძმედის ჩასატვირთი აპარატის სქემა.

დიდი კონუსის (თავისი ძაბრილ) სიმეტრიის ღერძი ზუსტად ემთხვევება ბრძმელის სიმეტრიის ღერძს. სხვა შემთხვევაში ღუმელში კაზმის თანაბარი განაწილება ირღვევა.

დიდი კონუსის დიამეტრი ძირითადად დამოკიდებულია ღუნლის საკერძის დიამეტრისაგან. დიდი კონუსის დახრილობა 45—55° შეადგენს (საშუალოდ 50°). კუთხის გადილებით კაზმის განაწილება ღუმლის განზტოებასა და ცენტრს შორის თანაბარია.

ძაბრები, დიდი და მცირე კონუსები ნახშირბადიანი ფოლადისაგა სხმულის სახით მზადდება. კედლის სისქე 50 მმ-ს აღევატება. აირების გაჟონვის შემცირების მიზნით კონუსის ქვედა სარტყელი სპეციალურად მუშავდება. დიდი ზომის გამო ძაბრს შედგენილს ამზადებენ.

მცირე კონუსი მზადდება უხვმანგანუმიანი ფოლადის სხმულისაგან, ხოლო მისი ძაბრი — ნახშირბადიანი ფოლადისაგან (კედლების სისქე 50 მმ).

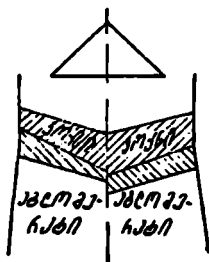
როგორც აღვნიშნეთ, დიდი კონუსის დაშვებით ძაბრსა და კონუსს შორის წარმოქმნილ ღრეჩოდან კაზმი ღუმელში იყრება. იგი კონუსის წარმოსახვით ზედაპირზე დასრიალდება და კედლებსაიკენ მიემართება, ხოლო მისგაიკი მთელ კვეთზე ნაწილდება.

ცნობილია, რომ დახრილ ზედაპირზე სხვადასხვა ზომის ერთი და იმავე მასალის დასრიალებისას წარმოებს მათი ნაპროვენების მიხედვით კლასიფიცირება, ხოლო განსხვავებული კუთრი წონით ტოლნაპროვანი მასალების დასრიალებით მასალები განლაგდება კუთრი წონისა და შედგენილობის მიხედვით. ეს უკანასკნელი აიხსნება ნაპრების განსხვავებული ტრაექტორიით: შედარებით მსხვილი და მძიმე ნაპრები (მაღალი კუთრი წონით) კედელთან უფრო ახლოს განლაგდება. აქვარად, ღუმელში კაზმის ჩატვირთვისას წარმოებს ნაპრების ზომების მიხედვით მათი ერთგვარი განშრევეება.

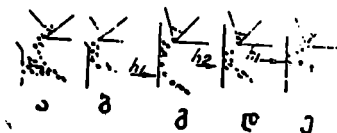
კაზმის ულუფისა და მათი ჩატვირთვის ხერხს ისეთნაირად ირჩევენ, რომ ღუმელში აირების განვლადობა ხელსაყრელი იყოს.

მხედველობაში უნდა იქნეს შილებული ინიც, რომ ბრძმელში ჰაერის შებერვა კედლების მახლობლად წარმოებს; ამასთან, იგი წარმოქმნის ე. წ. არხებს, სადაც აირის მოძრაობის წინალობა შედარებით მცირეა, ვიდრე ცენტრში. ამიტომ აირების უმეტესი ნაწილი ცდილობს კედლების გასწვრივ მოძრაოს.

თანამედროვე ბრძმელებში რკინის მდნის შემკველ კაზმს აგლომერატი წარმოადგენს, რომელიც კოქსთან შედარებით ხასიათდება აირის მცირეგამტარობით. სწორედ ამიტომ საკვირაა, რომ აგლომერატის ფენა კედლებთან



ნახ. VIII.5. საკერძოში კაზმის განაწილება.



ნახ. VIII.6. ბრძმელში კაზმის განაწილების სქემა: ა და ბ — ძაბრსა და დიდ კონუსს შორის ღრეჩოსაგან დამოკიდებულებით; გ, დ და ე — ჩატვირთვის დონისაგან დამოკიდებულებით.

უფრო მეტი იყოს, ვიდრე ლუმლის ცენტრში, ხოლო კოქსის—პირაქით. აგ-
ლომერატსა და მდინისაგან განსხვავებით სწორედ კოქსის ფენას აქვს უნარი
განლაგდეს ლუმელში შედარებით მკირე დახრის კუთხით, რითაც სრულდება
წყურებადი პირობა. ვარდა ამისა, დიდი კონუსისა და საკერძეს შორის ღრე-
ჩოს შეჩრქევა საშუალებას იძლევა ვცვალოთ და ვარეგულიროთ ლუმლის კვეთ-
ში კაზმის ჩატვირთვა და განაწილება.

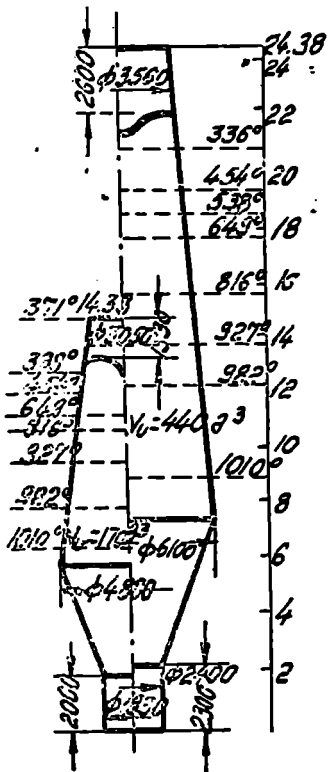
VIII.5 ნაბაზზე ნაჩვენებია საკერძეში კაზმის განაწილების სქემა მცირე
(მარცხნივ) და დიდი (მარჯვნივ) ულუვის შემთხვევაში. დიდი კონუსისა და
საკერძეს შორის ღრეჩოს დონის ცვლილება კედლიდან კაზმის დაშორების
ცვლილების საშუალებას იძლევა (ნაბ. VIII.6).

კაზმის აირგამტარობასა, თბოგადაცემასა და ბრძნელში ქიმიური პრო-
ცესების მიქიწინარობაზე მსჯელობენ ლუმელში ტემპერატურისა და მის
განიეკვეთში აირების შედგენალობის მიხედვით. აირებში CO_2 -ის მაღალი შემ-
ცველობა და მისი დაბალი ტემპერატურა მოწმობს ქიმიურ და თბოგადაცემის
პროცესების მიმდინარეობის სისრულეზე.

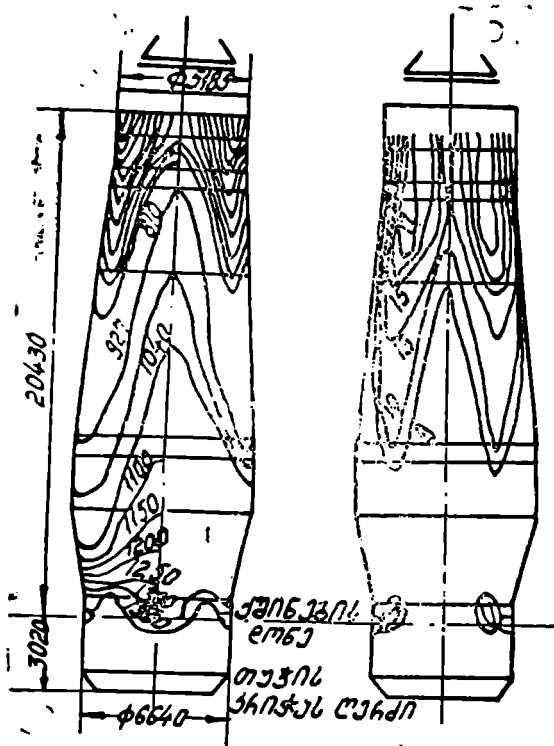
ბრძმელის პროცესში ლუმლის კვეთის ნებისმიერ წერტილში კაზმის მოძ-
რაობის სიჩქარე ერთნაირი რომ ყოფი-
ლიყო, კაზმის განაწილება სივალის
ნებისმიერ ადგილას ისეთვე იქნებოდა,
როგორც საკერძეში. წავრამ, როგორც
ცნობილია, კაზმის მოძრაობა მიქიწინა-
რეობს მისი ნაკრებისა და ნაწილაკების
როგორც ერთმანეთთან, ასევე მათი
კედლებთან ხახუნით. ეს იწვევს განიე-
კვეთში მისი პირეანდელი განაწილების
არეგასა და მოძრაობის სიჩქარის
ცვლილებას. ლუმლის ნორმალური მუ-
შაობის შემთხვევაში კაზმის მოძრაო-
ბის სიჩქარე მკვეთრად არ იცვლება.
ძირითადად ამ დროს მიმდინარეობს
კაზმის სვეტის განშტოებისა და ცენტ-
რალური ნაწილის თანაბარი დაშეება.
კაზმის კედლებზე ნალევენების არსე-
ბობა აფერხებს კედლებთან კაზმის თა-
ნაბარ დაშეებას.

კაზმის მოძრაობის სიჩქარე დამო-
კიდებულება აგრეთვე შეებრილი ჰაერის
რაოდენობაზე; პრაქტიკიდან დადგენი-
ლია, რომ ლუმელში რაც მეტია ჰაე-
რის ბერვა, მით უფრო მეტია მის ცენ-
ტრალურ ნაწილში კაზმის დაშეების
სიჩქარე.

კოქსის წვის შედეგად ქმინების
ზონაში წარმოქმნილი აირები ქვევიდან
ზევით მოძრაობის დროს არა მხო-
ლოდ თანგეულებს ალაღგენს, არამედ



ნაბ. VIII 7. დაბალი და მაღალი ბრძმე-
ბის სივალეში ტემპერატურის განაწი-
ლება.



ნახ. VIII.8. ბრძმედის სიმაღლესა და განივკვეთში აირის ტემპერატურის (ა) და მასში ნახშირორჟანგის შემცველობის (ბ) განაწილება.

დავთ, დაბალ ბრძმედში საკერძე აირის ტემპერატურა 399—400°C აღწევს, ხოლო მაღალ ბრძმედებში — 336°C. ამგვარად, ღუმლის სიმაღლის 10 მ ით ზრდა იწვევს საკერძე აირების ტემპერატურის მხოლოდ 63°C-ით დაცემას. მიუხედავად ამისა, პრაქტიკაში ყოველთვის ცდილობენ მისი სიმაღლისა და, ამასთან, მოცულობის გადიდებას, რაც თავისთავად იწვევს ღუმლის მწარმოებლურობის ზრდას.

VIII 8 ნახაზზე მოცემულია ბრძმედის სიმაღლესა და განივკვეთში აირების ტემპერატურისა და მასში შემავეალი ნახშირორჟანგის განაწილება. როგორც ვხედავთ, გარკვეულ სიმაღლეზე აირის ტემპერატურის ცვლილება მკარება, რაც ღუმლის ამ ნაწილებში თბოგადაცემის შენელებასთანაა დაკავშირებული.

კაზმის მასალებსაც ახურებს. ამგვარად, ბრძმედში მასალა და აირი ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობს. ამის შედეგად ბრძმედში წარმოიქმნება მასალის გახურებისა და აღდგენის ხელსაყრელი პირობები. ჩვეულებრივ, გამავალი საკერძე აირების ტემპერატურა 200—300°C აღწევს. ნოტიო კაზმის გამოყენების შემთხვევაში საკერძე აირის ტემპერატურა 100—150°C არ აღემატება. ამგვარად, სითბოს მაქსიმალური გამოყენება 86% აღწევს.

VIII.7. ნახაზზე მოყვანილია 2700 და 2000 მ³ მოცულობის ბრძმედებში ტემპერატურის განაწილების სქემატური გამოსახულება. როგორც ვხე-

ბრძმელული პროცესი

§1X.1. ნედლი მასალებიდან ტენისა და აქროლადების მოცილება.
კარბონატების დაშლა

ტენის მოცილება. კაზმის მასალები ჩატვირთვისთანავე განიცდის მალალი ტემპერატურის მქონე აირების ზემოქმედებას.

უპირველეს ყოვლისა, საკაზმე მასალებზე სითბოს ზემოქმედება იწვევს მისგან ტენის გამოყოფას. სხვადასხვა მასალაში ტენის შემცველობა სხვადასხვაა: ჰემატიტურ და მაგნეტიტურ მადანში 1—6%—ია, მურა რკინაქვაში 1—2.5%.

საკაზმე მასალაში ტენი შესაძლოა იყოს როგორც თავისუფალ მდგომარეობაში (ჰიდროსკოპული), ასევე ჰიმიურად ბმულ მდგომარეობაში (ჰიდრატიული). კაზმიდან ჰიდროსკოპული ტენის მოცილება წარმოებს 100°C ტემპერატურის ზემოთ. საკერძოზე ტემპერატურა 200—400°C აღწევს. ამდენად ეს პროცესი არ მოითხოვს სათბობის დამატებით ხარჯს, რადგანაც მისი აორთქლება ბრძმელიდან გამავალ ნაწივე აირების ხარჯზე მიმდინარეობს. გარდა ამისა, აღსანიშნავია ის, რომ ჰიდროსკოპული ტენის მოცილება პრაქტიკულად არ მოქმედებს ბრძმელის თბური მუშაობის ეფექტურობაზე.

ჰიდრატიული ტენი ბრძმელში ძირითადად შეიქმნება მურა რკინაქვას ან ისეთ მადანებს, რომლებშიც ჰიდრატიული ტენი Fe_2O_3 -თანაა ბმულ მდგომარეობაში. ამჟამად ბრძმელის კაზმში ჰიდრატიული ტენი ძალზე მცირეა, რადგანაც მაღლიანად გამოყენებული მადნის 90% ჩატვირთვის წინ გადის წინასწარ მალალტემპერატურულ დანუშეგებას (აგლომერაცია, მოგუნდვა და სხვ.), ამის შედეგად იგი იშლება და ცილდება.

ჰიდრატიულ ტენს შეიცავს, აგრეთვე, თიხოვ.ნი ფუქვი ქანები, განსაკუთრებით კაოლინ-ალუმინის სილიკატის ჰიდრატი $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

სათბობიდან აქროლადების გამოყოფა. ნედლი სათბობის გახურების შედეგად მისგან აირები და ორთქლი გამოიყოფა. ამიტომ წინასწარ მყარი სათბობის მშრალ გამოხდას აწარმოებენ (უპირო ან აღმდგენელ ატმოსფეროში). ბრძმელში ასეთი სათბობის გამოყენების შემთხვევაში გამოიყოფა ორთქლისა და აირების ნიჰიმალური რაოდენობა. ამასთან დაკავშირებით კოქსი, რომელიც ქვანახშირის მშრალი გამოხდის პროდუქტს წარმოადგენს, აქროლადების გაცილებით ნიჰიმალურ რაოდენობას შეიცავს, ვიდრე თვით ნედლი ქვანახშირი. გამოყოფილი აირების შედგენილობა შემდეგ ფარგლებში იცვლება (მოცულობით %): 10—15% CO_2 , 20—30% CO , ~1% CH_4 , 35—40% H_2 , 20—30% N_2 და 0—10% O_2 . ცდების შედეგად დადგენილია, რომ ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით (300—800°C საზღვრებში) გამოყოფილი აირების შედგენილობა საკმაოდ იცვლება. ასე, მაგალითად, ტემპერატურის ზრდით CO და CH_4 -ის შემცველობა რამდენადმე მცირდება, ხოლო H_2 და N_2 კი —ზრდება. კოქსში აქროლადების საერთო რაოდენობა 1,2—1,3% შეადგენს. მიღებულია, რომ წყალბადის შემცველობა თვით კოქსში 0,55—0,65%—ის ფარგლებშია, რომლის ნაწილიც ნახშირბადთან მეთანის სახითაა შეკავშირებული. მასში წყალბადის დანარჩენი რაოდენობა თავისუფალი სახით გადადის საკერძე აირში.

კარბონატების დაშლა. ბრძმედულ პროცესში კარბონატების დაშლას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. რკინისა და მანგანუმის მადნის მიერ ბრძმედში შეტანალი კარბონატების წილი ძალზე მცირეა. შედარებით დიდი რაოდენობით შეაქვთ ფლუსი (კირქვა ან დოლომიტიზებული კირქვა). კარბონატების დისოციაციის თერმოდინამიკა და პროცესის მიმდინარეობის კინეტიკა დაწვრილებით განხილულ იყო III თავში. ამიტომ აღნიშნულ პარაგრაფში მათ განხილვას არ შევედგებით.

ბრძმედულ პროცესში წინშველოვანი როლი ენიჭება კალციუმის კარბონატის დაშლას, რომელიც ლუმელში იწყება კირქვის დისოციაციის დრეკადობისა და ნახშირყანგის პარციალური წნევის გათანაბრების შემთხვევაში. კირქვის ნაკრების დაშლა ზონალურად მიმდინარეობს—პერიფერიიდან ცენტრისაკენ.

კირქვის ნაკრების გახურებისას მისი შიდა ფენიდან გამოიყოფა CO_2 , რომლის მოცილებაც ლიბიტირებულია ფორებში აირების დიფუზიით. ამასთან დიფუზიის სიჩქარეზე საგრძნობ გავლენას ახდენს ლუმელში აირების საერთო წნევა, რაც ამუხრუშებს აირში CO_2 -ის გადასვლას. კირქვის დისოციაცია შეუფერხებლად მიმდინარეობს მაშინ, როცა მისი დისოციაციის დრეკადობა ლუმელში აირების საერთო წნევის აღემატება, ე. ი. როდესაც კალციუმის კარბონატი მოხვდება „ქიმიური დულილის“ ტემპერატურის ზევით. ბრძმედში ასეთი პირობა ექმნება დაახლოებით $1000^{\circ}C$ -ზე.

დადგენილია, რომ კირქვის დაშლა მიმდინარეობს მისი ნაკრების საშუალო ტემპერატურის შეუცვლელად. ეს აიხსნება იმით, რომ მთელი სითბო, რომელიც ნაკრებზე მიიყვანება, იხარჯება დისოციაციის რეაქციის ენდოთერმული ეფექტის დასაფარავად. ამიტომ, წყლის დულილის პროცესის ანალოგიურად, დაშლის პროცესს „ქიმიურ დულილს“ უწოდებენ.

გამოყოფილი CO_2 იწვევს ლუმელში აირის აღდგენითი პოტენციალის დაცემას (მისი CO_2 -ით განზავების გამო); ამასთან, იგი რეაგირებს კოქსის ნახშირბადთან $1000^{\circ}C$ -ზე ზევით ($CO_2 + C = 2CO - 166300$ კჯ) ენდოთერმულ ეფექტით და ზრდის კოქსის ხარჯს, საგრძნობლად აუარესებს ბრძმედული დნობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. ამიტომ უნდა ვეცადოთ, რომ კირქვის დაშლის პროცესი გამოვიტანოთ ლუმელს გარეთ, მაგალითად, აგლომერაციის პროცესში.

პროფ. ა. რამის მონაცემებით, ბრძმედის კაზში 1 კგ. კირქვის შემცირება და მისი აგლომერატში შეტანა გვაძლევს 0,35—0,4 კგ მღი კოქსის ეკონომიას. ეს ფაქტი ბრძმედში დაფლუსებული აგლომერატისა და გუნდების გამოყენების მაღალ ეფექტიანობაზე მიგვიჩივებს.

§17.2. ბრძმედში რკინის უანგეულები ალდგენის სიჩქარეზე გომამელი ფაქტორები

რკინის უანგეულების აღდგენის სიჩქარე, რომელიც განისაზღვრება უანგადის იმ რაოდენობით, რომელსაც უანგეული აღმდგენელს გადასცემს დროის ერთეულში, დამოკიდებულია რკინამაღნური მასალების ხარისხზე, ტემპერატურაზე, აღმდგენელ აირის შედგენილობაზე, აირის ნაკადის სიჩქარეზე, წნევისა და სხვა ფაქტორებზე.

რკინის უანგეულებიდან რკინის აღდგენის რეაქციების თერმოდინამიკისა და მიმდინარეობის კინეტიკის საკითხები ვრცლად განხილულ იყო III თავში.

აღნიშნულ პარაგრაფში მოკლედ განვიხილოთ რკინის ეანგეულებიდან რკინის ალდგენის პროცესზე მოქმედი ზოგიერთი ძირითადი ფაქტორი.

რკინამადნური მასალების ხარისხი ხასიათდება ნაჭრების ზომებით, ფორიანობით, მინერალოგიური შედგენილობითა და სხვ. მაჩვენებლებით, რომლებიც ბრძმულ პროცესში დიდ გავლენას ახდენენ რკინის ეანგეულებიდან რკინის ალდგენის სიჩქარეზე.

რკინამადნური მასალების ნაჭრების ზომების ზრდა იწვევს ალდგენელ აირებთან ეანგეულების შეზღუდვას, ალდგენს ნაჭრების ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ მანძილს. ამასთან ერთად ნაჭრების ცენტრში იზრდება იმ ტემპერატურის შეღწევის დრო, რომელზედაც მიმდინარეობს ალდგენის რეაქცია.

დადგენილია, რომ პროცესის მიმდინარეობის ერთი და იმავე ხანგრძლივობის შემთხვევაში, ნაჭრების ზომების შემცირებით ალდგენის ხარისხი იზრდება. ნებისმიერი ნაჭრებისათვის დროის მიხედვით ალდგენა არათანაბრად მიმდინარეობს, სახელდობრ, პროცესის ბოლოს შეიქმნევა სიჩქარის (დროის ერთეულში ალდგენილ ნივთიერების რაოდენობის) ნეკროზები. ეს მოვლენა შეიძლება შემდეგნაირად აიხსნას: ალდგენილ ნივთიერების რაოდენობის ზრდა, რომელიც ეანგეულების შემცირების ხარჯზე მიმდინარეობს, დასაწყისში ინტენსიურია, ხოლო პროცესის ბოლოს დროის ერთეულში განუწყვეტილ კლებულობს და ისწრაფვის ნულისაკენ.

მიღებულია, რომ დროის ერთეულში რკინამადნური მასალის ალდგენის ხარისხი მიახლოებით ნაჭრების ზომების უკუპროპორციულია სიღრმეზე. ასე, მაგალითად, მცირეფორიანი მადნის ნაჭრების ზომების ზრდა 10 დან 30 მმ-მდე იწვევს ალდგენის ხარისხის შემცირებას 82—88-დან 6—12% მდე; ფორიანი მადნის ნაჭრების 10-იდან 50 მმ-მდე ზომების ზრდა კი—82—88-დან 54—56%—მდე. ამგვარად, რკინამადნური მასალის ნაჭრების ზომების გარდა ალდგენილობაზე საგრძნობ გავლენას ახდენს მათი ფორიანობაც. გამოკვლევით დადგენილია რომ 10-დან 30 და 66%—მდე მადნის ნაჭრების ფორიანობის ზრდა იწვევს (800°C-ზე წყალბადით ალდგენის პირობებში) ფარდობით ალდგენადობის ზრდას 15,4-დან 29,4 და 57,1%—მდე, შესაბამისად. გარდა ამისა 90%—ით ალდგენის დროს მცირდება 65-იდან, შესაბამისად, 34 და 17,5 წუთით.

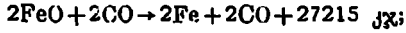
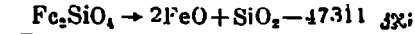
ალდგენის სიჩქარეზე დიდ გავლენას ახდენს ფორების ზომებიც. ცდების შედეგად დადგენილია, რომ აგლომერატებში ფორების ზომები 3,5—5 მმ-იდან რამდენიმე მიკრონის ფარგლებში ზეუყობს. ამასთან დადგენილია, რომ ძირითად რაოდენობას წვრილი ფორები შეადგენენ, რომელთა აირგანვლადობა შედარებით მცირეა.

მადნის მინერალური შედგენილობის გავლენა. მადნი ალდგენადობის გაუარესების მიხედვით შესაძლოა შევადგინოთ დავალაგოთ: სიდერიტები, მურა რკინაქვა. წითელი რკინაქვა, მარტიტები, მაგნიტური რკინაქვა და ტიტანომაგნეტიტები.

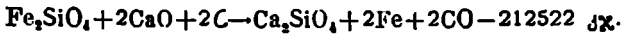
სიდერატები და მურა რკინაქვა გახურებისას CO_2 და H_2 -ს გამოყოფის შედეგად ფორიანები ხდებიან, რაც ააღვილებს მათს ალდგენადობას. წითელი რკინაქვის ალდგენადობაც მაღალია, რაც დაკავშირებულია Fe_2O_3 -ის Fe_3O_4 -ად ალდგენის პროცესში მისი მოცულობის ზრდის შედეგად ნაჭრების დასკრობასა და საგრძნობი რაოდენობით ფორების მიღებასთან.

მაგნეტიტი და ტიტანომაგნეტიტი წარმოაღვეს შედარებით მკვირვ მა-

დანს, რომელთა ფორიანობა და აღდგენადობა გასურების პროცესში საგრძ. ნობლად არ იზრდება. ამიტომ ეს მადანი ძნელად აღსადგენს განეკუთვნება. გარდა დაბალი ფორიანობისა, ეს ფაქტი დაკავშირებულია წიდაში რკინის სილიკატების დიდი რაოდენობით არსებობაზე (Fe_2SiO_4 —ფაიალიტი). ფაიალიტში ბმული რკინის ენგიდან რკინის აღდგენა ვაცილებით გაძნელებულია. ვიდრე თავისუფალი რკინის ქვეენგიდან, რაც გამომდინარეობს შემდეგი რეაქციებიდან:



ფაიალიტის დნობისას რკინა შესაძლოა აღდგენილ იქნეს უშუალოდ მყარი ნახშირბადით. რკინის სილიკატის აღდგენა ვაცილებით იოლდება მასში CaO -ის არსებობით (ფუძე წილები). განსაკუთრებით 1000°C -ს ზევით. კირი შლის ფაიალიტს და რკინის აღდგენა თავისუფალი რკინის ქვეენგიდან შემდეგი ჯამური რეაქციით მიმდინარეობს:



ტემპერატურის გავლენა. როგორც III თავში იყო განხილული, ტემპერატურა დიდ გავლენას ახდენს აღდგენის პროცესის კინეტიკაზე: რეაქციის სიჩქარის მუდმივა და დიფუზიის კოეფიციენტი ტემპერატურის ზრდას იწვევს. აღსანიშნავია, რომ ტემპერატურის ზრდით აღდგენის სიჩქარე განუწყვეტილად არ იზრდება, არამედ შეიმჩნევა მისი შემცირება. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია $500-600^\circ\text{C}$ -ზე CO -ის დაშლის შედეგად აირულ ფაზაში CO_2 -ის შემცველობის ზრდითა და ფორებში კვარტლისებრი ნახშირბადის დალექვით. ეს თავისთავად აუარესებს აირის კონტაქტს აღსადგენ ენგეულბთან. აღდგენის სიჩქარის შემცირება შეიმჩნევა $900-1000^\circ\text{C}$ -ზეც. ეს გამოწვეულია აღდგენილი რკინის ნაწილაკების შეცნობით ან აღუდგენელი რკინის ქვეენგისა და ფუჭი ქანებისაგან სილიკატების წარმოქმნით, რაც აძნელებს ნაპრებს შიგნით აირების შეღწევადობას.

აირების ნაკადის სიჩქარე გავლენას ახდენს გარე დიფუზიაზე (ანუ მადნის ზედაპირთან აღმდგენელი აირის მიყვანა და მისგან აღდგენის პროდუქტების მოცილება). რაც უფრო დიდია აირის მოძრაობის სიჩქარე, მით უფრო თხელა მადნის ზედაპირზე არსებული ნაკლებად მოძრავი აფსკის ფენა, რაც იწვევს აირის ნაკადსა და მადნის შორის თბოგაცვლის ზრდას. ყოველივე ეს აჩქარებს აღდგენის ზრდას.

აირების წნევის გავლენა აღდგენის სიჩქარეზე ძირითადად დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ეტაპი წარმოადგენს განმსაზღვრელს. გარე დიფუზია ეშორილება ე. წ. თავისუფალი დიფუზიის კანონებს. ამიტომ მისი სიჩქარე არ არის დამოკიდებული წნევისაგან. კინეტიკურ არეში აღდგენის სიჩქარე წნევის ზრდით გარკვეულ ზღვრამდე უნდა იზრდებოდეს.

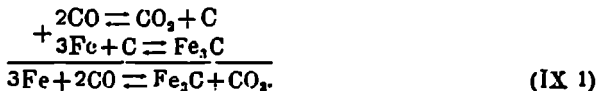
რაც მცირეა ფორების ზომები და ბევრია მათი რაოდენობა, მით მეტია წნევის ზრდის შემთხვევაში ფორების ზედაპირის შეხების ფართობი აღმდგენელ აირთან, ე. წ. იზრდება აინტელწევადობა, რის შედეგადაც აღდგენის სიჩქარე მატულობს.

აღმდგენელი აირის შედგენალობა (განსაკუთრებით CO , H_2 , CO_2 , H_2O , N_2) საგრძნობ გავლენას ახდენს აღდგენის სიჩქარეზე. ბრძმედის

აირის შედგენილობიდან აღდგენლად გვევლინება CO და H₂. მათი, როგორც აღდგენლების, თერმოდინამიკური და კინეტიკური კანონზომიერებანი განხილულ იქნა III თავში. H₂O-ს ორთქლი და CO₂ აძწელებს აღდგენითი პროცესის მიმდინარეობასა და ახელებს მის სიჩქარეს. აზოტი რეაქციაში უშუალოდ არ მონაწილეობს, მაგრამ ამცირებს აირში ნახშირჟანგისა და წყალბადის კონცენტრაციას; ამასთან დაბლა წევს აირის აღდგენითუნარიანობასა და აღდგენის სიჩქარეს.

ბრძმედში შებერილი ჰაერის ეანგბადით გამდიდრება და მისი დანოტიობა ზრდის აირში CO-სა და წყალბადის შემცველობას. გარდა ამისა, ამცირებს აზოტის შემცველობას. ყოველივე ეს იწვევს აირის აღდგენის უნარის ზრდასა და მის სიჩქარეს

თანამედროვე მეტალურგია ძირითადად ეყარება წარმოების პროდუქტების მიღებას თხევად მდგომარეობაში, აპასთან, ნახშირბადთერმული აღდგენა ხასიათდება თხევადი ლითონის დანახშირბადიანებით (თუჯი, ფეროშენადნობები). რკინის დანახშირბადიანების პროცესი იწყება მისი მყარი ღრუბლოვანი სახით მიღებისთანავე. ამ პროცესის მექანიზმი შესიძლოა განხილულ იქნეს შემდეგნაირად: ახლად აღდგენილი რკინა გვევლინება ნახშირჟანგის დაშლის რეაქციის კატალიზატორად. იშლება კვარტლისებრი ნახშირბადად და ნახშირჟანგად. ეს რეაქცია მიმდინარეობს მყარი ღრუბლისებრი რკინის ზედაპირზე წარმოქმნილი ნახშირბადის რეაგირებით რკინის ატომებთან, რაც წარმოქმნის რკინის კარბიდებს. ეს პროცესი შემდეგი სქემით შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



ეს რეაქცია ინტენსიურად მიმდინარეობს 400—500°C-ზე. რკინის დანახშირბადიანებასთან ერთად მისი ღრუბის ტემპერატურა ეცემა; სუფთა რკინის ღრუბის ტემპერატურა 1539°C-ს შეადგენს; ხოლო რკინაში 4,3% ნახშირბადის შემცველობის შენადნობის ღრუბის ტემპერატურა 1135°C-მდე ეცემა.

ბრძმედში რკინის დანახშირბადიანება შედარებით ინტენსიურად მიმდინარეობს ლითონის თხევად მდგომარეობაში ვადასვლის შემდეგ. გამდნარი ლითონის წვეთები კონტაქტირებს გავარჯარებულ კოქსის ნახშირბადთან, რის შედეგადაც ნახშირბადის შემცველობა მასში მკვეთრად იზრდება.

თუჯში ნახშირბადის ხსნალობა დიდად აირის დამოკიდებული სხვა ელემენტებზე. მაგალითად, ისეთი ელემენტები, რომლებიც წარმოქმნიან მდგრად კარბიდებს, ზრდიან შენადნობში ნახშირბადის შემცველობას (მაგალითად, Mn, Cr, V და სხვ.). მათგან განსხვავებით, სილიციუმი და ფოსფორი, რომლებიც რკინასთან წარმოქმნიან კარბიდებზე უფრო მდგრად ნაერთებს—სილიციდებს და ფოსფიდებს, ამცირებენ თუჯში ნახშირბადის ხსნალობას.

§IX. 3. ბრძმედში მიმდინარე აღდგენითი პროცესები

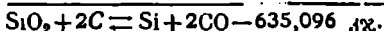
როგორც აღვნიშნეთ, ბრძმედული პროცესის ძირითად რეაქციებს რკინის ეანგეულებიდან აღდგენისა და სათბობის წვის რეაქციები წარმოადგენს. გარდა აღნიშნულისა, ბრძმედში მიმდინარეობს სხვა ეანგეულების აღდგენის რეაქციებიც, რომლებიც აგრეთვე ძირითადია თუჯის მეტალურგიაში. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

სილიციუმის აღდგენა. ბრძმედელი დნობის საკახზე მასალებში სილიციუმი (კაეზადი) იმყოფება თავისუფალი კაემიწის (კვარცი) ან სილიკატების სახით. კაემიწა უფრო მდგრადი შენგეულია, ვიდრე FeO, MnO და შესაძლოა იგი აღდგენილ იქნეს მხოლოდ მყარი ნახშირბადით. ეს პროცესი ბრძმედის ქვეშ ნაწილში მაღალ ტემპერატურულ პირობებში მიმდინარეობს.

წინათ ვარაუდობდნენ, რომ სილიციუმის აღდგენა უშუალოდ კაემიწიდან შუალედური ენგეულის წარმოქმნელად მიმდინარეობდა:



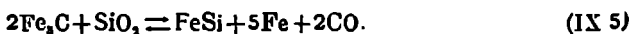
ამჟამად დადგენილია, რომ სილიციუმის აღდგენა, რკინისა და მანგანუმის აღდგენის მსგავსად, საფეხურებით შუალედური ენგეულის SiO-ს წარმოქმნით მიმდინარეობს:



ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენა 1500°C-ზე იწყება. ბრძმედელ პროცესში მისი აღდგენა გაიოლებულია Fe₃Si, FeSi, FeSi₂-ის წარმოქმნის შედეგად, რომელიც სითბოს გამოყოფითა და რკინაში სილიციუმის გახსნით მიმდინარეობს. ლითონური რკინის არსებობა დაბლა წევს ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენის ტემპერატურას (~1050°C). მაგრამ მყარ ნივთიერებებს შორის არასაკმაო შეზების შედეგად პროცესის ინტენსიური მიმდინარეობა არ ხდება. ამიტომ ბრძმედში სილიციუმის აღდგენა ძირითადად თხევადი წილიდან მომდინარეობს, რომელშიც SiO₂ დაკაემირებულია CaO, MgO და სხვ. ენგეულებთან. ეს უკანასკნელი აძნელებს აღდგენის პროცესის მიმდინარეობას.

IX.1 ნახაზზე ნაჩვენებია წილიდან სილიციუმის აღდგენის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურასა და დროზე. როგორც ვხედავთ, წილიდან სილიციუმის აღდგენის რეაქცია ვითარდება მაღალ ტემპერატურულ პირობებში და აქტიურად მიმდინარეობს ქურის მახლობლად. პროცესი ინტენსიურდება ქმინებში მიწოდებული ჰაერის ეანგბადით გავლიდრებით.

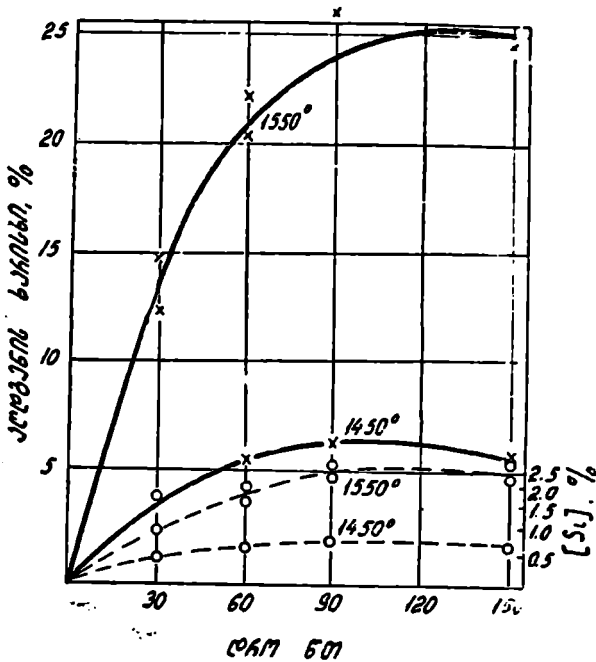
მაღალი ტემპერატურის პირობებში თხევადი წილიდან სილიციუმის აღდგენა მიმდინარეობს, აგრეთვე, რკინის კარბიდის მეშვეობით



დადგენილია, რომ სილიციუმის აღდგენის პირობების გასაუმჯობესებლად აუცილებელია: კოქსის ხარჯის გაზრდა, შებერილი ჰაერის მაქსიმალურ ტემპერატურამდე გახურება, შებერილი ჰაერის ეანგბადით გავლიდრება, იოლად აღსადგენი კაზმის გამოყენება და სხვ.

სილიციუმის შემცველობა თუჯში სხვადასხვაა. ასე მაგალითად, ვადასამუშავებელი და სასხმელო თუჯის გამოდნობისას მასში სილიციუმის შემცველობა 1—4% აღწევს. ამასთან, ქურის თბური მდგომარეობის მიხედვით მისი აღდგენის ხარისხი 3—30%-ს შეადგენს, დანარჩენი SiO₂-ის სახით წილაში რჩება. უხვსილიციუმიანი თუჯის მისაღებად საჭიროა ქურაში ტემპერატურის აწევა, ე. ი. გავზარდოთ კოქსის ხარჯი და ავწიოთ შებერილი ჰაერის ტემპერატურა.

ფეროსილიციუმის გამოდნობისას იქმნება სპეციალური პირობები: 1 ტ

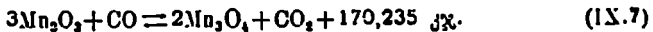
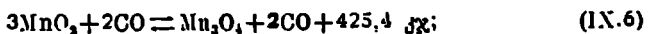


ნახ. IX.1. წილიან სილიციუმის ალდგენის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება (უწყვეტი ხაზები—ალდგენის ხარისხი; პუნქტური—ლითონის სილიციუმის შემცველობა).

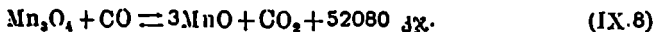
შენადნობზე კოქსის ხარჯი 1,3—1,4 ტ-მდე იზრდება; შებერილი ჰაერის ტემპერატურა მაქსიმალურია; წილაში $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ ფარდობა 0,7—1,0-მდე ეცემა; შებერილ ჰაერში ჟანგბადის შემცველობა 27—30%-მდე იზრდება და ა. შ. ამ შემთხვევაში ალდგენის ხარისხი მხოლოდ 35—50% აღწევს. სილიციუმის დაახლოებით 15% SiO -ის სახით აქროლდება, დანარჩენი SiO_2 -ის სახით წილაში რჩება. ამიტომ ბრძმედში 12—18% Si შემცველობის ზევით ფეროსილიციუმის მიღება პრაქტიკულად შეუძლებელია.

მანგანუმის ალდგენა. ბრძმედული დნობის საკაზმე მასალებში მანგანუმი იმყოფება MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MnO და MnCO_3 სახით, რომლებიც წილიან პიროლუზიტის, ჰაუსმანიტის, ბაუნიტის, პსილომელანასა და როდოქროზიტის მინერალების შედგენილობაში. რკინის ჟანგეულების ალდგენის მსგავსად, მანგანუმის ჟანგეულების ალდგენაც საფეხურებით მიმდინარეობს—მალლიდან დაბლისაკენ.

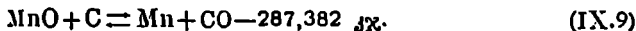
MnO_2 და Mn_2O_3 არამდგრადი ჟანგეულებია და ბრძმედის ზედა ზონებში (სადაც ტემპერატურა შედარებით დაბალია) შეუქცევადი რეაქციით ისინი Mn_3O_4 -მდე ალდგებიან



მანგანუმის ქანგეულების აღდგენისას სითბოს დიდი რაოდენობის გამოყოფის შედეგად მიმდინარეობს ბრძმედის ზემო ზონებში ტემპერატურის აწევა. ამასთანავე დაკავშირებული ის ფაქტი, რომ ბრძმედში ფერომანგანუმის გამოღობისას აიწევა საკერძე აირების ტემპერატურა. ეს უკანასკნელი თავისთავად მოქმედებს ბრძმედის ზემო ნაწილის ცეცხლგამძლე ამონაგზე და იწვევს მის ცვეთას. Mn_2O_4 შედარებით მდგრადი ქანგეულია, მაგრამ გარკვეულ ტემპერატურებში მიმდინარეობს მისი პირდაპირი აღდგენა შემდეგი რეაქციით:

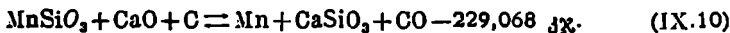


MnO აღდგენა უშუალოდ მყარი ნახშირბადის მეშვეობით $1100^{\circ}C$ -ზე მაღალ ტემპერატურებზე მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



ბრძმედულ პროცესში თუჯში გადადის მანგანუმის მხოლოდ ნაწილი, ნაწილი MnO -ს სახით რჩება წილადში, ხოლო ნაწილი აირებთან ერთად აქროლდება Mn -ის ორქვანგის სახით.

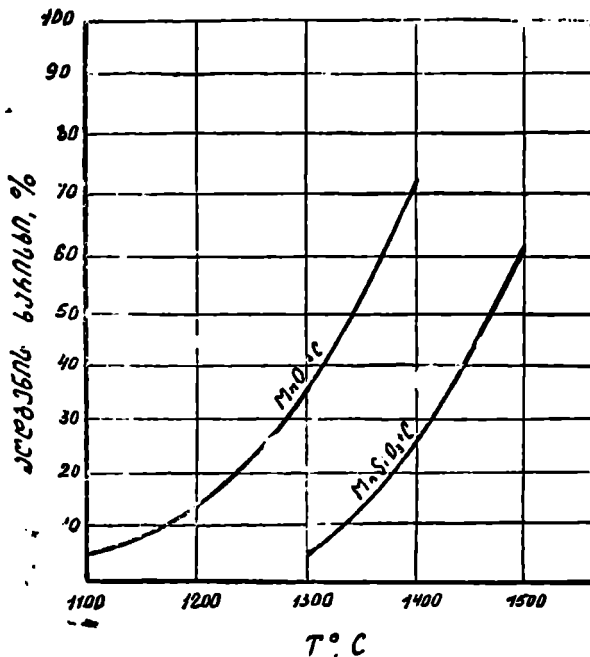
თერმოდინამიკური ანგარიშით დადგენილია, რომ მანგანუმის ქანგეულების წყალბადით აღდგენა შესაძლებელია შემდეგ ტემპერატურებზე მიმდინარეობდეს: MnO_2 — $185^{\circ}C$, Mn_2O_3 — $230^{\circ}C$ და Mn_3O_4 — $296^{\circ}C$. მანგანუმის კარბიდი რამდენადმე დაბლა წევს მანგანუმის ტანგის აღდგენის ტემპერატურას. რკინის არსებობით მანგანუმის აღდგენა საგრძნობლად მიმდინარეობს 1100 — $1300^{\circ}C$ -ზე. რადგანაც მაღალ ტემპერატურულ პირობებში მანგანუმის ქვეყნები აღდგება, მისი საგრძნობი ნაწილი მაინც გადადის სილიკატში, რომლის აღდგენაც $1300^{\circ}C$ იწყება. ამგვარად, სილიკატში მანგანუმის აღდგენის ხარისხი შედარებით დაბალია, ვიდრე თავისუფალ MnO -დან აღდგენის შემთხვევაში. MnO -ს ან მანგანუმის სილიკატის აღდგენა საგრძნობლად იოლდება რკინის მონაწილეობით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ აღსაღდგენი მანგანუმი რკინაში ნებისმიერი კონცენტრაციით იხსნება და მასთან წარმოქმნის შედარებით ადვილმდნად ნაერთს. მანგანუმის აღდგენა სილიკატიდან საგრძნობლად იოლდება კალციუმის ტანგის არსებობით, რომელიც იერთებს კაჟმიწას და წარმოქმნის კალციუმის სილიკატს



IX.2 სახაზე ნაჩვენებია მანგანუმის ქვეყნებისა და სილიკატიდან მანგანუმის აღდგენის ხარისხი. როგორც ჩანს, მანგანუმის აღდგენის ხარისხს SiO_2 საგრძნობლად დაბლა სცემს.

ამგვარად, MnO -დან მანგანუმის აღდგენის პროცესი დაკავშირებულია სითბოს დიდ დანახარჯებთან. გარდა ამისა, ბრძმედში მანგანუმის ქანგეულებიდან მანგანუმის აღდგენა არასრულად მიმდინარეობს და დნობის პროცესში მისი დიდი ნაწილი წილადში გადადის, ხოლო ნაწილი კი ორთქლდება. ჩვეულებრივ გადასამუშავებელი თუჯის გამოღობის შემთხვევაში მანგანუმის აღდგენის ხარისხი 55—65 აღწევს, ხოლო სამსხმელო თუჯისა— $70 \div 75\%$. ფერო. მანგანუმის გამოღობისას მანგანუმის აღდგენის ხარისხი შეადგენს $\sim 90\%$.

მანგანუმიანი თუჯების გამოღობის შემთხვევაში მანგანუმის აღდგენის პირობების გაუმჯობესებისა და მისი სრულყოფილად ლითონში გადასვლისათვის აუცილებელია: შებერილი ჰაერის მაღალ ტემპერატურაზე გახურება,

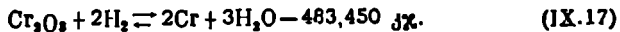


ნახ. IX.2. მანგანუმის სილიკატისა და მანგანუმის ქვეფანჯისაგან მანგანუმის აღდგენის ხარისხი.

კოქსის ხარჯის გაზრდა, მაღალფუძიანი წილების ($\text{CaO}:\text{MgO}=50\%$) გამოყენება, შებერილი ჰაერის ენგბადით გამდაღრება, რაც იწვევს ქურაში ტემპერატურის ზრდასა და აღდგენის პირობების გაუმჯობესებას და სხვ.

ქრომის აღდგენა. ქრომი კაზში ქრომის რკინაქვის (ქრომიტის) $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ სახითაა, რომელიც მდგრად, ძნელად აღსადგენ ნაერთს წარმოადგენს.

ნახშირბადით მისი აღდგენა მაღალტემპერატურებზე შემდეგი სქემით მიმდინარეობს: $\text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CrO} \rightarrow \text{Cr}$, ხოლო წყალბადით— Cr_2O_3 -ის აღდგენა 1000°C -ზე ზემოთ კი შემდეგი რეაქციით:

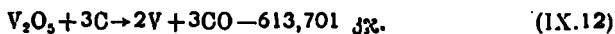
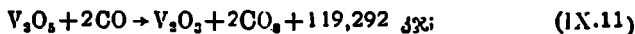


ნახშირბადით აღდგენა $\sim 1100^\circ\text{C}$ -ზე სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს.

რკინისა და ტუტე ლითონების ენგეულების არსებობა აჩქარებს აღდგენის პროცესს, მაგრამ ბოლომდე ქრომის აღდგენა არ წარმოებს და მისი ნაწილი წილაში გადადის.

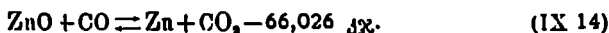
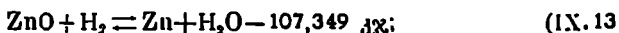
ბრძმედულ პროცესში ქრომის ენგეულების არსებობა განაპირობებს ძნელადმდნადი და ბლანტი წილების მიღებას, რაც მოითხოვს მაღალ ტემპერატურას, კოქსის დიდ ხარჯსა და შებერილი ჰაერის მაქსიმალურად გახურებას. ამიტომ ბრძმედში ფეროქრომის მიღება პრაქტიკულად არ ხდება.

ვანადიუმის ალდგენა. როგორც აღინიშნა, ვანადიუმი ძვირფას მალეგირებელ ელემენტს წარმოადგენს, რომელიც ზოგიერთ რკინის მადანში მცირე რაოდენობით გვხვდება ($\leq 1\% V$). ამგვარი მადნის გამოყენების შემთხვევაში ვანადიუმის სრულყოფილი ალდგენისათვის შესაბამისი ზომები უნდა იქნას მიღებული. ვანადიუმი განეკუთვნება ძნელადალდგენ ელემენტს. ბრძმედულ პროცესში მისი ალდგენა შესაძლოა წარმოვიდგინოთ შემდეგი რეაქციებით:



ბრძმედულ პირობებში 70—80% ვანადიუმისა ალდგება და გადადის თუჯში. ენგბადთან იგი ქმნის რამდენიმე ნაერთს, კერძოდ V_2O_5 , V_2O_3 , VO .

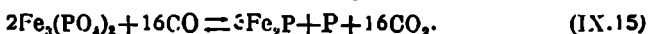
თუთიის ალდგენა. თუთია მცირე რაოდენობით გვხვდება ზოგიერთ რკინის მადანში. ბრძმედულ პროცესში იგი ალდგება, მაგრამ თუჯში არ გადადის. ორთქლის სახით იგი მიემართება ღუმლის ზედა ფენებში და შედარებით ცივ კედლებსა და კაზმის მასალებზე ეანგეულის სახით კონდენსირდება. ასეთი კაზმის ღუმელში დაშვების შემდეგ პროცესი ისევ მეორდება და ამგვარად ხდება მისი თანდათანობითი დაგროვება. თუთიის ალდგენა ბრძმედულ პროცესში შესაძლებელია ძირითადად წყალბადით და ნახშირბადით:



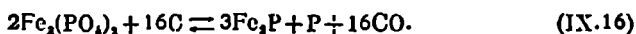
თუთიის ქანგის ნაწილი ღუმლის ზედა ნაწილში კედლებზე ილექება და ნალღენის წარმოქმნის, რომელიც ხშირად დიდ ზომებს აღწევს; იგი ხელს უშლის ღუმლის ნორმალურ მუშაობასა და კაზმის დაშვებას. თუთიის ორთქლი როცა შეაღწევს აგურების წყობებს შორის და ლითონის გარსაცმის ბზარებში, დროთა განმავლობაში იწვევს მათ რღვევას.

ფოსფორის ალდგენა. ფოსფორი საკაზმე მასალებში P_2O_5 -ის სახით შედის, რომელიც ძირითადად შეერთებულია კირთან და იშვიათად რკინის ეანგეულებთან: $(CaO)_3 \cdot P_2O_5$ (ანუ $Ca_3(PO_4)_2$) და $(FeO)_3 \cdot P_2O_5$ (ანუ $Fe_3(PO_4)_2$). ამიტომ ბრძმედში ფოსფორის ალდგენა ძირითადად ამ მარილებსაგან მიმდინარეობს. იშვიათად ხდება თავისუფალი P_2O_5 -ისაგან ალდგენის პროცესი. წყალბადით ან ნახშირბადით P_2O_5 -ის ალდგენა იწყება $\sim 800^\circ C$ -ზე; $Fe_3(PO_4)_2$ -საგან წყალბადით ალდგენა იწყება $\sim 400^\circ C$ -ზე, ხოლო CO -თი $\sim 500 - 700^\circ C$ -ზე. განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს $900 - 1000^\circ C$ -ზე $Fe_3(PO_4)_2$ -ის წყალბადითა და $1000 - 1200^\circ C$ -ზე CO -თი ალდგენის პროცესები. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ფოსფორის ალდგენასთან ერთად ხდება რკინის ალდგენაც.

$950 - 1000^\circ C$ -ზე კვეთით მიმდინარეობს რეაქცია

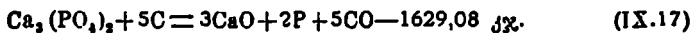


$950 - 1000^\circ C$ -ზე ზევით ფოსფორის ალდგენა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



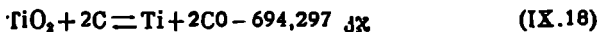
წარმოქმნილი რკინის ფოსფიდი და ფოსფორი კარგად იხსნება თხევად თუჯში.

ფოსფორის კალციუმის მარილი $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ მეტად მღვრავი ნაერთია და მისი აღდგენა შესაძლოა $1000-1100^\circ\text{C}$ -ზე H_2 , C და CO -თი. ნახშირბადით მისი აღდგენა შეიძლება შემდეგი რეაქციით:



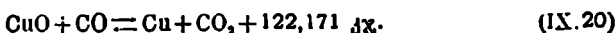
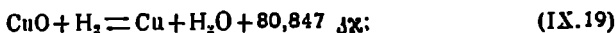
ბრძმელში ტემპერატურის დაცემა იწვევს რკინოვანი წილის წარმოქმნას, რომელშიც ფოსფორი შესაძლოა ფოსფორკინოვანი მარილის სახით არსებობდეს. აღდგენილი ფოსფორი თუჯში კარგად იხსნება. ამიტომ თუჯიდან ფოსფორის მოცილება შესაძლოა ან მცირეფოსფორიანი კაზმის გამოყენებით, ან ბრძმელიდან გამოშვებული თუჯის შემდგომი გადამუშავებით.

ტიტანის აღდგენა. ტიტანი ზედის მრავალი რკინის მადნის შედგენილობაში, რომელსაც აქვს ჟანგბადისაქენ უფრო მეტი სწრაფვა, ვიდრე სილიციუმს. ამიტომ ბრძმელულ პროცესში იგი მცირე რაოდენობით აღდგება რეაქციით



და თუჯში გადადის. დანარჩენი ტიტანის ქანვის სახით წიდაში რჩება. ამასთან თუჯში ტიტანის შემცველობის ფარდობა მისი წიდაში შეტყველობასთან ($0,07-0,1$)-ს შეადგენს. ბრძმელში აღდგენის პროცესში ტიტანი უერთდება ნახშირბადსა და აზოტს და წარმოქმნის, შესაბამისად, კარბიდებსა და ნიტრიდებს, აგრეთვე ტიტანის ქანვეულებთან მათ კომპლექსურ ნაერთებს. თუჯში შეზღუდული ხსნადობის გამო განლაგდება ლითონი—წიდა—კოქსის გამყოფ ზედაპირზე, აძნელებს ლითონის კოაგულირებასა და მისი წიდიდან მოცილებას. ამიტომ ტიტანმაგენტიტური მადნების დნობის შემთხვევაში აუცილებელია განსაკუთრებული ზომების მიღება.

სპილენძის აღდგენა. სპილენძის ქანვეულები CuO და Cu_2O ანამღვრადია და იოლად აღდგება წყალბადისა და ნახშირქანვის მეშვეობით. ეს რეაქცია $80-100^\circ\text{C}$ -ზე მიმდინარეობს და შესაძლოა შემდგენაირად წარმოვიდგინოთ:

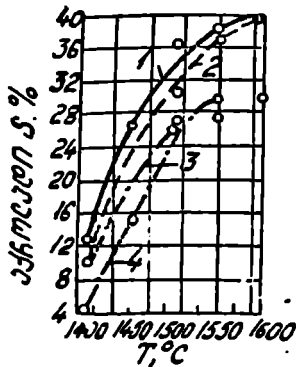


ამიტომ სპილენძი კაზმიდან მთლიანად აღდგება და ლითონში გადადის.

§IX.4 ბრძმელში თუჯის დამსუფუძრავი

როგორც ცნობილია, გოგირდი მანე მინარევეს წარმოადგენს, რომელიც აუარესებს ლითონის თვისებებს. თუჯში გოგირდის ხსნადობა დაახლოებით $0,9\%$ -ს შეადგენს. ისევე როგორც ფოლადებში, მათი შემცველობა თუჯში მუასედ პროცენტებს არ უნდა აღემატებოდეს.

გოგირდის ძირითად წყაროს კოქსი წარმოადგენს, რომელშიც გოგირდი უმთავრესად ორგანული ნაერთის სახით იმყოფება. მისი მცირე ნაწილი სულფიდებისა და სულფატების სახით შესაძლოა იყოს კოქსის ნაცარში. ვარდა ამისა, გოგირდის წყაროს წარმოადგენს, აგრეთვე, მადანი და ფლუსი. ღუმელში იგი შეიტანება გოგირდოვანი ლითონების (FeS , MnS , FeS_2 , CuFeS_2 და სხვ.), გოგირდქავე მარილების (FeSO_4 , CaSO_4 , MgSO_4 და სხვ.), თაბაშირის ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ან ბარიტის (BaSO_4) სახით. აგლომერატში გოგირდი უმთავრესად FeS -ის სახით გვხვდება, ხოლო დაფლუსულ აგლომერატში— CaS -ის სახით.



ნახ. IX.3. ბარიტი (1), თაბაშირი (2), პირიტე (3) და კოქსიდან (4) გოგირდის აორთქლებზე ტემპერატურის გავლენა.

ბრძმედული ღნობის დროს გოგირდის ნაწილი ორთქლის (SO_2 , SO_3 , H_2S და სხვ.) სახით გადადის აირებში. დადგენილია, რომ ტემპერატურის ზრდა აძლიერებს გოგირდის აორთქლების პროცესს (ნახ. IX.3). გადასამუშაებელი თუჯის გამოღნობისას აირებთან ერთად გაიტანება 15%-მდე გოგირდი; სამსხმელო თუჯის შემთხვევაში—15—20% და თეროშენაღნობებისას—40—45%.

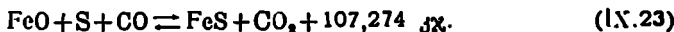
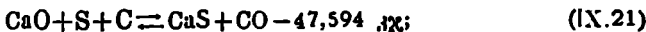
ბრძმედული ღნობის პროცესში FeS_2 იშლება $FeS_2 \rightarrow FeS + S$. FeS რეაგირებს Fe_2O_3 -თან, რის შედეგადაც წარმოიქმნება Fe_3O_4 და აქროლი SO_2 ($FeS + 10 Fe_2O_3 \rightleftharpoons 7 Fe_3O_4 + SO_2$). ეს ბოლო რეაქცია ენდოთერმულია და სითბოს საკმაო შთანთქმით მიმდინარეობს.

აიროვანი SO და SO_2 აღდგება CO და C -ით თავისუფალ გოგირდამდე (მაგალითად, $SO_2 + 2CO \rightleftharpoons S + 2CO_2$).

ბარიუმისა და კალციუმის სულფატების აღდგენა CO და H_2 -ით მიმდინარეობს BaS და CaS -ის წარმოქმნით (მაგალითად, $BaSO_4 + 4CO \rightleftharpoons BaS + 4CO_2$).

ჯერ კიდევ ქვინების ზონამდე კოქსის მიღწევამდე კოქსის გოგირდის ნახევარზე მეტი აირში გადადის. დანარჩენი მისი ნაწილი ქვინების ზონაში SO_2 -მდე იქანება, ხოლო აირებთან ერთად ბრძმედის ზემო ზონებისაკენ გადაადგილებისას იგი ელემენტარულ გოგირდამდე აღდგება და ილექება კაზმის ზედაპირზე. ბრძმედში ამ უკანასკნელის დაშვებით გოგირდის ნაწილი ისევ მაღალ ტემპერატურულ ზონებში ხვდება, ე. ი. გოგირდის ნაწილი ცირკულირებს ბრძმედის ქურასა და განივას შორის.

ბრძმედის ქველა ნაწილში გოგირდი ინტენსიურად რეაგირებს თუჯში შემავალ რკინასა და წილის ეანგეულებთან FeS , MnS , MgS და CaS -ის წარმოქმნით. მაგალითად:



იმ შემთხვევაში, როდესაც ბრძმედში სათბობად მანუთი, ბუნებრივი ან კოქსის აირები გამოიყენება, წვის ზონაში წარმოიქმნება გოგირდწყალბადის საგრძნობი რაოდენობა ($SO_2 + CH_4 \rightleftharpoons H_2S + CO + H_2O$ ან $SO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons H_2S + 2H_2O$).

გოგირდის მოცილებისათვის აუცილებელია მისი დიდი ნაწილის წიდაში გადასვლა ან საკერძე აირებთან ერთად ლუმლის ატმოსფეროდან გამოტანა. თუჯსა და წიდაში გოგირდი შესაძლოა იყოს FeS , MnS , MgS და CaS -ის სახით. რკინის სულფიდი კარგად იხსნება როგორც თუჯში, ისე წი-

დაში 1000–1500°C-ზე თუჯში FeS-ის ხსნადობა 2,5%-ს შეადგენს. სამაგიროდ MnS თუჯში უმნიშვნელოდ იხსნება, მაშინ როცა წილაში ხასიათდება განუსაზღვრელი ხსნადობით. CaS და MgS წილაში კარგად იხსნება, თუჯში კი პირიქით — პრაქტიკულად უხსნადია. აღნიშნულის გამო ღუმელში დარჩენილი გოგირდი თუჯსა და წილას შორის ნაწილდება. აქვარად, თუჯში გოგირდის შემცირების მიზნით საჭიროა ვეცაღოთ კალციუმთან ან მანგანუმთან მის შეერთებას.

თერმოდინამიკის კანონებიდან გამომდინარეობს, რომ რკინის სულფიდიდან კალციუმის, მაგნიუმისა და მანგანუმის სულფიდებში გოგირდის სრულყოფილი გადასვლა განისაზღვრება რკინის, მანგანუმის, მაგნიუმისა და კალციუმის გოგირდის მიმართ სწრაფების სიდიდით. სულფიდების მდგრადობაზე შესაძლოა ვიმსჯელოთ მათი დისოციაციის დრეკადობით. აღნიშნული სულფიდების დისოციაციის დრეკადობის სიდიდეების კლების მიხედვით შესაძლოა ისინი შემდეგი რიგით დავალაგოთ: $FeS \rightarrow MnS \rightarrow MgS \rightarrow Na_2S \rightarrow CaS$. ამიტომ ყველა აღნიშნულ ნაერთში შემაჯავლი ელემენტები, რომლებიც რკინის მარჯვნივ მდებარეობს, იოლად ართმევს რკინის სულფიდს გოგირდს. ეს რეაქცია შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად:



მაგნიუმი და კალციუმი გაცილებით უფრო მძლავრი დესულფურატორებია, ვიდრე მანგანუმი. ბრძმელში მაგნიუმი და კალციუმი თავისუფალი სახით არაა. ამიტომ დესულფურაციის პროცესი მაგნიუმისა და კირის მეშვეობით მიმდინარეობს. კირით დესულფურაციის რეაქცია



ბრძმელურ პროცესში წარმოადგენს თუჯის დესულფურაციის ძირითად რეაქციას. ამ რეაქციის წონასწორობის მუდმივა

$$K = \frac{(CaS) \cdot (FeO)}{(CaO) \cdot [FeS]} \quad (IX.26)$$

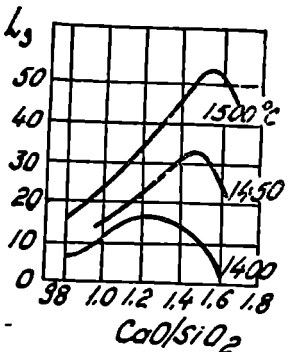
გვიჩვენებს, რომ თუჯიდან წილაში გოგირდის გადასასვლელად აუცილებელია: ა. წილის მაღალი ფუძიანობა; ბ. მაღალი ტემპერატურა (ვინაიდან რეაქცია ენდოთერმულია); გ. აღდგენითი ატმოსფერო. (IX.25) რეაქციის ანალოგიურად მიმდინარეობს MgO-თი თუჯის დესულფურაცია. MgO-ს დადებითი გავლენა თუჯის დესულფურაციაზე იახსნება წილის გათხევადებითა და გააქტიურებით.

განვიხილოთ წილასა და ლითონს შორის გოგირდის განაწილება. როგორც ცნობილია, გოგირდის განაწილების კოეფიციენტი გამოისახება შემდეგი ტოლობით:

$$L_s = \frac{(S)}{[S]}, \quad (IX.27)$$

სადაც (S) არის წილაში მყოფი გოგირდის რაოდენობა, ხოლო [S] — ლითონში გოგირდის რაოდენობა.

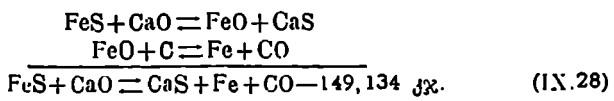
გოგირდის განაწილების კოეფიციენტი დამოკიდებულია წილის ფუძიანობაზე, მასში FeO-ს შემცველობაზე (IX.26). ტემპერატურასა და წილის თვისებებზე. ფუძიანობის ზრდა იწვევს წილაში CaO-ს რაოდენობის ზრდას. იგი



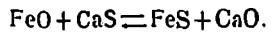
ნახ. IX.4 წილის ფუძიანობისა და ტემპერატურისაგან გოგირდის განაწილების კოეფიციენტის ცვლილება.

და წილის ფუძიანობის გავლენა რად განხილული.

გოგირდის განაწილების კოეფიციენტზე ტემპერატურის ზეგავლენა არ გამოიხატება მხოლოდ წილის სიბლანტის შემცირებით, იგი აიოლებს დესულფურაციის ენდოთერმულ რეაქციების წარმართვასა და ამ დროს წარმოქმნილი რკინის ქვეყანგის აღდგენას



FeO-ს სრულყოფილი აღდგენა თუჯიდან წილაში გოგირდს საკმაოდ გადასვლის მოზასწავებელია, რადგანაც FeO იოლად რეაგირობს CaS-თან რეაქციით



პრაქტიკულად ბრძმედის პროცესის ბოლო წილაში FeO ს შემცველობა 0,3—0,7%-ია.

ბრძმედის გარეთ თუჯის დესულფურაცია. ბრძმედში შესაძლოა მიღებულ იქნეს თუჯი გოგირდის საგრძნობლად დაბალი შემცველობით. ამ შემთხვევაში ხდება კოქსის დამატებითი ხარჯი და ბრძმედის მწარმოებლურობის დაქვემდებარება. ხშირია ბრძმედიდან თუჯის გამოშვება გოგირდის შედარებით მაღალი შემცველობით. ამიტომ გოგირდის სასურველ ზღვარზე დაყვანისათვის მიმართავენ თუჯის სპეციალურ დამუშავებას—ბრძმედის გარეთ დესულფურაციას.

თხევადი თუჯის მანგანუმით დესულფურაცია, როცა თუჯი შეიცავს 2% Mn, კარგად მიმდინარეობს თუჯსაზიდ ციციხეებსა და მიქსერში, რადგანაც რეაქცია ეგზოთერმულია და ლითონში MnS-ის ხსნადობა ტემპერატურის ვარდნით მცირდება. ამ შემთხვევაში დესულფურაციის ხარისხი 30—60%-ს აღწევს.

თანამედროვე პრაქტიკაში ბრძმედის გარეთ დესულფურაციისათვის გა-

წარმოქმნის CaS-ის სახით მდგრად ნაერთს და ამგვარად იწვევს L_g -ის მნიშვნელობის ზრდას. აღებულ ტემპერატურაზე ფუძიანობის ზრდით L_g -ის ზრდა მიმდინარეობს მხოლოდ გარკვეულ მნიშვნელობამდე, რომლის შემდეგაც ფუძიანობის ზრდა იწვევს L_g -ის მნიშვნელობის შემცირებასა და დესულფურაციის გაუარესებას. ეს მოვლენა იმით აიხსნება, რომ უცვლელ ტემპერატურაზე ფუძიანობის ზრდა იწვევს წილის სიბლანტის ზრდას, რის შედეგადაც წილაში გოგირდის დიფუზია ძნელდება (ნახ. IX.4). ტემპერატურის ზრდა ამცირებს წილის სიბლანტეს და L_g -ის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა შედარებით მაღალ ფუძიანობაზე (1400°C-ზე 1,25; 1450°C-ზე 1,45 და 1500°C-ზე 1,52). ამიტომ ტემპერატურისა დესულფურაციაზე უნდა იქნეს კომპლექსურად განხილული.

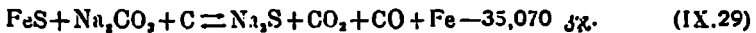
მოიყენება სხვადასხვა დესულფურატორები: სოდა, კირი, კალციუმის კარბიდი, ლითონური მაგნიუმი და სხვ.

დესულფურატორების მოქმედება იმით მელანდება, რომ ისინი ან იკავშირებენ გოგირდს და წარმოქმნიან მდგრად სულფიდებს (სოდა, კირი, მაგნიუმი) ან აწარმოებენ წილის განტანგვას (ალუმინი, კაქსწყვილი), ან ათხევადებენ წილას (მლზობი შპატი), რითაც ზრდიან მის აქტიურობას. ყოველივე აღნიშნული აადვილებს თუჯის დესულფურაციის პროცესს.

დესულფურატორები თხევად თუჯს მიეწოდება ან ლარზე გამოშვების პროცესში, ან თუჯის გამოშვების წინ ციცხეში წინასწარი ჩატვირთვით, ან თუჯის ციცხეში ჩასხმის შემდეგ.

თუჯში გოკირდის შეკველობის მიხედვით პირობითად სოდის ხარჯი 1 ტ თუჯზე 2,5—50 კგ-ს შეადგენს, მხოლოდ სოდის გამოყენების ხარისხი 30—60%-ს არ აღემატება.

სოდით დესულფურაცია შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



პროცესი 10—15 წუთს გრძელდება. თუჯის ზედაპირზე ამორტიკტივებული Na_2S აუცილებლად უნდა მოცილდეს, რადგანაც ტემპერატურის დაცემით გოგირდი კვლავ ლითონში გადავა.

(IX.29) რეაქცია მძაფრად მიმდინარეობს. გამოყოფილი ნახშირორგანო და, აგრეთვე, სოდის ტენი იწვევს ლითონის ენერგიულ არევის, რაც აჩქარებს განგოგირდების პროცესსა და თუჯის ქიმიურ შეღვენილობის გაერაგვარონებას.

თხევადი თუჯის ბრძმელის გარეთ სოდით დამუშავებას გააჩნია ზოგიერთი უარყოფითი თვისებებიც: სოდის დეფიციტურობა, საგრძნობი აქროლადობა და მისი გამოყენების დაბალი კოეფიციენტი, ციცხვის ამონაგზე სოდის აგრესიული ზემოქმედება, თუჯის ტემპერატურის 75—100°C-ით ვარდნა, სანიტარიულ-ჰიგიენური პირობების გაუარესება და სხვ.

§IX.5. ბრძმელში თუჯისა და წილის წარმოქმნა

თუჯის წარმოქმნა. როგორც აღვნიშნეთ, ბრძმელის შედარებით ზედა ფენებში აღდგენილი რკინა ცომისებრ-ლრუბლოვან მდგომარეობაში იმყოფება. იგი მყარ მდომარეობაში 450—600°C-ზე 1%-მდე ნახშირბადს შთანთქავს. რკინის შედარებით ინტენსიური დანახშირბადიანება მალე ტემპერატურულ პირობებში მყარი ნახშირბადით ხორციელდება. გაშენარი ლითონი სწრაფად შთანთქავს ნახშირბადს, რომლის შემკველობაც მასში 3—4%-ს აღწევს. ნახშირბადი დაბლა წევს რკინის დნობის ტემპერატურას. დადგენილია, რომ გაშენარი ლითონის დამატებითი დანახშირბადიანება ქურაში მიმდინარეობს. ამგვარად წარმოქმნება დანახშირბადიანებული რკინა, ანუ თუჯი.

საბოლოოდ თუჯში ნახშირბადის რაოდენობაზე საგრძნობ გავლენას ახდენს მასში ზოგიერთი ელემენტების არსებობა. ასე, მაგალითად, მანგანუმი, რომელიც წარმოქმნის თუჯში კარგად ხსნად მანგანუმის კარბიდებს, ხელს უწყობს მასში ნახშირბადის დიდი რაოდენობით გადასვლას. ამიტომაც, რომ 15—20% Mn შემკველობის საჩისებრი თუჯი დაახლოებით 5—5,5% C შეიცავს, ხოლო 80% Mn ფერომანგანუმი ~7% C. თუჯში ნახშირბადის გადასვლას ხელს უწყობს აგრეთვე ქრომის, ვანადიუმისა და ტიტანის არსებობა.

საწინააღმდეგო სურათს იძლევა Si, P და S მაღალი შემცველობა. ისინი დაბალ წევნ ნახშირბადის კონცენტრაციას.

მყარ თუჯში ნახშირბადი შესაძლოა არსებობდეს კიმოური ნაერთის (Fe₃C) ან გრაფიტის სახით. პირველ შემთხვევაში თუჯის ტეხილი ღია ფერისაა და ამიტომ მას „თეთრი“ თუჯი ეწოდება. თუ ნახშირბადის უმეტესი ნაწილი მასში გრაფიტის სახითაა, მაშინ მისი ტეხილი მუქი ფერისაა და მათ „რუხ“ თუჯებს უწოდებენ. სილიციუმის ღიმი შემცველობა იწვევს რკინის კარბიდის დაშლას და გრაფიტის სახით ნახშირბადის გამოყოფას. ამიტომ საჩაომოსხმო თუჯი უნდა შეიცავდეს სილიციუმის უფრო მაღალ და მანგანუმის შედარებით დაბალ შემცველობას.

თუჯში ნახშირბადის მიხლოებითი შემცველობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს შემდეგი გმპირიული ფორმულით:

$$C = 4,8 + 0,3Mn - 0,27Si - 0,32P - 0,032S. \quad (IX.30)$$

ამ ფორმულის მიხედვით ნახშირბადის შევცველობა ფეროსილიციუმში შეადგენს ~2%. საჩაომოსხმო თუჯში ~4%, გადასამუშავებელში ~4,5% და ფერომაგანუმში ~7%.

წილის წარმოქმნა. ბრძმელში გარდა ძირითადი პროდუქტისა—თუჯისა, წარმოიქმნება აგრთვე წილა, რომელიც მადნის ფუქვ ქანებთან ერთად წარმოადგენს მდნობებისა, აღუღგენელი უანგეულებისა და კოქსის ნაცრის ნაღნობს. მაღალი ტემპერატურის ღნობის პროცესს წინ უძღვის უანგეულების შეცხობა. ყოველივე ამის შედეგად წარმოიქმნება კიმოური ნაერთი, რომლის ღნობის ტემპერატურაც შესაძლოა შეცხობის ტემპერატურაზე შედარებით მაღალი იყოს.

უანგეულების ღნობის პროცესი მათი დარბილებით იწყება. ამასთან წილის დარბილებიდან გამღნარ მღგომარეობამღე გარდაქმნის ტემპერატურული ინტერვალის სხვადასხვა და ძირითადად დამოკიდებულია მის კიმოურ შედგენილობაზე. ასე, მაგალითად, მუავე წილები მყარ მღგომარეობაში ხასიათდება მინისებრი სტრუქტურით, ე. ი. წარმოადგენს გაღამტცივებულ სითაუებს, რომელთაც გარკვეული ღნობის ან კრისტალიზაციის ტემპერატურა არ აქვთ. ასეთი წილების სიბლანტე ტემპერატურის ზრდით მღორედ ეცემა, ე. ი. ისინი მიეკუთვნებიან „გრქელ“ წილებს (იხ. თავი III). მათი თხელღენადობა დაბალია და ნაკლებად აქტიურია. მათგან განსხვავებით ფუქვე წილები მყარ მღგომარეობაში კრისტალური აღნაგობით ხასიათდება და „მოკლე“ წილებს მიეკუთვნება. ტემპერატურის ზრდით მათი სიბლანტე მკვეთრად ეცემა, ხასიათდება მაღალი თხელღენადობითა და აქტიურობით; კრისტალდება მცირე ტემპერატურულ ინტერვალში. ბრქმეღული პროცესისათვის ძარითადად დამახასიათებელია 1,05—1,45 ფუძიანობის წილები.

ბრძმედის წილების შეღგენილობა და ფიზიკურ-კიმოური თვისებები ძირითადად გამოყენებული მასალის სახეობაზე, სათბობის ხარისხსა და გამოღნობილი თუჯის მარკაზე დამოკიდებული. ბრძმედის წილები შეღგება 15-ზე მეტი კომპონენტისაგან. ქარხნებში კიმოური ანალიზით ძირითადად 8 ძირითად კომპონენტს იკვლევენ: SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, MnO, FeO, P და S.

ბრძმედში პროცესის დასაწყისში წარმოიქმნება პირველადი წილა, რომელიც შეიცავს FeO და MnO-ს მაღალ შემცველობას. ხანგამოშვებით მათი შემცველობა Fe და Mn აღღგენის შეღგეად თანდათან მცირდება. როცა წი-

და ქურას უახლოვედა, რკინისა და მანგანუმის დიდი რაოდენობა ასწრებს აღდგენას. ქმინების არეში წილას უერთდება, აგრეთვე, დამწვარი კოქსის ნა-
ცარი, რომელსაც მასში გოგირდის გარკვეული რაოდენობა შეაქვს. ეს უკა-
ნასკნელი, უერთდება რა ძირითადად კალციუმისა და მაგნიუმის უანგველებს,
წილაში რჩება.

საბოლოოდ წილა, რომელიც თხევად თუჯთან უშუალო კონტაქტშია,
საშუალოდ შედგება: 85—95% ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$)-საგან. საბოლოო წილის
მიახლოებითი შედგენილობა შემდეგია: 40% SiO_2 , 7% Al_2O_3 , 46% CaO ,
2% MgO , 3,4 % MnO . გარდა ამისა, მასში შედის 2—10% MgO , $\leq 0,6\%$ FeO
 $\leq 0,3\%$ MnO და 1,5—2,5% S (ძირითადად CaS -ის სახით). ამგვარად, ბრძმე-
ლის წილები ძირითადად $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ სისტემას განეკუთვნება.

თუ მდნის ფუქი ქანი ადვილდნობადია, მაშინ მათი დნობა ღუმლის მა-
ლალ პორიზონტებში შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე იწყება. ამის შე-
დეგად ქურაში ტემპერატურა ეცემა, რაც გამოწვეულია შემდეგით: დნობის
დაწყების შემდეგ ხდება თხელდენადი და შედარებით სწრაფად ეშვება ქურა-
ში. ამისთან იგი ვერ ასწრებს მალალ ტემპერატურამდე სათანადოდ გახუ-
რებას.

ბრძმედულ პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს წილის არა მხოლოდ ქი-
მიური შედგენილობა, არამედ მისი ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისე-
ბებიც (იხ. თავი VI.).

წილაში ქიმიური ნაერთებს წარმოქმნა დაკავშირებულია სითბოს გამო-
ყოფასთან, ე. წ. წილის წარმოქმნის თბურ ეფექტთან. მისი სიდიდე შესაძ-
ლოა გაანგარიშებულ იქნეს შესაბამის ქიმიურ ნივთიერებათა წარმოქმნის
თბური ეფექტების მიხედვით.

საკაზზე მასალების 1100—1200°C-ზე გახურების შედეგად (ზოგჯერ შე-
დარებით დაბალ ტემპერატურაზეც) ქიმიურ ნაერთებს იმ დროს შეუძლია
წარმოქმნის თხევადი ფაზა, როცა მასალის ძირითადი ნაწილი ჯერ კიდევ
მყარ მდგომარეობაშია. ამის შედეგად მიმდინარეობს შეცობა, ანუ უანგვეუ-
ლების ნაწილაკების ფიზიკური შეკავშირება.

გარბილების მიმდინარეობის ინტენსიურობასთან დაკავშირებით პროცე-
სი შესაძლოა იყოს სწრაფი ან მიმდინარეობდეს ღუმლის სიმაღლის დიდ ინ-
ტერვალში.

რაც შეეხება გარბილების ინტერვალი, მთა შეტ ადგილს იკავებს ღუმლის
სიმაღლეში წილის ბლანტი, აირგაულტარი მასა. ეს ფაქტი აფერხებს ბრძმედ-
ში აირების მოძრაობას და შლის პროცესის ნორმალურ მსვლელობას. ბრძმე-
დულ წარმოებაში ასხევეებენ 3 სახის წილას: პირველადს, შუალედურსა და
საბოლოოს.

პირველადი წილა წარმოადგენს პირველად თხევად ნაღწობს, რომელიც
წარმოიქმნება კაზმის ნაქრების ზედაპირზე ან გარბილებული მდნის შიგნით
ადვილდნობადი ევტექტიკუ-^ი შედგენილობის ქიმიური ნაერთებისაგან. ასე-
თი წილის წარმოქმნისათვის აუცილებელი პირობაა კაზმის ნაქრების ზედაპი-
რებს შორის კარგი კონტაქტი. რადგანაც კაზმის ძირითადი ნაწილი ჯერ კი-
დევ მყარ მდგომარეობაშია, პირველადი წილა შედარებით მცირე რაოდენო-
ბით წარმოიქმნება. ამიტომ დადგენილია, რომ ბრძმედში ნეღლი კირქვის მი-
წოდება საგრძნობლად აძნელებს პირველადი წილის წარმოქმნას. იგივე მოვ-
ლენა გვაქვს მაშინაც, როდესაც კაზმის შედგენილობაში შედის სხვადასხვა
მეტალურგიული თვისებების მქონე მდნის შემდგენელი.

წილაში CaO და MgO ს დნობა იწვევს კიბიური წაერთებიდან რკინისა და მანგანუმის ქვეფანგების გამოძევებას. ამის შედეგად წარმოიქმნება კალციუმისა და მაგნიუმის სილიკატები. გამოძევებული თავისუფალი FeO და MnO მყარი ნახშირბადით აღდგება ლითონური Fe და Mn -მდე; სანამ კაზში ქვინების დონეს მიაღწევს, მასში რკინა თითქმის მთლიანად უკვე აღდგენილია, ხოლო მანგანუმი—ნაწილობრივ. ამის შედეგად წილა SiO_2 , Al_2O_3 , CaO და MgO -თი მდიდრდება. ქურის არეში მოხვედრამდე წილაში უკვე კაზმის ყველა მასალა გამდნარია. კაზმის დაშვების პროცესში წილა თანდათან მდიდრდება გოგირდით. ამგვარად, წარმოქმნიდან ქურამდე მოძრაობისას წილის შედგენილობა განუწყვეტლივ იცვლება. ასეთ წიდას შუალედურს უწოდებენ.

ქვინების დნობის ქვემოთ (ქურაში), სადაც მიმდინარეობს თხევადი წილისა და თუჯის გაყოფა ორ ფენად, ფორმირდება წილა, რომელსაც საბოლოო ეწოდება.

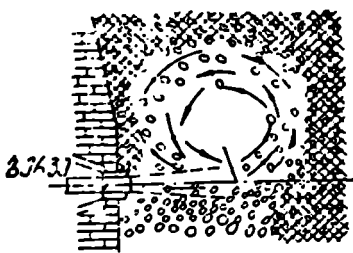
X თ ა ვ ი

ბრძმელში მიმდინარე წვის პროცესები და დნობის პროდუქტები

§X.1. ქურაში მიმდინარე პროცესები

ბრძმელის ქურაში მთავრდება ელემენტების აღდგენა, წილის ჩამოყალიბება, ლითონის დანახშირბადიანება და თუჯის დესულფურაცია. ქურაში მიმდინარე მნიშვნელოვან პროცესს წარმოადგენს სათბობის ნახშირბადის წვა, რომელიც მიმდინარეობს შებერილი ჰაერის ეანგზადის მეშვეობით. წვის შედეგად ქურაში წარმოიქმნება აღმდგენელი აირები და გამოიყოფა სითბო, რომელიც აღცილებელია მასალებისა და მიღებული პროდუქტების გასახურებლად, შენაერთების დისოციაციის პროცესის მიმდინარეობისათვის, ელემენტების აღსადგენად და სხვ.

სათბობის წვისათვის ბრძმელში ქვინების მეშვეობით (14—42 ცალი) შეიბერება 1000—1350°C-მდე გახურებული ჰაერი. პრაქტიკიდან დადგენილია, რომ შებერილი ჰაერის სიჩქარე 200 ÷ 250 მ/წთ შეადგენს, ხოლო კინეტიკური ენერგია—65 ÷ 100 კჯ/წთ. შებერილი ჰაერის მძლავრი ქაჯლის მეშვეობით უშუალოდ ქვინების მახლობლად კოქსის ფენა ფხვიერდება, გაფარავრებული კოქსის ნაჭრები შეტივტივებულ უწონად მდგომარეობაში გადაადგილდება და მათ შორის სიციხიელები წარმოიქმნება. ჰაერის ქაჯლის დიდი კინეტიკური ენერგიის შედეგად ქვინების წინ წარმოიქმნება ღრუები, რომლებშიც მიმდინარეობს აირების გრიგა-

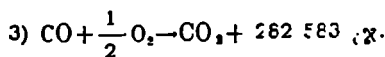
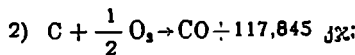
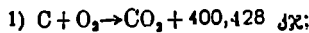


ნახ. X.1. ქურაში დამანგველი ზონის ცირკულიაციის არე.

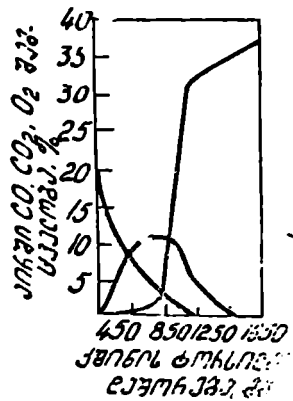
ლური მოძრაობა. დაკვირვების შედეგად დადგენილია, რომ კოქსი მოძრაობს და იწვის წარმოქმნილ ღრუების გარე ზედაპირზე. კოქსის ნაწილაკები აირის გრი-

გალური მოძრაობის შედეგად ცირკულირებს და გაიტყორნება ლუმის შიდა ზონისაკენ (ნახ. X.1). შათ ადვილზე ხდება 1500°C-მდე გავარვარებულ კოქსის ახალი ნაწილაკები, რომლებიც დაშენავველ ატმოსფეროში იწვიან რის შედეგადაც ტემპერატურა 1900—2000°C-ს აღწევს. დადგენილია, რომ ცირკულაციის ზონის სიღრმე 2000 მმ-მდე აღწევს.

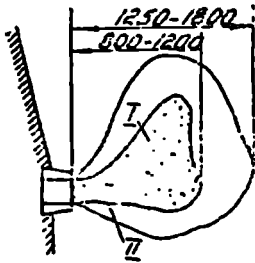
თანამედროვე თეორიულა წარმოდგენების მიხედვით მყარი სათბობის წვა ვითარდება ორი ფაზის კონტაქტურ ზედაპირზე (მყარი და აიროვანი). დაშენავველი აირი, აღსორბირებს რა სათბობის რეაქციულ ზედაპირზე, ნახშირბადთან წარმოქმნის ენგბადის შემცველ C_2O , სახის რთულ კომპლექსს, რომელიც შევდგომ შვლება CO და CO_2 -ად, დესორბირებს და გადადის აირში. წვის პირობების მიხედვით CO და CO_2 -ის ფარდობა შესაძლოა სხვადასხვა იყოს. წარმოქმნილი ნახშირენგი მყარი სათბობის ზედაპირის მაჰლობლად ქარბი ენგბადის მეშვეობით წვის ბოლომდე ნახშირორენგის წარმოქმნით. ეს უკანასკნელი ზემოქმედებს გავარვარებულ კოქსის ნახშირბადთან და აღდგება CO-მდე, რომელიც კვლავ იწვის CO_2 -მდე და ა. შ. ქურაში წვის ეამურ პროცესს წარმოადგენს CO-ს წარმოქმნით სათბობის ნახშირბადის არასრული წვა. ქმინების ტროსიდან თარდათან დაშორებით. (ცირკულაციური ზონის წარმოქმნელად) აირების შედგენილობა სხვადასხვაა (ნახ. X.2). ქმინების ტროსიდან დაცილებასთან ერთად ენგბადის კონცენტრაცია თანდათან ეცემა. ეს შოვლენა გამოწვეულია ნახშირბადისა და ნახშირენგის წვის შედეგად CO_2 -ის წარმოქმნით:



ამგვარად, ბრძმელის აირში ენგბადის შემცირებასთან ერთად იზრდება ნახშირორენგის კონცენტრაცია, რომლის მნიშვნელობაც ქმინების ტროსიდან დაშორებით გარკვეულ მანქილზე მაქსიმუმს აღწევს. შევდგომ CO_2 -ის შემცველობა მცირდება და ბოლოს აირად ფაზიდან შთლიანად ქრება. CO_2 -ის შემცირებით იზრდება CO-ის რაოდენობა ($CO_2 + C \rightarrow 2CO$). ამდენად ქურაში ნახშირბადის წვის საბოლოო პროდუქტს ნახშირენგი წარმოადგენს (ნახშირბადის არასრული წვის პროდუქტი). არეს, სადაც ნახშირბადის გაწიფაცია მიმდინარეობს, დამქან გველი ზონა ეწოდება. იგი ხასიათდება მასში თავისუფალი ენგბადისა და ნახშირორენგის არსებობით. ამით დამქანველი ზონა განსხვავდება ბრძმელის სხვა ზონებისაგან (რომლებიც აღმდგენელი ატმოსფეროთი ხასიათდება).



ნახ. X.2. ქმინების ტროსიდან დაშორებით აირის შედგენილობის ცვლილება (ცირკულაციის ზონის წარმოქმნელად).



ნახ. X-3 ქიწინების წინ წარმოქმნილი დამყანგველი ზონების სქემა.

X.3 ნახაზზე მოცემულია დამყანგველი ზონის სქემატური გამოსახულება. დამყანგველი ზონის საზღვარს შეეთანადება აირულ ფაზიდან CO₂-ის გაქრობის ადგილი. ამ ზონის პირობითად ორ ნაწილად ყოფენ: შიგა (I), რომლის აირულ ფაზაში იმყოფება თავისუფალი ენგბადი, და გარე (II), რომელშიდაც მიმდინარეობს ადრე წარმოქმნილ ნახშირორქანის მიერ ნახშირბადის წყა.

იმ ადგილს, სადაც ნახშირორქანის შემცველობა მაქსიმუმს აღწევს, წვის ფოკუსი ეწოდება და ხასიათდება ყველაზე მაღალი ტემპერატურით (1800—2000°C და მეტიც). წვის ფოკუსამდე ტემპერატურის აწევა მიმდინარეობს C-ი და CO₂-ის წარმოქმნით ნახშირის წვის შედეგად (ეგზოთერმული რეაქციები 1 და 3), ხოლო წვის ფოკუსის გარეთ ტემპერატურა ვარდება, რომელიც გამოწვეულია ენდოთერმული რეაქციის CO₂+C→2CO—165,797 კჯ მიმდინარეობის შედეგად. შიგა დამყანგველი ზონა სიღრმეში ვრცელდება 800—1200 მმ-მდე. გარე ზონა—1250—1800 მმ-მდე; წვის ფოკუსი იმყოფება ქიწინების ტორსიდან 300—1000 მმ-ის ფარგლებში.

მაკალთისათვის გაიანგაროთ მშრალი შებერილი ჰაერის გამოყენებით ნახშირბადის წით მრეხელ დამყანგველ ზონებს შორის საზღვარზე არების შედგენილობა. რადგანაც ენგბადში ნახშირბადის წვის საბოლოო პროდუქტს ნახშირქანა წარმოადგენს, ამიტომ მოცულობა ენგბადი წარმოქმნის ორ მოცულობა ნახშირქანას (2C+O₂→2CO ან CO₂+C→2CO). ამასთან, 100 მოცულობა მშრალი ჰაერი შეიცავს 79% N₂ და 21% O₂. ე. ა. 79 მოცულობა აზოტს და 42 მოცულობა ნახშირქანას, ანუ 121 მოცულობა აირს. დამყანგველი ზონის გადასახეულ საზღვარზე არების შედგენილობა იქნება: (42:121)X100=34,7% CO და (79:121)X100=65,3% N₂.

ბრძმელში შებერილი ჰაერი ყოველთვის შეიცავს წყლის ორთქლის გარკვეულ რაოდენობას (ხშირად შებერილ ჰაერს სპეციალურად ტენს უმატებენ). წყლის ორთქლი ნახშირბადთან ურთიერთქმედებით წარმოქმნის ნახშირქანასა და თავისუფალ წყალბადს (H₂O+C→H₂+CO).

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ჰაერის ტენიანობა დროის სხვადასხვა პერიოდში დიდ ინტერვალში ~3-დან 40 გ/მ³ იცვლება. ამიტომ აუცილებლობას წარმოადგენს შებერილი ჰაერის ტენიანობის მუდმივობა. ჩვენს ქვეყანაში ბოლო ათწლეულში ბრძმელს აწვდიან ჰაერს, რომლის ტენიანობაც 25—30 გ/მ³ შეადგენს. ამ შემთხვევაში ტენის დასაშლელად დახარჯული სითბოს კოეფიციენტი საციისათვის აუცილებელია 1 მ³ შებერილ ჰაერში არსებულ ყოველ 1 გ ტენზე მოსული ტემპერატურა 5—6°C-ით ავწიოთ. ამასთან აღსანიშნავია, რომ დაშლილი ტენის თითქმის 30—40% რკინის ენგველებს ადგენაზე იხარჯება. ბრძმელის ქვედა ნაწილში ტემპერატურის დონის შენარჩუნების მიზნით აუცილებელია 1 მ³ შესაბერ ჰაერში არსებულ ყოველ 1 გ ტენზე მოსული ტემპერატურის 9°C-ით გაზარდა. შებერილი ჰაერის ტენიანობის რეგულირება შესაძლოა მასში წყლის ორთქლის რაოდენობის რეგულირებით. ამასთან შებერილ ჰაერში ორთქლის შეყვანა იწვევს მასში ენგბადის კონცენტრაციის ზრდასა და ტემპერატურის აწევას.

ბრძმელში პროცესის რეგულირებისათვის ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში დაიწვეს შებერილი ჰაერის ენგბადით გამდიდრება.

შებერილი პაერის ჟანგბადით გამდიდრება საგრძნობლად ამცირებს ერთეულ სათბობის წვაზე მოსული პაერის რაოდენობას და ზრდის ღუმლის მწარმოებლურობას. ბრძმედში ჟანგბადის გამოყენება იწვევს წვის ზონაში ტემპერატურის მკვეთრ ზრდას. ეს უკანასკნელი კი თავისთავად იწვევს წვის რეაქციის სინქარის ზრდასა და დამჟანგავი აირის მოცულობის შემცირებას. ეს დაკავშირებულია შებერილ პაერში აზოტის კონცენტრაციის შემცირებასთან. ქურაში მაღალი ტემპერატურა აძლიერებს მანგანუმისა და სილიციუმის აღდგენას.

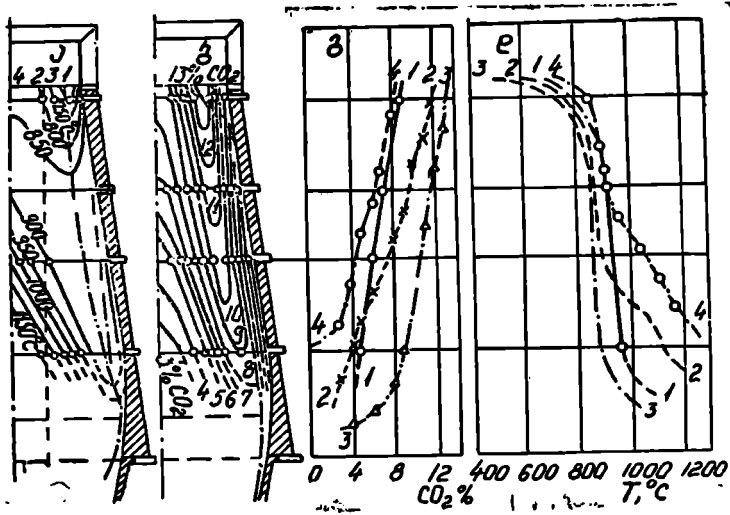
§X.2. ბრძმედის სიმაღლესა და განივკვეთში აიკაზის, ტემპერატურის, შემადანილობის, საოღენობისა და წნევის ცვლილება

როგორც წინა პარაგრაფებში იყო ნაჩვენები, ქურაში წარმოქმნილი აირები შედგება CO, H₂ და N₂-გან, რომლებიც გახურებულია მაღალ ტემპერატურამდე და გარკვეული წნევით ხასიათდება. ქვევიდან ზევით (საკერძისაკენ) მოძრაობის პროცესში აირი მათ საწინააღმდეგოდ მოძრავ საკაზმე მასალებს გადასცენ სათბოს და ცივდება. ამასთან მისი წნევა კაზმის წინაღობის გადალახვის შედეგად ეცემა, ხოლო აღდგენისა და დისოციაციის პროცესების მიმდინარეობის გამო აირის ქიმიური შედგენილობა განუწყვეტლივ იცვლება. იცვლება მისი რაოდენობაც (იზრდება). ყოველივე აღნიშნული იწვევს აირის ტემპერატურის დაწევას 1600-დან 250—300°C-მდე, წნევის დაცემას 100 კპა (~1 ატ), ნახშირჟანგის შემცველობის შემცირებას 35—45-დან 25—28% -მდე, ნახშირორჟანგის შემცველობის ზრდას 0-დან 20% -მდე და წყალბადის კონცენტრაციის შემცირებას.

ქურაში ტემპერატურა სიშუალოდ 1600°C-ს შეადგენს, მხარულაში ~1500°C, შახტის ქვემო ნაწილში ~1200°C, შახტის შუა ნაწილში ~900°C და საკერძეში ~300°C.

თავდაპირველად ვრცლად განეხილათ აირების ტემპერატურის ცვლილება. ბრძმედში ყველაზე მაღალი ტემპერატურა ქშინების მახლობლად წვის ფოკუსში ვითარდება, რომელიც ქშინების ტორსიდან 500 ÷ 800 მმ მანძილზეა განლაგებული და ~1900 ÷ 2000°C-ს აღწევს. წვის ფოკუსიდან ღუმლის ცენტრისაკენ გადაადგილებით იგი მცირდება და ~1400—1450°C-ს შეადგენს. ბრძმედის ცენტრში ტემპერატურის დაწევა აღნიშნულზე დაბლა დაუშვებელია, რადგანაც დნობის პროდუქტების ტემპერატურის საგრძნობ ვარდნამდე მიყვავაო და ხდება თუჯის დესულფურაციის პროცესის გაუარესება. ღუმლის ცენტრში ოპტიმალური ტემპერატურა მიიღწევა ბერვის რეჟიმის, კაზმის აირგანვლადობისა და ქურაში პირდაპირი აღდგენის პროცესის ოპტიმალურა განვითარებით.

ბრძმედის სიმაღლეში აირის ტემპერატურის ცვლილება არათანაბარია. X.4 ნახაზე მოცემულია ბრძმედში აირების ტემპერატურისა და შედგენილობის ცვლილება. როგორც ვხედავთ, აირების ტემპერატურა საკერძის რადიუსის მიმართულებით იცვლება. გარდა ამისა, ღუმლის ქვედა და ზედა ნაწილებში მის ერთ სიმაღლეზე აირების ტემპერატურა მკვეთრად იცვლება, ხოლო შუალედურ ზონაში—უმნიშვნელოდ. ტემპერატურის ასეთი ცვლილება გამოწვეულია კაზმისა და აირის შორის თბოგადაცემის პროცესების მიმდინარეობით. რაც მეტია სითბოს გადასცემ ნივთიერებებს შორის ტემპერატურა-



ნახ. 1.4. ბრძმედში აირების ტემპერატურისა და შედგენილობის ცვლილება: ა, დ—ტემპერატურის ცვლილება; ბ, გ—ნახშირორქანის შემცველობის ცვლილება; 1—ღუმლის პერიფერიაზე; 2, 3—შუალედურ ზონაში; 4—ღუმლის ცენტრში.

თა სხვაობა, მით მეტია სითბოს გადაცემის სიჩქარე, ე. ი. თბოგადაცემა შედარებით ინტენსიურია.

აირების შედგენილობის ცვლილება. დაშენებული ზონიდან გაცდენისთანავე აირების შედგენილობა განუწყვეტლივ იცვლება. როგორც ზევით იყო აღნიშნული, ეს გამოწვეულია მყარი ნახშირბადით ქანგეულების აღდგენის პროცესის ინტენსიურად მიმდინარეობასთან, რომლის დროსაც წარმოიქმნება ნახშირორქანი. ამიტომ წვის ზონიდან სიღრმეში გადაადგილებით აირები ნახშირორქანით მდიდრდება. ეს პროცესი იქაქლის მიმდინარეობს, სანამ აირები არ მიაღწევს წყალბადითა და ნახშირორქანით ქანგეულების აღდგენის ზონებს. ეს იწვევს აირებში ნახშირორქანისა და წყლის ორთქლის კონცენტრაციის ზრდას. 900—1000°C-ზე წყლის ორთქლი რეაგირებს ნახშირბადთან CO, CO₂ და H₂-ის წარმოქმნით. ბრძმედში რკინის ქანგეულების აღდგენის პროცესები განისაზღვრება გამაგალი აირების შემადგენლობის ცვლილებით. ამასთან ამ ცვლილების ძირითად მარეგულატორს წარმოადგენს ფარლობა CO₂:CO. რამდენადაც აღდგენის პროცესები სრულყოფილად მიმდინარეობს, იმდენად მეტია ეს ფარლობა.

ბრძმედის სიმძლესა და განივკვეთში CO₂-ის ცვლილება ძირითადად აირის ნაკადის მოძრაობაზე დამოკიდებული. იმ ზონის ტემპერატურა, სადაც აირები დიდი სიჩქარით მიეპარებებიან, მაღალია, ხოლო CO₂-ის შემცველობა დაბალია (ნახ. 1.4).

ღნობას პროცესის რაციონალური წარმართვისათვის საჭიროა ღუმლის პერიფერიებში აირის ნაკადი შედარებით დაბალი იყოს, ვიდრე ცენტრში. ამასთან, სასურველია CO₂-ის რაოდენობა პერიფერიებში მეტი იყოს, ვიდრე ცენტრში. 1.5 ნახაზზე ნაჩვენებია ბრძმედის განივკვეთში CO₂-ისა და ტემპერატურის განაწილება. აირების ნაკადის პერიფერიული მოძრაობა (თუნდაც

ინტენსიურს ხდიდეს ბრძმელის მუშაობას) იწვევს კოქსის ხარჯის ზრდას, ხოლო აიჩის ნაკადის ღერძული მოძრაობა დაბლა ცემს დნობის ინტენსიურობას.

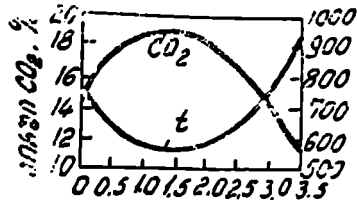
აიჩის რაოდენობის ცვლილება. ღუმელში აიჩის ზევით გადაადგილების პროცესში მათი რაოდენობა იზრდება. ეს გამოწვეულია აღდგენის პროცესების მიმდინარეობის შედეგად გამოყოფილი აირული ფაზის დამატებით. შებერილ ჰაერის რაოდენობასთან შედარებით ქურაწი წარმოქმნილი აირების რაოდენობა 21—23%-ით მეტია, ხოლო საკერძე აიჩის—38—40%-ით მეტი.

აიჩის წნევის ცვლილება. ბრძმელში აირების სტატიკური წნევა მყარდება ქურაწი (წვის ზონის დასაწყისში) და იგი პირდაპირდამოკიდებულაშია მიწოდებული ჰაერის რაოდენობასა და საკერძეში აიჩის წნევის სიდიდესზე. აიჩის სტატიკური წნევა ქურადან საკერძისაკენ საგრძნობლად ეცემა, რაც გამოწვეულია აიჩის ნაკადის მიერ საკაზზე მასალების წინაღობის გადალახვით. ამგვარად წარმოიქმნება წნევის საგრძნობი კარგვა Δp , რომელიც განისაზღვრება ქურაწი შებერილი ჰაერის p_0 წნევისა და საკერძეში აიჩის p_1 წნევის სხვაობით: $\Delta p = p_0 - p_1$. მისი სიდიდე დამოკიდებულია აირების სიმკვრივესა და მოძრაობის სიჩქარეზე. საკაზზე მასალების ფენის სიმაღლესა და მის აირგამტარობაზე. გარდა აღნიშნულისა, Δp -ს ცვლილება ღუმლის სიმაღლეში სხვადასხვა და დამოკიდებულია გარკვეულ უბნებში საკაზზე მასალების სვეტის კიდრავლიკური წინაღობისაგან.

Δp -ს ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ბრძმელის ქვედა ნაწილში, სადაც მიმდინარეობს კაზმის გარბილება და დნობა. ამჟამად ბრძმელში სტატიკური წნევა შახტის შუა ნაწილშიც იზომება (p_2). ამასთან დაკავშირებით ასხვავებენ: წნევის ქვემო ვარდნას $\Delta p_1 = p_0 - p_2$; ზემო ვარდნას $\Delta p_2 = p_2 - p_1$; საერთო ვარდნას $\Delta p = p_0 - p_1$.

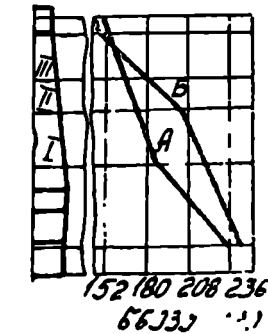
X.6 ნახაზზე ნაჩვენებია ბრძმელის სიმაღლეში აიჩის სტატიკური წნევის ცვლილება. მათგან A მრუდი წარმოადგენს ბრძმელის სიმაღლეში სტატიკური წნევის ცვლილების ტიპურ გამოსახულებას. როდესაც კაზში ცუდი აირგამტარობა, B მრუდით იცვლება. ბრძმელის სიმაღლეში აირების წნევის საერთო ვარდნა 90—120 კპა (0,9—1,2 ატ) შეადგენს.

აღსანიშნავია, რომ აირების წნევის ვარდნა დიდ გავლენას ახდენს კაზმის მოძრაობაზე. კაზმის მოძრაობა იმ შემთხვევაში ხორციელდება, როცა ზევიდან ქვევით მიმართული ძალების ტოლ-



ახედიან დაშორება, მ.

ნ. X.5. ბრძმელის ზემო ნაწილის განივკვეთის. აირებში C_2 და ტემპერატურის განივკვლევა



ნახ. X.6. ბრძმელის სიმაღლეში აიჩის სტატიკური წნევის ცვლილება: I, II და III—ზონები ბრძმელის სიმაღლეში; A—კაზმის კარგი აირგამტარობის შემთხვევაში; B—კაზმის ცუდი აირგამტარობის შემთხვევაში.

ქმედი შეტია ქვევიდან ზევით მიმართულ ძალების ტოლქმედზე. თუ ეს პირობა დაირღვა კაზნის დაშვების კანონზომიერებაჲ ირღვევა, რაც დაუშვებელია. ამ არასასიამოვნო მოვლენების თავიდან აცილების მიზნით ამჟამად ბრძმედული პროცესის ფორსირების საშუალებას იძლევა. ამჟამად საკერძოში აირების წნევა 170—200 კპა (1,7—2 ატ) ტოლია, ხოლო ახალი ბრძმედები მუშაობენ 250 კპა (2,5 ატ) და მეტ წნევაზე. აჰან განაპირობა ბრძმედის მწარმოებელურობის 4—15% -ით გაზრდა, კოქსის ხარჯის 3—7% -ით შემცირება და მტერის გამოტანის 20—50% -ით შემცირება.

5X.3. ბრძმედის პროდუქტები

ბრძმედში მიიღება ძირითადად ერთი აირადი (ბრძმედის აირი) და ორი თხევადი პროდუქტი—თუჯი და წილა.

თუჯი წარმოადგენს რკინა-ნახშირბადის შენადნობს, რომელიც შეიცავს აგრეთვე სილიციუმს, მანგანუმს, გოგირდსა და ფოსფორს. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლოა ქრომის, ნიკელისა და ვანადიუმის არსებობაც. თავისი ქიმიური შედგენილობისა და დანიშნულების მიხედვით თუჯები 3 ჯგუფად იყოფა 1. გადასამუშავებელი; 2. სამსხმელო და 3. სპეციალური, ანუ ფერო-შენადნობები.

გადასამუშავებელი თუჯი განკუთვნილია კონვერტირულ ან მარტენის ლუმლებში ფოლადის წარმოებისათვის. იგი ცნობილია თეთრი თუჯის სახელწოდებით, რომელშიც ნახშირბადი მთლიანად ბმულია რკინის კარბიდის Fe_3C ქიმიურ ნაერთში. ზოგიერთი მარტენის თუჯში, რომელიც განკუთვნილია ბესემერის მეთვე კონვერტირებაში გადასამუშავებლად, ფოსფორის შემცველობა 0,07% არ უნდა აღემატებოდეს.

გადასამუშავებელი თუჯი დანიშნულების მიხედვით 3 ჯგუფად იყოფა: ჩვეულებრივი გადასამუშავებელი (M_1, M_2, M_3, B_1, B_2), ფოსფორიანი გადასამუშავებელი ($M\Phi_1, M\Phi_2, M\Phi_3$) და მაღალხარისხოვანი გადასაკეთებელი ($ПВК_1, ПВК_2, ПВК_3$). ფოლადად გადამუშავების სახის მიხედვით გადასამუშავებელი თუჯი იყოფა: მარტენისა და ბესემერის თუჯებად (ცხრ. X.1).

მარტენის თუჯი განკუთვნილია მარტენის ლუმლებში გადასამუშავებლად. სილიციუმის, მანგანუმის, ფოსფორისა და გოგირდის შემცველობის მიხედვით გადასამუშავებელი თუჯი იყოფა ჯგუფებად, კლასებად და კატეგორიებად. ფოსფორიანი გადასამუშავებელი თუჯები $M\Phi_1, M\Phi_2$ და $M\Phi_3$ (ცხრ. X.2) ხასიათდება ფოსფორის მაღალი შემცველობით (1,0—2,0% P). მათი გადამუშავება ხორციელდება მერხვე მარტენის ლუმლებში.

ფოსფორიანი თუჯების გადამუშავება შესაძლებელია, აგრეთვე, თომასის კონვერტირებაშიც ეანგბადის გამოყენებით. მაღალხარისხოვანი თუჯი სილიციუმისა და მანგანუმის შემცველობით უახლოვდება გადასამუშავებელი თუჯის მარკებს— M_1, M_2 და M_3 , იმ განსხვავებით, რომ მათში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობა შედარებით დაბალია.

ბესემერის თუჯი ხასიათდება ფოსფორის დაბალი შემცველობით ($\leq 0,07\%$). სილიციუმის შემცველობა უნდა აღემატებოდეს მარტენულ თუჯებში მის შემცველობას. ეს აუცილებელია ბესემერის პროცესში სითბოს გამოყოფისათვის.

გადამამუშავებელი თუჯის მარკები

| თუჯის მარკა | შემცველობა, % | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-------|------|-------|-----------|-------|-------|----|--|
| | Si | Mn | | | | <P | | | <S | | | | |
| | | ჯგუფი | | | | კლასი | | | კატეგორია | | | | |
| | | I | II | III | IV | A | B | | I | II | III | IV | |
| M1 | 0,91-1,30 | | | მარტენის თუჯი (ГОСТ 51534-72) | | | | | | | | | |
| M2 | 0,51-0,90 | 0,50 | 0,51-1,00 | 1,01-1,50 | 1,51-2,00 | 0,10 | 0,15 | 0,015 | 0,025 | 0,085 | 0,050 | | |
| M3 | 0,50 | | | ბესემერის თუჯი (ГОСТ 805-69) | | | | | | | | | |
| B1 | 0,91-1,10 | 0,30-0,70 | | | | 0,08 | 0,07 | | | 0,04 | | | |
| B2 | 0,90 | | | | | | | | | 0,04 | 0,06 | | |

ცხრილი X.2

გადამამუშავებელი ფოსფორიანი და მაღალბარიბხოვანი თუჯების მარკები (ГОСТ 805-69)

| თუჯის მარკა | შემცველობა, % | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|-------|-----------|-------------------------|----|-------|------|------|-----------|-------|-------|----|
| | Si | Mn | | | | <P | | | <S | | | |
| | | ჯგუფი | | | | კლასი | | | კატეგორია | | | |
| | | I | II | III | IV | A | B | B | I | II | III | IV |
| MΦ1 | 0,91-1,30 | | | ფოსფორიანი თუჯები | | | | | | | | |
| MΦ2 | 0,51-0,90 | <1,00 | <1,50 | <2,00 | - | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 0,05 | 0,07 | | |
| MΦ3 | <0,5 | | | | | | | | | | | |
| ПВК1 | 0,91-1,30 | | | მაღალბარიბხოვანი თუჯები | | | | | | | | |
| ПВК2 | 0,51-0,90 | <0,50 | 0,51-1,00 | 1,01-1,50 | - | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,015 | 0,020 | 0,025 | |
| ПВК3 | <0,50 | | | | | | | | | | | |

სამსხმელო თუჯი სილიციუმის შემცველობის მიხედვით იყოფა 7 მარკად, მანგანუმის შემცველობის მიხედვით 2 ჯგუფად, ხოლო გოგირდის შემცველობის მიხედვით 5 კატეგორიად (ცხრ. X.3)

სამსხმელო თუჯის მარკები (ГОСТ 4832—72)

| თუჯის მარკები | შემცველობა, % | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|
| | C | Si | Mn | | | S | | | | |
| | | | კლასი | | | კატეგორია | | | | |
| | | | I | II | III | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЛК1 | 3,50—4,00 | 3,21—3,60 | | | | | | | | |
| ЛК2 | 3,60—4,10 | 2,31—3,20 | | | | | | | | |
| ЛК3 | 3,70—4,20 | 2,41—2,90 | | | | | | | | |
| ЛК4 | 3,80—4,30 | 2,01—2,40 | ≤0,5 | 0,51—0,90 | 0,91—1,50 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| ЛК5 | 3,90—4,40 | 1,61—2,00 | | | | | | | | 0,06 |
| ЛК6 | 4,00—4,50 | 1,21—1,60 | | | | | | | | 0,06 |
| ЛК7 | 4,10—4,60 | 0,61—1,20 | | | | | | | | 0,06 |

შენიშვნა. ჯგუფების მიხედვით P-ს შემცველობა შემდეგია: A ≤ 0,08%; B—(0,081—0,12)%; B—(913—0,30)%; Γ—(0,31—0,70)%; Д—(0,71—1,20)%.

ფოსფორის შემცველობის მიხედვით სამსხმელო თუჯი იყოფა 5 კლასად: A—დაბალფოსფორიანი, B და B—ჩვეულებრივი, Γ და Д—ფოსფორიანი.

სპეციალური თუჯი, ანუ ბრძმედის ფეროშენადნობი, ისეთ თუჯს ეწოდება, რომელიც განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით შეიცავს რომელიმე სპეციალურ ელემენტს. მათ კატეგორიას განეკუთვნება ფერომანგანუმი, ფეროსილიციუმი (9—13% Si) და კრიალა თუჯი (ცხრ. X.4).

ბრძმედული ფეროშენადნობის მარკები

| ფეროშენადნობების მარკა და კლასი P-ს მიხედვით | შემცველობა, % | | | |
|--|---------------|-------------------------|-------------|------|
| | Si | Mn | S | |
| | | | არა უმეტესი | |
| | | კრიალა თუჯი | | |
| 3r1 | ≤ 2,0 | 20,1—25,0 | 0,22 | 0,03 |
| 3r2 | ≤ 2,0 | 15,1—20,0 | 0,30 | 0,03 |
| 3r3 | ≤ 2,0 | 10,0—15,0 | 0,18 | 0,03 |
| | | ბრძმედული ფეროსილიციუმი | | |
| Cu 15 | ≥ 13,10 | ≤ 3,0 | 0,20 | 0,04 |
| Cu 10 | 3,0—13,0 | ≤ 3,0 | 0,20 | 0,04 |
| | | ბრძმედული ფერომანგანუმი | | |
| A კლასი | | | | |
| Mn 5 | ≤ 2,0 | ≥ 75,1 | 0,45 | 0,03 |
| Mn 6 | ≤ 2,0 | 70,75 | 0,35 | 0,03 |
| B კლასი | | | | |
| Mn 5 | ≤ 2,0 | ≥ 75,1 | 0,45 | 0,03 |
| Mn 6 | ≤ 2,0 | 70—75 | 0,45 | 0,03 |

ფეროშენადნობები გამოიყენება ფოლადის ლეგირებისა და განკანგვისათვის.

ბრძმედის წილა ძირითადად გამოიყენება როგორც კარგი სამშენებლო მასალა. მისი გამოყენების სფერო ძალზე დიდია (ჩამოსხმული მოსაპირკეთებელი ფილები, ბეტონის შემესები, ბოჭკოვანი ნაქოთბანი, შემკვრელი მასალები, წილის ბამბა, სამშენებლო ბლოკების ძირითადი მასალა და სხვ.). ამასთან, სხვადასხვა მასალების დამზადებისათვის ძირითად როლს თამაშობს წილის ფუძიანობა. მეტე წილები ხასიათდება შედარებით მკვრივი აგებულებითა და სხმულ მდგომარეობაში მალალი სიმტკიცით. ისინი გამოიყენებიან კარგ საიზოლაციო მასალებად.

კრისტალური აგებულებით ხასიათდება ფუძე მალალკირიანი წილები რომლებსაც ცემენტის წარმოებაში იყენებენ.

ბრძმედის წილების მოცულობითი წონა 0,55-დან (მსუბუქი წილებისათვის) 2 კგ/მ³ (ძძამე წილებისათვის) ფარგლებში იცვლება.

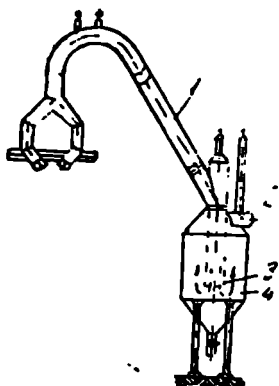
ბრძმედის წილების საშუალო შედგენილობას შეადგენს 36—42% SiO₂, 8—18% Al₂O₃, 40—46% CaO, 2—10% MgO, 2—3% MnO, 0,2—0,6% FeO, 1,5—2,0% S. შესაძლოა მასში 0,7—0,9% TiO₂-ის არსებობა. წილის გამოშვების ტემპერატურა 1650—1700°C-ია.

ბრძმედის აირი და მტვერი. კოქსით შომუშავე ბრძმედის აირის წვის სიბოზ 3600—3900 კკ/მ³ (850—950 კკალ/მ³) არ აღემატება. მიუხედავად ამისა მეტალურგიულ ქარხნებში მას როგორც საწვავს დიდი გამოყენება აქვს. აირის დაახლოებით 25% საკუთრად ბრძმედის საამქროს ხმარდება (ასე მაგალითად, პაერსახურებლების—კალქერების გასახურებლად). აირის დარჩენილი ნაწილი მიდის სხვადასხვა საამქროებში: კოქსქიმიურ საამქროში, სადაც კოქსის აირის ნაწილობრივი დამატებით გამოიყენება საკოქსე ლუმლების გასახურებლად; მარტენის საამქროში კოქსის აირის ნარევეთან ერთად იგი იხმარება მარტენის გასახურებლად; საგლინავ საამქროებში—მასხურებელი ღუმლების გასახურებლად და სხვ. როგორც აღინიშნა, აზოტისა და ნახშირორჟანგის გარდა ბრძმედის აირი შეიცავს აგრეთვე 23—30% CO და 1—8% H₂, რომლებიც წარმოადგენენ წვისათვის აუცილებელ ძირითად შემდგენლებს.

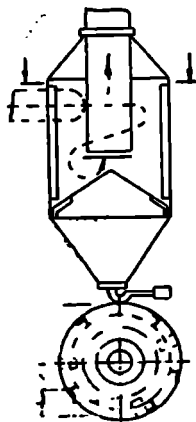
ღუმლიდან გასვლისას ბრძმედის აირი შეიცავს დაახლოებით 100 გ/მ³ მტვერს. ჩვეულებრივ, მისი რაოდენობა 15—60 გ/მ³ შეადგენს. სპეციალური აირგამწმენდების მეშვეობით მტერის შემცველობა 0,005—0,015 გ/მ³-მდე დაკავთ, რის შემდეგაც იგი გამოიყენება როგორც საწვავი აირი

ბრძმედის მტერის ძირითადი მასა, რომელიც რკინის ეანგეულების დიდ რაოდენობას შეიცავს, როგორც ნედლეული, სააგლომერაციო ფაბრიკაში გამოიყენება.

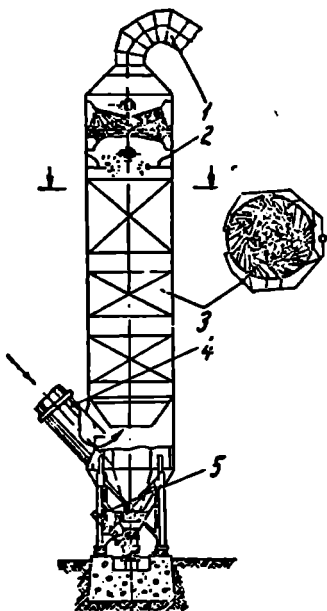
აირის გაწმენდა თანამიმდევრულად წარმოებს: უხეში, ნახევრადწმინდა და წმინდა. უხეში გაწმენდა აირის მოცულობის ზრდისა და მისი მოძრაობის სიჩქარის შემცირების შედეგად მტერის ნაწილაკების დალექვით ხორციელდება. აირი ვადლის მცირეგანივკვეთიანი აირგამწმენდიდან დიდი განივკვეთის მქონე რეზერვუარებში, ე. წ. მშრალ მტვერსაქვრებში აირის რადიალური მიყვანით (ნახ. X.7) და ციკლონებში კი აირის ტანგენციალური მიყვანით (ნახ. X.8). ასეთ მტვერდამქვრებში ილექება დაახლოებით 80% მთელი მტერისა და მისი შემცველობა აირში 1,3 გ/მ³-მდე მცირდება. აირის ნახევრადწმინ-



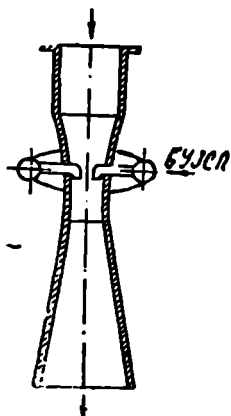
ნახ. X.7. მშრალა მტვერდამკერი მანუ-
ბილოზის სქემა: 1—აირგამყვანი;
2, 3—მიღები; 4—მტვერდამკერი.



ნახ. X.8. ციკლონის მოწყობილობის სქემა.



ნახ. X.9. ხერბერის სქემა:
1—ნიხერადსულთა იორის
იორმიყვანი; 2—სისხერე-
ბი; 3—წყობერი; 4—კე-
ყიანი იორის იორმიყვანი;
5—წყილგალასაშეუბი.



ნახ. X.10. სორკევი მი-
ლის სქემა.

და გაწმენდა წარმოებს ეგრეთ წოდებულ სკრუბერებში—გამრეცხვებში, რომლებიც წარმოადგენს 35 მძვე სიმალის საშხეფრებით აღჭურვილ ცილინდრულ რეზერვუარს (ნახ. X.9). სკრუბერებში მოცულობის ზრდის შედეგად აირის მოძრაობის სიჩქარე მკვევარად ეცემა, გარდა ამისა, წარმოებს მისი წყლით დასველება. მტვერის სხვილი ნაწილაკები წყალში ილექება, ხოლო წერილი—მალა მიეშრება. ზოგიერთ შემთხვევაში სკრუბერის გარკვეულ ზონებში იარუსებით ათავსებენ ხის წყობას, რომელიც აირის ნაკადს ყოფს ქაველებად და დასველების დიდ ზედაპირს ქმნის. მტვერი წყალთან ერთად გარეთ გამოიტანება. მაღალი წნევით მოწუშავე ბრძმედების შემთხვევაში სკრუბერებში აირის გაწმენდის ხარისხი 0,05 გ/მ³ აღწევს, ხოლო დაბალი წნევის ბრძმედების შემთხვევაში—0,5 გ/მ³.

ბრძმედის აირის გაწმენდა სპეციალურ საფრქვევ მილებში (ნახ. X.10) ან დროსელურ მოწყობილობებში ხორციელდება, სადაც აირის გასუფთავება მისი მოცულობის გაფართოებით და წყლის ინტენსიური დასველებით მიმდინარეობს. ამჟამად მრავალ ქარხანაში აირის წმინდად გასაწმენდად ელექტროფილტრები ან დეზინტეგრატორები იხმარება.

ელექტროფილტრებში მტვერის ნაწილაკები მაღალი ძაბვის ელექტრული ველის გავლენით იმუხტება და ელექტრული ძალის ზემოქმედებით მიიზიდება ელექტროდებისაკენ, სადაც ისინი განიშხტებიან და ილექებიან. ელექტროფილტრებში დადებით ელექტროდებად მიღები გამოიყენება, რომელთა შუაშიც იმყოფება გაკეიშული მავთულის უარყოფითი ელექტროდი.

დეზინტეგრატორი წარმოადგენს ცენტრიდანულ ვენტილატორს, რომლის კორპუსშიც დისკოებიანი დერძი ბრუნავს. მასზე დამაგრებულია ფრთები, რომლებზედაც დეზინტეგრატორი წყალი მიეწოდება. წყალში არეული მტვერის წერილი ნაწილაკები კაჟერის კედლებზე გაიტყორცნება და ჩაირეცხება წყლის ნაკადით. თანამედროვე დეზინტეგრატორების მწარმოებლურობა 80 ათას მ³/სთ აღწევს. აირის სისუფთავე შეადგენს 12 მგ მტვერის ნაწილაკების 1 მ³-ში. ეს მეთოდი შედარებით არაპერსპექტულია.

XI თ ა 3 0

საბრძმედო საამქრო და მისი მოწყობილობა

§ XI-1. საბრძმედო საამქროს გეგმა

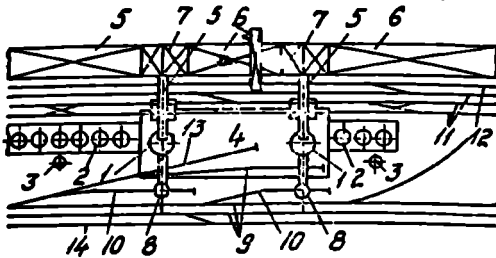
საბრძმედო საამქროს აგრევატებისა და სატრანსპორტო მაგისტრალების რაციონალურ განლაგებას პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება. საბრძმედო საამქროს გეგმა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. რკინისგზის მაგისტრალების განლაგება და მათი განშტოება უნდა უზრუნველყოფდეს რაციონალურ ტვირთთაკადს; არ უნდა დაიშვას შემხედარი გადაზიდვები და აუცილებლობის შემთხვევაში შესაძლოა იყოს ერთი და იმავე გზით სხვადასხვა ტვირთის გაზიდვა;

2. საამქროს გაბარიტული ზომა და სხვადასხვა კომუნიკაციების სიგრძე (ესტაკადები, რკინიგზები, კონვეიერები, მილგაყვანილობა, ელექტრო ქსელები და სხვ.) უნდა იყოს მინიმალური;

3. აგრევატების განლაგება მშენებლობის ან რემონტის პროცესში არ უნდა აფერხებდეს მეზობელ აგრევატების მუშაობას;

მკონი ქონ



ნახ. XI.1. საბრძოლველ საამქროს გეგმა ღუმლების ბლოკურად განლაგებით: 1—ბრძოლები; 2—პერსახურებლები; 3—კვამლსადენი; 4—სამსხმელო ეზო; 5—დებრილი ხრდი; 6—საზაღნე ბუნკერი; 7—საკოქე ბუნკერი; 8—მტერდაშპერი; 9—თუჯის გასატანი რკინიგზა; 10—მტერის გასატანი რკინიგზა; 11—წილის გასატანი რკინიგზა; 12—კოქსის წარალი შადნის გასატანი რკინიგზა; 13—სამუერნო გზა; 14—მისასვლელი გზები.

შოკიდებულია საამქროდან თუჯისა და წილის გასატან რკინიგზების განლაგებაზე. თავისი დანიშნულების მიხედვით რკინიგზა არის: ა. მიმღები და დასაყენებელი, რომლის დანიშნულებაცაა მიიღოს და დააყენოს შედგენილობა დასატვირთად; ბ. სავალი გზები, რომლებზედაც შედგენილობა დანიშნულების ადგილისაკენ გადაადგილდება.

თანამედროვე საბრძოლველ საამქროები ბრძმედების განლაგების მიხედვით ორ ტიპად იყოფა:

1. ღუმლების ე. წ. ბლოკებად განლაგების საამქროები (ნახ. XI.1), როდესაც ორ მეზობელ ბრძმედს ერთი სამსხმელო უბანი აქვს. ორივე ბრძმედის პერსახურებლები ერთ აივანზე იმყოფება, რაც საშუალებას იძლევა იკონიონ ერთი საერთო საკვამური მილი და ერთი სარეზერვო საერთო პერსახურებელი. საერთო სამსხმელო ეზოს ერთი ამწე ემსახურება. ასეთი ტიპის საამქროებში რკინიგზის კვანძები განლაგებულია ღუმლების ღერძის პარალელურად. ამასთან, წილისა და კოქსის ნარჩენების გამოსატანი გზები განლაგებულია დახრილი ხიდის მხრიდან, ხოლო თუჯისა და მტერის გამოსატანი გზები კი საწინააღმდეგო მხრიდან. ბრძმედის ბლოკური განლაგების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს--ღუმლების ერთი ბლოკიდან მეორეში გადასვლის შეუძლებლობა; გადასვლა შეიძლება პირველი ან ბოლო ღუმლების მანლობლად რაც აძწელებს რკინიგზის ტრანსპორტის მანევრირებას;

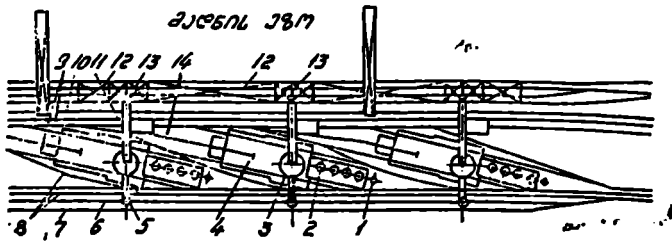
2. ღუმლების ე. წ. კუნძულოვანი განლაგების საამქროები (ნახ. XI.2), როცა ღუმლები ურთიერთიზოლირებულადაა განლაგებული და აქვთ თავიანთი დამოუკიდებელი სამსხმელო უბნები და პერსახურებლები. ღუმლების ბლოკური განლაგების მსგავსად კუნძულოვან საამქროებს აქვს რკინიგზის კვანძების განლაგების თავისებურება: ღუმლს ერთ მხარეს განლაგებულია თუჯისა და საკერძე მტერის გამოსატანი რკინიგზის ხაზები, ხოლო ღუმლის მეორე მხარეს--წილისა და კოქსის ნარჩენებისა. ყოველ ბრძმედს აქვს შემადგენლობის ინდივიდუალური საყრდენი რკინიგზის პუნქტები, მეზობელი ბრძმედები კი აღჭურვილია გადასასვლელი გზებით.

4. ყველა აგრეგატის დაცილებების გაზარდებით უნდა აკმაყოფილებდეს უსაფრთხოების ტექნიკის პირობებს;

5. ავტომატიზაციის ყველა აპარატურა და საყოფაცხოვრებო ოთახები განლაგებული უნდა იყოს მტერისა და აირების უბნებისაგან დაშორებით.

6. პერსპექტივაში უნდა იყოს შესაძლებლობა საამქროს განვითარებისა (ახალი ბრძმედების აგება);

ბრძმედის ყველა დამხმარე აგრეგატის განლაგება, უპირველეს ყოვლისა, დაშორებული უნდა იყოს მტერისა და აირების უბნებისაგან დაშორებით.



ნახ. XI.2. საბრძოლველ საჰაერო გეგმა ლუმლები კუნძულოვანი განლაგებით:
 1—კემოსაღენი; 2—ჰერსახერებლები; 3—ბრძმელები; 4—ინჰემლო ეზოები;
 5—მტვერსაქერები; 6—მტვრის გამოსატანი რკინიგზა; 7—გაქაველი გზები;
 8—თუჯის გამოსატანი რკინიგზები; 9—წილის გამოსატანი რკინიგზები; 10—კოქსის
 წერილშანის გამოსატანი რკინიგზები; 11—დახრილი ხიდი; 12—სამანგე ბუნკერი;
 13—საკოქსე ბუნკერი; 14—სამურერეო გზები.

ლუმლების ასეთი განლაგება უზრუნველყოფს რკინიგზის ტრანსპორტის იოლ მანევრირებას. უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს ლუმლებს შორის დიდი მანძილი, რაც ზრდის საამქროს სიგრძესა და კაპიტალურ დანახარჯებს.

საბჭოთა კავშირში თანამედროვე საბრძოლველ საამქროები შენდება მხოლოდ და მხოლოდ ლუმლების კუნძულოვანი განლაგებით.

საბრძოლველ საამქროების შედგენილობაში შემდეგი ძირითადი ელემენტები შედის—აგრეგატები და მოწყობილობანი: ბრძმელები სამსხმელო ეზოებით, ჰაერმახერებლები, აირების გამასუფთავებელი აგრეგატები, მანის ეზო, საბუნკერე ესტაკადა, სამსხმელო მანქანები, ცივი თუჯის საწყობი და მოწყობილობები წილის გრანულაციისათვის.

ჰაერმახერებლები ლუმლების ბლოკებად განლაგების შემთხვევაში განლაგებულია მეზობელი ბლოკების ლუმლებს შორის ერთ სწორ ხაზზე; კუნძულოვანის შემთხვევაში—სამსხმელო ეზოს საწინააღმდეგო მხარეს ლუმლის პორიზონტალურ ლერძთან გაჩვენული კუთხით.

ჩვეულებრივ, ყველა აგრეგატი (მტვერსაქერი, სკრუბერი და ელექტროფილტრი) მოთავსებულია ბრძმედის საამქროს ტერიტორიაზე მანის უბნის საწინააღმდეგოდ.

მანის უბანი შესაძლოა მოთავსებულ იქნეს უშუალოდ ბრძმედებთან ახლოს ან მოშორებით. ამჟამად ყველაზე გავრცელებულია მათი უშუალოდ ბრძმედებთან განლაგება.

§XI.2. ნედლი მასალების ხაზობი და ბრძმედში კაჟის მიწოდება

მანისა და მდნობების ძირითადი მარაგი ბრძმედის საამქროს გასწვრივ მიმდებარე ტერიტორიაზე ღია ცის ქვეშ, ევრეთწოდებულ მანის ეზოში თავსდება. ეს ტერიტორია საბუნკერე ესტაკადას ემიჯნება. საწყობების ტევადობა დამოკიდებულია ქარხნის მანდების მოპოვების ადგილიდან დაცილებისა და მათი გადმოზიდვის ტრანსპორტის სახეზე. რკინიგზით გადმოზიდვის შემთხვევაში მანის მარაგი ორ თვემდეა გათვალისწინებული; წყლის ტრანსპორტით გადაზიდვის შემთხვევაში—ექვს თვემდე. უკანასკნელი განპირობებულია ზამთრის პერიოდში ნავიგაციის შეწყვეტასთან დაკავშირებით.

თანამედროვე ქარხნების მადნის ეზოები მადნის გადასატვირთად ალქურ-ვილია პორტალიანი ელექტრულ გრიფერულ ამწეებით. ვაგონებიდან მადნის გადმოტვირთვა ტრანშიაში წარმოებს. აქედან ამწის მეშვეობით 17 მ-მდე სი-მაღლის შტაბელებად გადაიტვირთება ეზოს ტერიტორიაზე, საიდანაც ბუნკერებს მიეწოდება. ეს უკანასკნელი ოპერაცია სპეციალური ელექტრული ვაგონების ტრანსფერკარების მეშვეობით ხორციელდება, რომელთა ტვირთამწეობაც 60—100 ტ აღწევს.

მადნითა და კირქვით დატვირთული რკინიგზის შემადგენლობა მადნის ეზოში მიეწოდება და განიტვირთება ორ ან სამ ესტაკადაზე, რომელიც მადნის ეზოს გასწვრივ არიან განლაგებულნი. ამჟამად დატვირთული ვაგონების დატ-ლა მძლავრი ვაგონძვლებით წარმოებს. მათ შეუძლიათ განივი ან გრძივი მიმართულებით გადახრა. ვაგონების ტიპისა და კონსტრუქციის მიხედვით გამოიყენება შემდეგი სახის ვაგონძვლები: ტორსული ან გრძივი გადახრით; კომპოზიტი ან წრიული ტიპის, რომლებიც გამოიყენება ყველა ტიპის ვაგონების ან პლატფორმების განივი მიმართულებით ასაყირავებლად. მადანი, მდნობები და დამატებითი მასალები (მარტენის წილა, ლითონის ჯართი და სხვ.) ვაგონებიდან უშუალოდ ბუნკერებში ჩაიტვირთება.

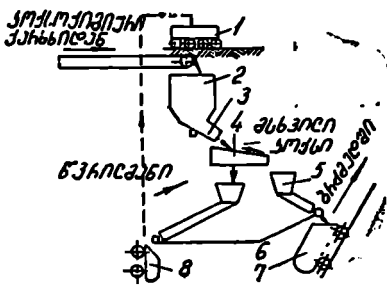
ქარხანაში შემოსულ მადნის ქიმიური შედგენილობა და ფიზიკური თვისებები საგრძნობლად მერყეობს, რაც ბრძმედის მუშაობაზე უარყოფით გავლენას ახდენს. ამიტომ მადნის გასაშვალებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. მადნის ქიმიური შედგენილობის დიდი მერყეობა სათბობის დიდ ხარჯს იწვევს და აუარესებს პროდუქტის ხარისხს.

თანამედროვე პრაქტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელებულია გრიფერული ამწეების მეშვეობით საბადნე უბნის სივრცეზე მაონის თხელ ფენებად გაშლა. მადნის გასაშვალება და შტაბელებად ფორმირება შესაძლებელია აგრეთვე ლენტური ტრანსპორტიორების საშუალებით. არჩევენ ბრძმედში კაზმის მიწოდების თანამიმდევრობას;

ა) ქარხანაში შემოსული მყვრივი რკინის მადნის მიწოდება; ამ შემთხვევაში ბუნკერებიდან გასაშვალეობული მადანი ვაგონსასწორების მიმღებ ძაბრს მიეწოდება. ვაგონსასწორის მეშვეობით წინასწარ შედგენილი პროგრამის საფუძველზე ხორციელდება მასალების შერჩევა, აწონვა, მათი ტრანსპორტირება სასკიპე ორმოსაკენ და მათი სკიპში ჩატვირთვა, სკიპში ჩატვირთული მასალა დახრილი ხიდის მეშვეობით ბრძმედის საკრძქვს მიეწოდება.

ზოგიერთ თანამედროვე საამქრო-ში ვაგონსასწორების მაგივრად ბუნკერებიდან სკიპებში კაზმის მიწოდება ლენტური ტრანსპორტიორით ხორციელდება. ასეთ შემთხვევაში ბუნკერების ქვეშ მოთავსებულია ელექტროვიბრაციული შკვებავი ცხავეები, რომლითაც ნელი მასალის მსხვილი ფრაქციები ტრანსპორტიორის ლენტას მიეწოდება. ლენტიდან კაზმი ამწონი ძაბრით სკიპებს გადაეცემა;

ბ) აგლომერატის მიწოდება ბრძმედის მახლობლად განლაგებული სააგ-



ნახ. XI 3. კოქსის მიწოდების სქემა: 1—ვაგონი წვრლმანისითვის; 2—საკოქსე ბუნკერი; 3—საკვალთი; 4—ცხავე; 5—სასწორი ძაბრი; 6—საკეტი; 7—სკიპი; 8—წვრილმანის აიატინი.

ლომერაციო ფაბრიკიდან სატრანსპორტიო ლენტით ან თვითმცლელი ვაგონების მეშვეობით;

გ) კოქსის შიწოდება (ნახ X.3); კოქსი თავისი დაბალი მუქიანიკური თვისებების გამო სატრანსპორტიო ლენტას მეშვეობით მიწოდება საკოქსე ბუნკერებს 2, რომლებიც განლაგებულნი არიან უშუალოდ სასაქიპე ორმოს მახლობლად. ბუნკერის შემდეგ კოქსი ცხავს 4 მიწოდება, საიდანაც მსხვილი ნაქრები სისწორ ძაბრში 5 გადაიტვირთება, კოქსის ნარჩენი წვრილი ფრაქცია საამქროდან გასატანად ვაგონებში 1 იტვირთება.

§XII.3. ბრძმედის საამქროს ჰამბახაბერი მოწყობილობა

ბრძმედში მალალი მწარმოებლურობის განსახორციელებლად აუცილებელია მასში საკმაოდ დიდი რაოდენობის ჰაერის მიწოდება. მალალი წნევით მომუშავე თანამედროვე ბრძმედებში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობა ბრძმედის 1 მ³ სასარგებლო მოცულობაზე შეადგენს 1,8—2,2 მ³/წთ-ში. ასე, მაგალითად, 2000 მ³ სასარგებლო მოცულობიანი ბრძმედში წუთში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობა 3600—4400 მ³ შეადგენს. ასეთი რაოდენობის ჰაერის მიწოდებისათვის აუცილებელია სპეციალური მალამწარმოებლური მანქანების გამოყენება.

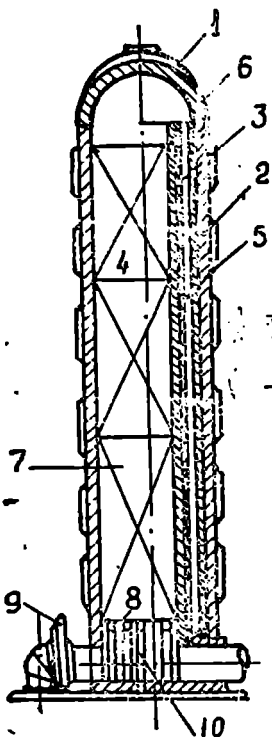
ჩვენი ქვეყნის ქარხნებში ამჟამად გამოიყენება ცენტრიდანული მანქანები—ტურბოჰაერსაბერები მათი მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: მბრუნავი მუშა თვლები, რომლებიც ფრთებითაა აღჭურვილნი, ცენტრიდანულ ძალების მეშვეობით დიდი სისწრაფით გადაადგილებს ჰაერს ლერძიდან პერიფერიებისაკენ. ამასთან, მიმდინარეობს ჰაერის შეკუმშვა და წარმოქმნება სტატიკური და დინამიკური დაწოლა.

ცენტრიდანული მანქანები 3 ტიპისაა: ვენტილატორები, ჰაერსაბერები და კომპრესორები. თანამედროვე პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვა ჰაერსაბერებმა, რომლებიც ავითარებენ ბრძმედში მიწოდებული ჰაერის წნევას 0,4—0,5 მპა, ამიტომ ისინი აღჭურვილნი არიან რამდენიმე თვლებით, ე. ი. აქვთ შეკუმშვის რამდენიმე საფეხური.

ხშირ შემთხვევაში ტურბოჰაერსაბერების ამძრავებლად მალალი წნევის ორთქლის ტურბინები გამოიყენება, რომლებიც მუშაობენ ორთქლის 3,5—9,0 მპა წნევით. მათი რატორის ბრუნვა 2500—3100 ბრ/წთ აღწევს.

ჰაერსაბერი მოწყობილობა განუწყვეტლივ თანაბარი რაოდენობით კვებავს ბრძმედს ჰაერით, მასი შემევაბით შესაძლებელია მწარმოებლურობის დიდ ზღვრებში ცვლა. ჰაერსაბერი მოწყობილობის მწარმოებლურობა დიდად არის დაკავშირებული ატმოსფეროს პირობებთან. ამიტომ აუცილებელია ატმოსფეროს ტემპერატურისა და წნევის მიხედვით კორექტირდეს მიწოდებული ჰაერის მოცულობითი დებიტი. ასე, მაგალითად, სიციხეში ჰაერის სიკვრივე მინიმალურია და ატმოსფერული წნევის შემცირებით იგი კიდევ უფრო მცირდება. ამიტომ ზაფხულის პერიოდში რაც უფრო მეტია ატმოსფეროს ტემპერატურა და დაბალია ატმოსფერული წნევა, მით უფრო მეტადაა აუცილებელი მანქანების მოცულობითი მწარმოებლურობის გაზრდა.

ბრძმედისა და ჰაერსაბერი მანქანების ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია ღუმლის ზომისა და ჰაერსაბერი მოწყობილობის სიმძლავრეს შორის არსებობდეს გარკვეული ფარდობა, რაც ხელს უწყობს ბრძმედის შახტში



ნახ. XI.4 თანამდროვე რეგენერატორული ჰაერსახურებელი: 1—ლითონის გარსაცმი; 2—აბრაგ; 3—წვის კამერა; 4—ცეცხლგამძლე აგურებს წყობურის კამერა; 5—გაყოფი კედელი; 6—თალი; 7—ცეცხლგამძლე აგურის წყობური; 8 და 10—ცხურა და კოლონები; 9—კამოსლაფენი.

კაპის ნორმალურ დაშვებასა და ჰაერსახურის დანადგარების ეკონომიურ და მდგრად მუშაობას. ჰაერის დიდი რაოდენობით შებერვის შემთხვევაში შესაძლოა მოხდეს კაპის „ჩამოკიდება“, რასაც იწვევს მის საწინააღმდეგოდ მოძრავი აირების წნევის ზრდა; შებერილი ჰაერის არასაკმარისი ხარჯის შემთხვევაში კი ბრძმედის მწარმოებლურობა საგრძნობლად ეცემა.

შესაბერი ჰაერის წნევა დიდადა და მოკიდებული კაპის აირგამტარობასა და ღუმლის მოცულობაზე.

იმეამალ ყველა ბრძმედში მიეწოდება 1100—1300°C გახურებული ჰაერი, რომელიც ჰაერსახურებელს გამოსვლის შემდეგ წინასწარ ჰაერსახურებლებში, ე. წ. კაუპერებში (ნახ. XI.4) ხურდება. ბრძმედის წარმოებაში შებერილი ჰაერის გახურება წარმოვიდგება მისი განვითარების ერთ-ერთ ძირითად ეტაპად, რომელმაც გამოიწვია საწვავის ხარჯის საგრძნობი შემცირება და ბრძმედის მწარმოებლურობის მკვეთრი ზრდა. პირველად კაუპერმა, 1857 წელს, აილო პატენტი აგურისამონაგის რეგენერატორულ ჰაერსახურებლებზე. ასეთ აპარატებში ცეცხლგამძლე აგურების ამონაგი მოთავსებულია ლითონის ცილინდრულ გარსაცმში. ამონაგის გახურება პერიოდულად ბრძმედის ნამწვი აირების მეშვეობით წარმოებს, მასში ხდება სითბოს აკუმულირება, რომელიც შემდგომ გადაეცემა მასში გაჰავალ შეტყრილ ჰაერს. ბრძმედის აირის წვა ქსახტის ქვედა ნაწილში მიმდინარეობს, რომელსაც წვის კამერა ეწოდება. XI.4 ნახაზზე მოცემულია თანამდროვე რეგენერატორული

ჰაერსახურებლის (კაუპერის) სქემატური გაოსახულება.

შახტში ნამწვი პროდუქტება ქვემოდან ზევით მიემართება, თალის ქვეშ 180°-ით იცვლის მოძრაობის მიმართულებას და ცეცხლგამძლე აგურების ამონაგის წყობურებით შექმნილ ათასობით არხების გავლით ქვევით ეშვება, რის შემდეგაც წყობურქვეში მოცულობიდან საკვამლე მილში მიემართება. გარკვეული პერიოდის შემდეგ გასახურებელი ჰაერი აგურის წყობურებით ნამწვი აირების მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მიემართება.

ყოველ ბრძმედს აქვს 3 ჰაერსახურებელი აპარატი, რომლებიც პერიოდულად მუშაობს „აირზე“ და „ბერზე“. ამ აპარატების გადაყვანა აირის რეჟიმიდან ბერზე და პირიქით სარქვლების სისტემით სორცეიდება; ამის მეშვეობით ყოველი აპარატი შესაძლოა გადაართულ იქნეს ცივი ან ცხელი

ჰაერის ჰაერსადენთან ან საკვამლე ალიბქესა, კვამლსადენსა და საკვამლე მილთან.

თანამედროვე ბრძმელებში გამოყენებულია სარქველების გადართვის დისტანციური ელექტრომართვა; ამასთან, გადართვის ყველა ოპერაცია ავტომატურად ხორციელდება.

ბრძმელის პაქსახურებლებში ცეცხლგამძლე წყობურების ამოსაგებად ძირითადად შამოტის აგურები გამოიყენება. წყობურების ზედა ნაწილი და თალი ხშირად დინასის აგურით იკება. სითბოს დანაკარგებს შემცილების მიზნით ამონაგსა და გარსაცის შორის 60—100 მმ სისქის აგურებით ამოგებული საიზოლაციო ფენა თვსდება. არხების ფორმის მიხედვით აგურების წყობა სტადანსხვია. შესაძლოა იყოს მრგვალი, კვადრატული, ექვსკუთხედი კვეთისა და ა. შ. მათი განივკვეთის ზომები ზოგჯერ იცვლება 40-იდან 200 მმ მდე; არხებს შორის კედლის სისქე 20—65 მმ შეადგენს, წყობურის 1 მ² მოცულობის ზურების ზედაპირი, ჩვეულებრივ, 1,5-დან 3 მ² შეადგენს. იგი სწრაფად იზრდება არხის დიამეტრისა და მათ შორის კედლის სისქის შემცირებასთან ერთად.

აღნიშნულ ჰაერსახურებელ აპარატში გასახურებელი ჰაერის ტემპერატურა მუშაობის პერიოდის განმავლობაში თანდათან ეცემა და იგი მით უფრო ინტენსიურია, რაც ნაკლებია აგურების სისქე და რაც უფრო ინტენსიურია წყობურის ზედა ნაწილში თბოვალდაცემა. თანამედროვე აპარატებში ტემპერატურის ვარდნა საათში 150—250 C შეადგენს, წყობურის ქვედა ზონებში თბოვალდაცემის გააქტიერების მიზნით ფართოდ გამოიყენება მრავალსართულიანი წყობურები. ამასთან ქვედა სართულების არხების სიგანე, მათ შორის კედლების სისქე და საერთო განივკვეთის ფართობი მნიშაღურაა და თანდათან იზრდება მის ზემოთ მყოფ მომღვენო ზონაში.

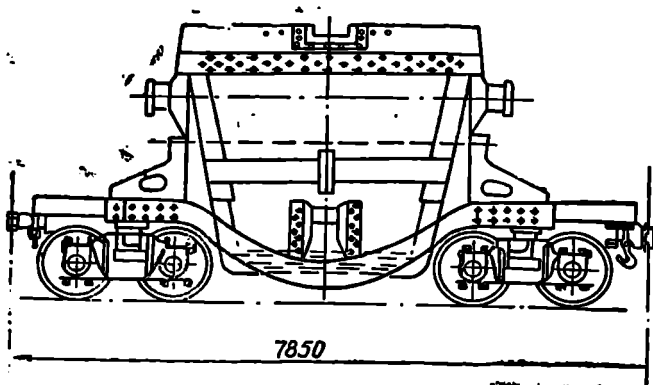
ზედა საფხურზე სქელი აგურების გამოყენება ხელს უწყობს წყობურის ზედა ფენის მდგრადობის ზრდას, რომლებიც განიცდის შედარებით მაღალ ტემპერატურულ ზეგავლენას.

თანამედროვე მქლავი ბრძმელების თითოეული ჰაერსახურებელი აპარატების ზურების ზედაპირი 27000 მ²-ს აღემატება. აპარატების საერთო სიმაღლე 40 მ-ს აღწევს, ხოლო გარე დიამეტრი 5—9 მ. ერთი ბრძმელის ასეთი ჰაერსახურებელი აპარატების ასაგებად 8000 ტ-მდე ცეცხლგამძლე აგური იხარჯება.

§1.4. საზრდამდე საამჰროდან თუჯისა და წიღის გამოდნა

თანამედროვე მეტალურგიულ ქარხნებში ფოლადსადნობ სააქროებს თუჯი თხევად მდგომარეობაში მიეწოდება. ეს უქანასქელი საშუალებას იძლევა თუჯის ფოლადად გადამუშაების პროცესში გამოყენებულ იქნეს მისი ფიზიკური სითბო.

თხვეადი თუჯის ტრანპორტირება წარმოებს რკინიგზით სპეციალური თუჯსაზიდების მეშვეობით, რომელიც ურიკაზე დადგმულ ცეცხლგამძლე ამონაგით ამოგებულ კონკუსურ ციხებს წაშლოადგენს (ნახ. XI.5). ამონაგის სისქე, ჩვეულებრივ, 230 მმ აღწევს, რომელიც ძირისაკენ რამდენადმე სქელდება. ამონაგსა და ლითონის გარსაცის შორის მოთავსებულია 30 მმ სისქის აზბესტის მუყაო. ამ ტიპის თუჯსაზიდი იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როდესაც ფოლად-



ნახ. XI-5. კონუსური თუჯსაზიდი ციცივი.

საღნობი სააქრო ბრძედი სსაქროსთს ახლოს მდებარეობს. უკიდურეს შემთხვევაში თუჯის ზედაპირზე წარმოიქმნება ლითონის მყარი ქერქი, რომელიც თუჯის გაღმოსხმას ხელს უშლის. ამგვარად, ამ ტიპის თუჯსაზიდებში ხდება სითბოს დიდი დაკარგვა. ამჟამად ძირითადად გამოიყენება მსხლისმაგვარი ფორმის თუჯსაზიდი ციცივები. ასეთ ციცივებში შემცირებულია სითბოს დანაკარგები როგორც კედლებით, ისე გამდნარი ლითონის ზედაპირიდან თბური გამოსხივებით. მათი ტევადობა 100 ტ არ აღემატება, რაც გამოწვეულია რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობის გაბარიტული ზომებით. არსებობს აგრეთვე უფრო დიდი ტევადობის სივარის ფორმის მსგავსი თუჯსაზიდი ციცივები, რომლებიც რკინიგზის ლიანდაგის გასწვრივ არიან წაგრძელებულნი. მათი ტევადობა 200 ტონას აღწევს. ტევადობასთან დაკავშირებით თუჯსაზიდებს შესაძლოა ჰქონდეს 4-იდან 24-მდე თვალი, რადგანაც თითოეულ თვალზე მოსული დატვირთვა დასაშვებს (40 ტ) არ უნდა აღემატებოდეს.

100 ტონიან ციცივებს 2 წყვილი საყრდენი პოკოკიეი აქვს. ასეთი ციცივის გადაყირავება შესაძლებელია ერთი წყვილი პოკოკიეების დგარზე დაყრდნობით. ამ შემთხვევაში ამწის კაფა მოდებულია დაყრდნობილი პოკოკიეების საწინააღმდეგოდ ციცივის ქვედა ნაწილში არსებულ კრონშტეინზე—ბრჯენზე.

100 ტ ზე მეტი ტევადობის ციცივების ამოყირავება სპეციალური ამძრავებით წარმოებს, რომლებიც დამონტაჟებულია უშუალოდ ურიკაზე. დიდი ტევადობის ციცივებში თხევადი თუჯი იოლად ირევა, რის შედეგადაც ხდება მისი ქიმიური შედგენილობის გაერთგვაროვნება. ამგვარად, დიდი ტევადობის ციცივები მიქსერის როლსაც ასრულებს; ამიტომაც ხშირად მათ მიქსერულ ციცივებს უწოდებენ. ასეთი ციცივები უძლებს 500—600 ჩასხმას და ამონაგის რემონტებს შორის პერიოდში გადააქვთ 50000—150000 ტ-მდე თხევადი თუჯი.

თუჯსაზიდ ციცივებისაგან განსხვავებით წიდასაზიდ ციცივებს სრულიად განახვეებული ფორმა აქვს. ისინი კონუსური მოყვანილობისაა, რომლებიც შიგნიდან ცეცხლგამძლე აგურებით არ არიან ამოვებულინი. წიდასათვის ციცივში არაა სავალდებულო მაღალი ტემპერატურების შენარჩუნება. მათი ტე-

ვადობა 8-იდან 16,5 მ²-ს მერყეობს. ისინი მზადდება სხელი თუჯისაგან ან 60—100 მმ ფურცლოვანი ფოლადის შედუღებით. ჩასხმული წილის ტემპერატურა 1500°C-მდე აღწევს ამასთან ციცხვის კედლები სიმაღლესა და სისქეში არათანაბრად ხურდება, რაც იწვევს მის დაბრტყვასა და გაბზარვას, ამ უკანასკნელის წარმოქმნის ინტენსიურ არეს ციცხვის ზემო ზედაპირიდან 500—600 მმ ქვემოთ მყოფი ზონა წარმოადგენს, სადაც შეიმჩნევა ტემპერატურის მკვეთრი ვარდნა მაქსიმუმიდან (600—700°C) მინიმუმამდე. ყოველივე ეს იწვევს ლითონის გარსაცმში დიდი ძაბვების წარმოქმნას. ამიტომ ციცხვის კედლების ინტენსიური გაციეების გასაზრდელად მას მერიდიანულად გარედან უკეთებენ წიბოებს. წილის ციცხვების ამოყირავება ურიკის ღჯანზე დაშრტა-ეხულ ამძრავით წარმოებს.

ციცხვის კედლებთან გამყარებული წილის ქერქისაგან გასასუფთავებლად მას ფართო თავით ამაზუბენ, რომელიც ქვედა ნაწილში მკვეთრად მცირდება (კედლის დახრის კუთხე 20°-ია). მათი ამოყირავების კუთხე 45° შეადგენს.

XII თ ა ე ი

ბრძმედის მუშაობა, მისი რამგულირება და ბმენიქურ-მკონომიქური მამმენებლები

§XII.1. ბრძმედის ამუშავება

ბრძმედის ამუშავება მეტად რთული პროცესია და მასზე დიდად არის დამოკიდებული ღუმლის ნორმალური მუშაობა. სწორედ აქედან იწყება ღუმლის მუშაობის კამბანია, ანუ რემონტიდან რემონტამდე პერიოდი. თანამედროვე ბრძმედების მუშაობის ხანგრძლივობა 10—12 წლით განისაზღვრება. ამჟამად ბრძმედის კაპიტალური რემონტის პერიოდი 28—35 დღე-ღამეს აღწევს, ხოლო მისი ამუშავების დრო კი—10—15 დღე-ღამეა.

ბრძმედის ამუშავებას წინ უსწრებს: ღუმლის ყველა მოწყობილობისა და დანადგარის სათუთად შემოწმება, ღუმლის გამოშრობა, ნეღლი მასალების მომზადება, კაზმის გაანგაჩიშება და ჩატვირთვა.

განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა ჩასატვირთი მოწყობილობების წინასწარ შემოწმებასა და გამოცდას. აუცილებელია, ჩასატვირთი აპარატის კონუსების ცენტრების გულმოდგინედ შემოწმება, რომელზედაც დამოკიდებულია ღუმელში კაზმის თანაბარი განაწილება. იმ შემთხვევაში, თუ კონუსი და ჩასატვირთი აპარატი არაა დაცენტრებული, მაშინ კაზმის არათანაბარი—ცალბნჩივი განაწილება მიმდინარეობს, რის შედეგადაც საგრძნობლად ეცემა ღუმლის მწარმოებლურობა და იზრდება კოქსის ხარჯი.

ბრძმედის გასაღვივებლად ნაქროვან კაზმს ხმარობენ, რაც ხელს უწყობს მათ თანაბარ გახურებასა და პირდაპირი აღდგენის პროცესის სწორად წარმართვას, აგრეთვე აირების კარგ განვლადობას. ამასთან, ჩატვირთული მაღალი ჰიმოური შედგენილობით კარგად უნდა იყოს გასაშუალებული.

გასაღვივებელ კაზმში შემავალი კოქსი უნდა ხასიათდებოდეს მცირე ნაქრია-ნობით, გოგირდისა და ტენის დაბალი შემცველობითა და კარგი მექანიკური სიმტკიცით. კოქსში ნაქრიაანობის მაღალი შემცველობა ხელს უშლის მის აწიღვას, ხოლო მასში გოგირდის დიდი შემცველობა იწვევს მაღალგოგირდიანი თუჯის მიღებას. ამასთან, კოქსის მაღალი ტენიანობა, რომელიც დასაშვე-

ბია ბრძმედის ნორმალური მუშაობის დროს, არასასურველია ბრძმედის გაღვივების კაზში შემავალი კოქსისათვის. კოქსის მალალი ტენიანობა იწვევს ბრძმედის ქვედა ნაწილში წყლის ორთქლის დაშლას, რაც მოითხოვს სითბოს დიდი რაოდენობით შთანთქმას.

კაზმის ჩატვირთვამდე აუცილებელია ლუმის ამონაგის კარგი გამოშრობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში ტემპერატურის სწრაფი აწევა ტენის სწრაფ აორთქლებასა და ამონაგის რღვევას იწვევს.

ახლადაგებული ან კაპიტალური რეონტის შემდეგ ბრძმედის გამოშრობა შესაძლებელია როგორც ხის ნახშირისა და კოქსის წვით, ასევე ბრძმედის აირით ან ცხელი ბერვის მეშვეობით. გამოშრობის პერიოდში ქვინები და მისი მაციერები მოცილებულია და მათი ხერელები, გარდა ერთისა, ამოგებულია აგურებით; ამ ხერელებზე მიეწოდება წვისათვის საჭირო სათბობი და ჰაერი.

გამოშრობისას ლუმელში ტემპერატურის აწევა თანდათანობით მიმდინარეობს; 2,5--3 დღეში აირსადენებში ნაშვნი აირის ტემპერატურა 500°C -მდე უნდა იყოს. ამის შემდგომ ტემპერატურას ისევ თანდათანობით დაბლა წევენ. ამონაგის გამოშრობის ხანგრძლივობა დაახლოებით 6 დღეს შეადგენს.

ბრძმედის გაღვივება დაკავშირებულია სითბოს დიდი რაოდენობით შთანთქმასთან, რაც იწვევს კოქსის 3—4-ჯერ მეტ ხაჯს. თავიდან შთელი სითბო ხმარდება ქურისა და ბრძმედში ჩატვირთული კაზმის გახურებას. ამიტომ გაღვივების კაზმის პირველი ულუფა მხოლოდ კოქსისაგან შედგება. ამის შემდეგ კაზმში მადნის შექცელობას თანდათან ზრდიან და ბოლო კაზმში კოქსის ხარჯი 1,2—1,4 აღწევს.

მხარულისა და ქურის ამონაგის დაზიანების თავიდან აცილებისათვის კაზმის პირველ ულუფებში შეყავთ ბრძმედის წილა. გარდა ამისა, ლორთინი იშვარება წინასწარ დამსხვრეული წილის ფენით, რომლის ზემოთაც კოქსი იტვირთება. ამასთან, მზა წილის ჩატვირთვა აადვილებს კოქსის ნაცრისა და გოგირდის აწილვას.

ლუმის ჩატვირთვა სასურველია ძირითადად 3 ხერხით: ა) ქურის მთელა ნაწილის კოქსით შევსება და ქვინების წინ შევის მცირე ნაწილის მოთავსება; ბ) ქვინებამდე ქურისა შევით შევსება და მის ზემოთ კოქსის ფენის განლაგება; გ) ქურაში მორებისა და ფიცრებისაგან ფიცარნაგის მოწყობა, მასზე შევისა და შემდეგ კოქსის მოთავსება.

პირველი ხერხის შემთხვევაში კოქსის მცირე ნაწილის სწრაფი წვის შედეგად ლუმელში ხშირია კაზმის ჩამოკიდება. ამ დროს ქვინების ზონის ქვედა ნაწილში მოთავსებული კოქსი თითქმის არ იწვის, ამიტომ ეს ხერხი ამჟამად რეკომენდებული არაა.

მეორე ხერხის შემთხვევაში შემა სწრაფად იწვის, რის შედეგადაც თავისუფლდება დიდი მოცულობა და კაზმის დაწევა იოლდება. გარდა ამისა, კაზმის დაწევას ხელს უწყობს, აგრეთვე, შევის წვისმიერი დაბალი ტემპერატურა.

მესამე ხერხიც, როდესაც მასალების ჩატვირთვა სპეციალური ფიცრების ფიცარნაგზე წარმოებს, აგრეთვე ხელს უწყობს ლუმელში კაზმის დაშვებას. ამ შემთხვევაში ფიცარნაგი დროულად იწვის და კაზმის სვეტი სწრაფად ჩამოიშვება ლუმელში.

ქურაში შებერილი გახურებული ჰაერის ტემპერატურა $700\text{--}750^{\circ}\text{C}$ აღ-

წევს. ჩვეულებრივ, ბრძმედის გაღვივებისას შებერილი ჰაერის ხარჯი მისი ნორმალური ბერვის მოცულობის თითქმის ნახევარს შეადგენს. კახმის პირველი დაწვეიდან დაახლოებით 30—45 წუთის შემდეგ წარმოებს შებერილი ჰაერის ნორმალურისაგან 1/4 ან 1/3-ით შევიკარება, რაც ატვირთულია დაშვებული საკაზმე მასალების თ.ნაზარი გახურებისათვის. შემდგომ, ყოველ 6 საათში შებერილი ჰაერის რაოდენობას 50 მ³-ით ზრდიან. თუ ბრძმედის გაღვივება თანაბრად მიმდინარეობს, მაშინ ჰაერის ხარჯის ზრდა იმ ანკარიშით წარმოებს, რომ 4—5 დღე ღამის შემდეგ დაყვანილ იქნეს ნორმალურადღე.

წიდის პირველი გამოშვება ბრძმედის გაღვივებიდან 15—20 საათის შემდეგ ხდება, ხოლო თუჯის გამოშვება კი 24 საათის შემდეგ.

ჩვეულებრივ, პირველი გამოშვება იძლევა თუჯის მცირე რაოდენობას, რომელშიცაღ გოგირდის დიდი შემცველობაა

§ XII.2. ბრძმედული პროცესის წარმართვა და კონტროლი

ბრძმედული პროცესი განისაზღვრება მისი გახურებით და საკაზმე მასალების სვეტის დაშვების ხასიათით. ბრძმედული პროცესის ნორმალურ მიმდინარეობას წარმოადგენს მღოვრე შეუფერხებელი და თანაბარი დაშვება. მაგრამ ხშირად კახმის დაშვება არათანაბარია, რომლის დროსაც ხდება კახმის მოძრაობის შეუკონება და შემდგომ მისი ჩამოწოლა. ღუმლის ასეთ სვლას „ძნელი“ სვლა ეწოდება და შესაძლოა მოხდეს კახმის „ჩამოკიდება“. ეს უკანასკნელი დიდად არის დამოკიდებული საკაზმე მასალების ფიზიკურ მდგომარეობასა და თვით კახმის კიმიური შემცველობის ერთგვარობაზე. ამასთან კახმის მასალების ნაჭროვნება (მტერსა და ნაჭრებს შორის ფარდობა), ფხვიერობა, საკერძეუ კახმის განაწილება, წიდის ღონე და სხვ.—მოქმედებს ბრძმედული პროცესის ნორმალურ მიმდინარეობაზე. ყოველივე აღნიშნულიდან ჩანს რომ ბრძმედული პროცესი ძნელად ექვემდებარება თვითრეგულირებას და მოითხოვს მომსახურე პერსონალის განუწყვეტელ ყურადღებას.

თანამედროვე ბრძმედული პროცესის მიმდინარეობა უწყვეტად კონტროლირდება საზომ-საკონტროლო აპარატურით.

თხევადი თუჯისა და წიდის ვიზუალური დაკვირვებით შესაძლოა ვიმსჯელოთ ბრძმედის მუშაობის თბურ მდგომარეობაზე. ამასთან, თუჯში სილიციუმის, წიდაში მანგანუმისა და რკინის ქვეყანგების შემცველობა წარმოადგენს ბრძმედის მუშაობის ძირითად მაჩვენებლებს. თუჯში სილიციუმის შემცველობის საგრძნობი ზრდა მოწმობს დაჰატებით სითბოს გამოყოფის შედეგად ღუმლის საკმაოდ გახურებას. გამოცდილ მებრძმედეს საკმაოდ მიახლოებულად შეუძლია თხევად თუჯში სილიციუმის შემცველობის განსაზღვრა. ამის უტყუარ მაჩვენებელს ნაპერწყლების რაოდენობა წარმოადგენს, რომელიც თხევადი თუჯის ღარზე დინების დროს გამოიყოფა: რაც მეტია და წერილია ნაპერწყლების რაოდენობა, ვით ნაკლებია თუჯში სილიციუმის შემცველობა, თუჯში სილიციუმის ზრდა იწვევს ნაპერწყლების გამსხვილებას და მისი რაოდენობის შემცირებას; სილიციუმის 3% ზე მეტი შემცველობა საერთოდ აქრობს ნაპერწყლების წარმოქმნას.

გარდა სილიციუმისა, შესაძლოა ვიზუალურად მიახლოებით განესაზღვროთ თუჯში გოგირდისა და მანგანუმის შემცველობა; თუ მანგანუმის შემცველობა 1,5% აღემატება, მაშინ თხევადი ლითონის ქაულის ზედაპირზე დრო. დადრო მოცისფერი ალი წარმოიქმნება, ხოლო თუ გოგირდის შემცველობა

0,07%/გ-ია, მაშინ თხევადი ლითონის ზედაპირი ერთგვარი დამახასიათებელი ლაქებით, ე. წ. „ქონით“ დაიფარება.

ლუმლის ცივად მუშაობის შემთხვევაში მანგანუმისა და რკინის ქვეყან-გების აღდგენა გაცილებით შენელებულია და მით უფრო მეტი რაოდენობით რჩება წიდაში, რაც უფრო დაბალია ლუმლის ტემპერატურა. გარდა ამისა, გამყარებული წილის ფერი მეტი წითელი ფერისაა; ამასთან, გამოშვებული წი-და ღარზე აირებს არ გამოყოფს და სწრაფად ცივდება. ლუმლის ნორმალუ-რი სვლის შემთხვევაში გამოშვებული წიდიდან გამოიყოფა აირების დიდი რაოდენობა.

ბრძმედის ცხელი მუშაობის ღროს სილიციუმის აღდგენა და წილის ფუ-ძიანობა იზრდება.

ქვინების კისკაშა ნათება ბრძმედში ლუმლის ე. წ. „ცხელ სვლას“ მოწ-მობს, ხოლო მისი გამუქება — „ცივ სვლას“. ცხელი სვლის შემთხვევაში ლუმელ-ში ქვინების ბოლოს გავარყვარებული კოქსის ნაქრების მოძიობა შეინიშნება, ხოლო ცივი სვლას შემთხვევაში დროდადრო შეინიშნება გაუმდნარი მასალე-ბის სქელი ცომისებრი მასა.

ბრძმედული პროცესის მიმდინარეობის ე. წ. თვალთ კონტროლი, რომ-ლითაც შერძმედები მრავალი ათეული წლების განსჯელობაში სარგებლობდ-ნენ, ამჟამადაც გამოიყენება პრაქტიკაში.

მიუხედავად ამისა, პროცესის რეგულირებისათვის ეს მეთოდები მიუღე-ბელია, რადგანაც ს. ქვე გვაქვს უკვე მომხდარ ცვლილებებთან. რითა დროუ-ლად იქნეს აცილებული პროცესის მიმდინარეობის დროს სერიოზული ცვლი-ლებები, საჭიროა ამ გარდაქმნების დასაწყისშივე იქნეს მიღებული შესაბამისი სიგნალი. ეს უკანასკნელი თანამედროვე საკონტროლო-საზომ ხელსაწყოების მეშვეობით ხორციელდება, რომლებიც აწარმოებენ ყოველი ცვლილებების ჩასახვის რეგისტრაციას.

ასეთი ხელსაწყოებიდან ყველაზე დიდი გამოყენება და გავრცელება პო-ვა თვითმწერმა, რომლას მეშვეობითაც ჩაწერილი დიაგრამები ასახავს ბრძმე-დული პროცესის ნორმალური მიმდინარეობიდან ყოველ გადახრას და გვაძ-ლევს ღონისძიებების დროულად მიღების საშუალებას. ასე, მაგალითად, ამ ხელსაწყოების მეშვეობით წარმოებს ცხელი ბერკის წნევისა და რაოდენობის, საკერძე აირის წნევისა და ტემპერატურის, ჩატივროვის ღონის, აირგაჟყვანე-ბისა და ბრძმედის ამონაგის ტემპერატურის, საკერძე აირის შედგენილობისა და სხვ. რეგისტრირება.

§ XII.3. ბრძმედული პროცესის ავტომატიზაცია

თანამედროვე ბრძმედული პროცესის ოპერაციებიდან ავტომატიზებულია საკაზმე მასალების ჩატვირთვა და ჰაერმახერებლების ხურება.

ამჟამად მთლიანად ავტომატიზებულია კაზმის დოზირება, მისი აწონვა და ჩატვირთვა. ბუნეკრიდან სკიპამდე საკაზმე მასალების ტრანსპორტირება, მისი ძაბრებში მიწოდება, საწონი თაურებისა და ყველა მექანიზმების მოქმე-დება ჩატვირთვის პროგრამის ავტომატიურ საკომანდო კონტროლერს ექვემ-დებარება.

ავტომატიზებულია აგლომერატის მწოდებაც: ლენტური კონვეიერო მას შემდეგ იწყებს მუშაობას, როცა გადასაკიდი შიბერი სასურველ საწონ ძაბ-რისკენ იქნება მიმართული და ძაბრის ქვედა საკეტი დაკეტილი იქნება; აგ-

რეთვე, როცა ძაბრში ჩატვირთული ავლომერატი ვარკვეულ მასას მიაღწევს ამ დროისათვის ტრანსპორტირი და ხეიმირების მკვებავი ჩერდება და ამის შემდეგ სკიპას ასაყსებად იღება საწოხი ძაბრის ფარი. სრულიად ავტომატიზებულია აგრეთვე ხეიმირებიდან საწონ ძაბრამდე კოქსის შერჩევა და მიწოდება, კოქსის წერტილი ფრაქციების გაცრა, მისი აწონვა და მასის რეგისტრირება; გარდა აღნიშნულისა, ავტომატიზებულია ბრძმედში კაზმის ჩასატვირთავე მანქანებისა და მექანიზმების მუშაობა.

საკომანდო კონტროლერი აწარმოებს პროგრამით კაზმის კომპონენტების ჩატვირთვის თანამიმდევრობას და კონტროლს, სკიპების მოძრაობას, გამაწონასწორებელი სარქველების გაღებას, დიდი და მცირე კონუსების ჩაშვებასა და ბრუნვას.

როგორც აღინიშნა, ბრძმედის საამქროში ავტომატიზებულია შესაბერო ჰაერის ხერება, სახურებელი აპარატების გადართვა და მასში აირის წვა. კაუპერების თალის ტემპერატურის მიხედვით წარმოებს აირისა და ჰაერის ხარჯის ავტომატური რეგულირება. ჰაერისახურებლებში წყობის ტემპერატურის დაბლა დაწევასთან, ანუ ჰაერის ტემპერატურის ვარდნასთან ერთად, მცირდება მასში ცივი ჰაერის მიწოდება. კაუპერების სარქველების გადართვა „აქრიდან—აირზე“ დროის რეღეს მეშვეობით ხორციელდება. ამჟამად მთლიანად ავტომატიზებულია თვითოეულ კმინზე მიწოდებული ცხელი ჰაერის ხარჯი, გამოშვებული თუჯის ტემპერატურის კონტროლი, ქურაში უშუალოდ კმინებთან საწვავის წვის ტემპერატურა და სხვ. ამასთან, მიმდინარეობს ბრძმედის აირის შედგენილობის უწყვეტი კონტროლი, რომლის მეშვეობითაც წარმოებს აირისა და საწვავის ხარჯის რეგულირება, რითაც ხორციელდება ბრძმედის თბუჟი პროცესის რეგულირება და ა. შ.

§ XII.4. ბრძმედის ჩაძრობა და ჩაწონბი

დროთა განმავლობაში მიმდინარეობს ბრძმედის ყველა ნაწილის ბუნებრივი ცვეთა. ასე, მაგალითად, იცეითება ამონაჯი, ჩასატვირთი აპარატი, კმინები, კაუპერის ამონაჯი და კვანძები, დამზარე მოწყობილობებისა და დანადგარების ნაწილები და სხვ. ვანსაკუთარებათ დიდი ყურადღება ექცევა ბრძმედის ამონაჯის ცვეთას; თუ მისი ცვეთის შედეგად შეიცვალა ბრძმედის პროფილი, რაც კმნის თუჯის გამოხეტიკის საშიშროებას, საპირო ხდება ბრძმედის კაპიტალური რემონტი. შეუძლებელია აგრეთვე გაკვეთილ დანადგარ-მოწყობილობაზე მუშაობაც, რაც კმნის ავარიის წარმოქმნის საფრთხეს. ყოველივე ამის გამო ზოგჯერ წარმოებს ბრძმედის რემონტისათვის გაჩერება.

თანამედროვე პრაქტიკაში თავისი ხანგრძლიობისა და ხასიათის მიხედვით ბრძმედის რემონტი კლასიფიცირდება შემდეგნაირად: გეგმით გათვალისწინებული, საშუალო და კაპიტალური.

გეგმით გათვალისწინებული რემონტის ხანგრძლიეობა შეადგენს 12—16 საათს ან რამდენიმე დღე-ღამეს. იგი მოიცავს ისეთ სამუშაოებს, როგორცაა სკიპური ჩამტვირთავე მოწყობილობის რევიზია, სკიპების, მცირე კონუსის, მხარულას პორიზონტალური მაცივრების, ჰაერმინწოდებელი მუხლების შეცვლასა და სხვ.

საშუალო რემონტი მიმდინარეობს რამდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში. იგი შეიცავს შახტის ამონაჯის აღდგენას, შახტის და მხარულას პორიზონტა-

ლერი მაცივრების მთლიან გამოცვლას, საკაზმის დამცველი ფილების შეცვლას, ჩაბტიერთავე აპარატის, საბაგირო შიკვებისა და სხვა კვანძების განკველასა და ა. შ.

კაპიტალური რემონტი გრძელდება რამდენიმე კვირას ან ორი-სამი თვის განმავლობაში. იგი მოიცავს ლუმლის ამონაგისა და მისი ძირითადი კვანძების მთლიან ან ნაწილობრივ შეცვლას, ან ზღვანას. ამისათვის აუცილებელია ბრძანების ჩაქრობა, რომლის დროსაც ბრძანების სამუშაო არე უნდა განთავისუფლდეს თუჯისა და საკაზმე მასალებისაგან.

თავის მხრივ, კაპიტალური რემონტი შესაძლებელია დაიყოს შემდეგ კატეგორიებად: 1. ჩვეულებრივი—ამონაგის სრული გამოცვლით; 2. კაპიტალურ-აღდგენითი, რომლის დროსაც, გარდა ამონაგისა, წარმოებს ლუმლის ჯაფშნისა და ზოგიერთი ცალკეული კვანძების ნაწილობრივი ან მთლიანი შეცვლა; 3. ლუმლის რეკონსტრუქცია, რაც გამოწვეულია მისი მოცულობის გაზრდის მიზნით.

ამგვარად, ლუმლის ჩაქრობა მხოლოდ კაპიტალური რემონტის შემთხვევაში ხდება. ამ დროისათვის, რამდენიმე თვით ადრე ლუმელი გადაწყავთ სპეციალური ხარისხის თუჯის გამოდნობაზე. მაგალითად, ფეროსილიციუმისა და ფერომანგანუმის გამოდნობაზე. ეს უკანასკნელი მოითხოვს მაღალ ტემპერატურას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ბრძანების ამონაგზე.

არსებობს ბრძანების ჩაქრობის რამდენიმე მეთოდი, რომლის დროსაც საკერძის ტემპერატურის დასაწევად ისეთ ინერტულ მასალებს ხმარობენ, როგორცაა კირქვა და სველი კოქსი. ბოლო წლებში დიდი გავრცელება პოვა ბრძანების ჩაქრობის მეოოდმა, რომლის დროსაც ლუმელს სამუშაო არეში წყლის დიდი რაოდენობა მიეწოდება. აორთქლებული წყალი იკლის დიდი რაოდენობის სითბოს. ამის შედეგად ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა. წყალი ჩაბტიერთავე აპარატის შეშვებით მიეწოდება. ამასთან კაზმს რაც შეიძლება დაბლა უშვებენ, რათა შეამცირონ დრო გაუმდნარი კაზმის მოცილებაზე.

წყლის მიწოდება იმ ანგარიშით წარმოებს, რომ საკერძეზე ტემპერატურა 60 ალმატებოდეს 450—500°C. ამასთან, წყლის დიდი რაოდენობით მიწოდება იწვევს კაზმის ზედაპირზე მის დაგროვებას; კაზმის დაშვების შედეგად მაღალი ტემპერატურის ზონაში წყლის მოხედრამ შესაძლოა აფეთქება გამოიწვიოს. ბრძანების ჩაქრობის პროცესში კაზმის დაწვეასთან ერთად ჰაერის მიწოდება თანდათან შეიძლება. როდესაც დაშვებული კაზმის დონე დაახლოებით ქმინების დონეს მიაღწევს, ჰაერის მიწოდება სრულიად წყდება.

ჩაქრობის პროცესში თუჯისა და წიდის გამოშვება ჩვეულებრივი მეთოდითა და მიმდევრობით წარმოებს. თუჯის ბოლო ნაწილს უშვებენ უშუალოდ ჰაერის სრული შეწვეტის მომენტში. თხევადი თუჯის ნაწილი ლორფინზე წარმოქმნილ ორმოში რჩება, რომელიც არსებული ხვრელის საშუალებით აღარ გამოიშვება. ამისათვის ლორფინში, თუჯის გამოსაშვებ ხვრელის 3—4 მით ქვევით, კრიან დამატებით ხვრელს. თუჯის მთლიანად გამოშვების შემდეგ ქმინებსა და საქმინებს სწრაფად ხსნიან, საიდანაც წარმოებს წყლის წნეით მიწოდება.

ჩაქრობის შედეგად დარჩენილი თხევადი თუჯის გამყარება ხირის (ნალგენთი) წარმოქმნას იწვევს, რომლის წონაც 200-დან 1000 ტ-მდე მერყეობს. მისი ლუმლიდან მოცილება, თავისთავად, დიდ დროსა და ხარჯს მოითხოვს.

§XII 5. საბრძმედ სანამტროს წყლითა და ორთქლით მომარაგება

საბრძმედ სანამტროში წყლის ხარჯი 1 ტ თუჯის განოდნობაზე დაახლოებით 30 მ³-ს შეადგენს. მისი 60—65% ბრძმედის გაცივებაზე მოდის, ხოლო 20—30% — ბრძმედის აერის გაწმენდაზე. დანარჩენი — წილის გრანულაციასა, თუჯის ჩამოსხმასა და საკერძე მტერის დანოტივებაზე.

ამ მიზნით იგება სპეციალური სატუმბო სადგურები, რომელთა ელექტრომომარაგება ორ სრულიად დამოუკიდებელ კვების წყაროებით ხორციელდება. გარდა ამისა, აღნიშნულ სადგურებში მონტაჟდება ორთქლის ტურბინებიანი ამტრავებით დამატებითი სარეზერვუო ტუმბოები. ელექტროტუმბოების გამორთვის შემთხვევაში წარმოებს ორთქლისამტრავიანი ტუმბოების ავტომატური ჩართვა.

საბრძმედ სანამტროს წყალი რამდენიმე წყალსატარი მიეწოდება, რომელთაგანაც ერთი ან ორი მათგანი რეზერვში იმყოფება. წყალსატარები გაყვანილია სპეციალურ გვირაბებში. მთავარ წყალსატარიდან გამოედინება განშტოებები წყლის მომხმარებლის, ბრძმედის, აირწმენდის, საჩამოსხმო მანქანებისა და საგრანულაციო აუზებისაკენ. ბრძმედში წყალი წნევით მიეწოდება. ანსხვავებენ წყლის საშუალო 352—588 კნ/მ² (4—6 ატ) და მაღალ 689—980 კნ/მ² (7—10 ატ) წნევას. ზოგიერთ ბრძმედში ქვინების ზონას აცივებენ წყლის ინდივიდუალური კვების წყაროთი 9.8—19.6 კნ/მ² (0,1—0,2 ატ) წნევით. მაღალი წნევას წყალი გამოიყენება ბრძმედის მაცივების პერიოდული გამორეცხვისათვისაც. მექანიკური შინეარებისაგან გასუფთავების მიზნით ძირითად წყალსატარების მილდგარებში ორკამერულ ფილტრებს აყენებენ. ფილტრები წარმოადგენს სქმელი თუჯის კორპუსს, რომელშიც მოთავსებულია სარქვლები, სახურავები და ლითონური ცხურები. მათ აქვთ ორი კამერა, რომლებიც პერიოდულად ზუშაონენ.

ჩვეულებრივ, თანამედროვე მეტალურგიულ ქარხნებში გამოიყენება წყლით მომარაგების შეკრული ციკლი: გამოყენებული სუფთა წყალი ცივდება სპეციალურ საშხფერის ან შხფესაცივების მეშვეობით. ქუქყიანი წყალი სუფთავდება მექანიკურ რაღილურ სალექებში.

საბრძმედ სანამტროში ორთქლი იხარჯება შესაბერი პაერის დასანოტივებლად, ასაფეთქებლად საშიშ მოცულობების შესავსებად, კონუსის შტანგებისა და ჩატერითული კაზმის დონის საზომი ზონდების შესამქიდროებლად და ცალკეული ნავებობებისა და ოთახების გასათბობლად. ორთქლის ხარჯი საბრძმედ სანამტროში 1 ტ გამოდნობილ თუჯზე 60—170 კგ-ს შეადგენს. ორთქლი სანამტრომდე ცალკე ტრასით მიყავთ, რომელიც თბოსანიზოლაციო მასალით არის დაფარული. ორთქლის წნევა 784 კნ/მ² (8 ატ) ნაკლები არ უნდა იყოს.

§XII.6. ბრძმედული დნობის ტემპიურ-ქოლოგიური მაჩვენებლები

ბრძმედის მუშაობის ძირითად მაჩვენებლებს წარმოადგენს: 1. ლუმლის სასარგებლო მოცულობის გამოყენების კოეფიციენტი; 2. კოქსის წვის მოცულობითი ინტენსიურობა; 3. ლუმელში კაზმის დაყოვნების ხანგრძლივობა; 4. კოქსის ფარდობითი ხარჯი; 5. ლუმლის მოცდენა; 6. თუჯის თვითღირებულება.

ბრძმედის სასარგებლო მოცულობის გამოყენების კოეფიციენტი (K_p)

წარმოადგენს სასარგებლო მოცულობის (V_6) მწარმოებლურობასთან (T) ფორ-
ლობას

$$K_3 = \frac{V_6}{T}, \text{ მ}^3 \text{ დღე-ღამე/ტ. თუჯი.} \quad (\text{XII.1})$$

რაც კარგად მუშაობს ბრძმედი, მით უფრო დაბალია აბსოლუტური მნიშვნელობა. მისი სიდიდით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ბრძმედის სამუშაო სა-
დღეღამისო მწარმოებლურობის შესახებ. რადგანაც ბრძმედის სადღეღამისო
მწარმოებლურობის მნიშვნელობა მერყევი, ამიტომ K_3 იანგარიშება თვიური
მწარმოებლურობის შეფარდებით დღე-ღამის კალენდარულ რიცხვთან (ღუმლის
არაგეგმიური გაცდენის გათვალისწინებითაც). ამჟამად თანამედროვე ბრძმე-
დების $K_3 \approx 0,6$.

კოქსის წვის მოცულობითი ინტენსიურობით ხასიათდება ბრძმედული
დნობის ინტენსიურობა და იანგარიშება ფორმულით

$$I = \frac{K}{V_6}, \text{ ტ/მ}^3 \text{ დღე-ღამე,} \quad (\text{XII.2})$$

სადაც K —კოქსის დღე-ღამური ხარჯია (ტ), I -ს მნიშვნელობა დღე-ღამეში
0,95—1,25 ტ/მ³ საზღვრებში მერყეობს.

ბრძმედული დნობის ინტენსიურობაზე მსჯელობენ ღუმელში მასალების
იჩნეობის ხანგრძლივობის მიხედვით და იანგარიშება აკად. მ. პავლოვის
ფორმულით

$$t = \frac{24 V_6}{T v}, \quad (\text{XII.3})$$

სადაც t არის საკაზმე მასალების ღუმელში დაყოვნების დრო (სთ); v —ღუ-
მელში 1 ტ გამოდნობილ თუჯზე მოსული საკაზმე მასალების მოცულობა
(მ³).

ღუმელში მასალების დაყოვნების დრო 6,0—6,5 საათს შეადგენს. რაც
უფრო ნაკლებია ეს დრო, მით უფრო ინტენსიურია ღუმლის მუშაობა.

კოქსის ხედიერთი ხარჯი, რომელიც წარმოადგენს გამოდნობილი თუ-
ჯის თვითღირებულების დაახლოებით ნახევარს, განსაზღვრავს ღუმლის მუ-
შაობის ეკონომიურობას. გარდა ამისა, კოქსის ხარჯზე დამოკიდებულია ღუმ-
ლის მწარმოებლურობაც. მოცემულ შებერილი ჰაერის რაოდენობაზე რაც და-
ბალია კოქსის ფარდობითი ხარჯი, მით მეტია დროის ერთეულში გადნობი-
ლი კაზმის რაოდენობა და ღუმლის მწარმოებლურობა. თანამედროვე ბრძმე-
დებში 1 ტ გამოდნობილ თუჯზე კოქსის ხარჯი საშუალოდ 0,5—0,55 ტ-ს
შეადგენს.

ბრძმედის მოცდენა დაბლა წევს მის მწარმოებლურობას. ამჟამად ჩვენს
ქვეყანაში ბრძმედის მოცდენის დრო კალენდარული დროის 0,86% შეადგენს,
ხოლო შოწინავე ქარხნებში—0,3—0,4%-ის ფარგლებშია.

ბრძმედის მუშაობის ეკონომიკური შარჩენებლების შეფასებისა და ანა-
ლიზისათვის დგება თუჯის თვითღირებულების კალკულაცია. თუჯის თვით-
ღირებულება ჯამდება შემდეგი მონაცემებით: 1. რკინამადნური მასალების,
ფლუსისა და სათბობის ხარჯი საწარმოო ნარჩენების გამოკლებით (ჯართო,
საკერძე მტვერი); 2. გადამუშავების ხარჯები (ენერგეტიკული დანახარჯები
ძირითად საშუალებათა ამორტიზაცია, საწარმოო მუშების ხელფასი, მიმდინა-

რე რემონტების ღირებულება, თუჯის ჩამოსხმის ღირებულება, წილის გამოტანის ღირებულება და სხვ.); 3. საერთო-საქარხნო ხარჯები (სამართავი აპარატის შენახვის ხარჯები, საამქროების მომსახურება და სხვ.).

თვითღირებულების ცალკეულ მაჩვენებლის მიხედვით ხარჯი პროცენტობით შემდეგია:

| | |
|--------------------------------|-----|
| ნედლი მასალები | 42 |
| ტექნოლოგიური სათბობი | 50 |
| ხელფასი | 1,5 |
| ამორტიზაცია | 1,5 |
| სხვა დანახარჯები | 5,0 |

როგორც ვხედავთ, თუჯის თვითღირებულებაში დანახარჯების თითქმის 90% ნედლ მასალებსა და სათბობზე მოდის. ამიტომ კოქსის ხარჯისა და საკერძე მტვერზე დანაკარგების შემცირება წარმოადგენს თუჯის თვითღირებულების შემცირების მნიშვნელოვან რეზერვს. გარდა აღნიშნულისა, თუჯის თვითღირებულების შემცირების მნიშვნელოვან რეზერვს შრომის ნაყოფიერება წარმოადგენს. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება საამქროს ერთ მუშაზე მოსულ გამოდნობილ თუჯის რაოდენობით (ტონობით). რაც უფრო მეტია თუჯის გამოდნობა, ხოლო ნაკლებია მუშათა რაოდენობა, მით უფრო მაღალია შრომის ნაყოფიერება.

გავნიხილოთ ტექნიკურ-ეკონომიკური მონაცემების შედგენის პრინციპები.

§XII.7. კოქსის ხარჯის განსაზღვრა

ვ. ვოსკობოინიკოვმა შემოგვთავაზა სხვებთან შედარებით კოქსის ხარჯის გაანგარიშების მარტივი მეთოდი. ანგარიშისათვის მხედველობაში მიიღება კაზმის სიმდიდრე, შებერილი ჰაერის ტემპერატურა და სხვ., რომლებიც გავლენას ახდენს კოქსის ხარჯზე.

სხვადასხვა ფაქტორების მნიშვნელობანი, რომლებიც კოქსის ხარჯის ცვლილებაზე მოქმედებენ, შემდეგია:

| | |
|--|----------------------------|
| კოქსის ეკონომიაზე ნოქმედი ფაქტორები | კოქსის ეკონომია |
| კაზმი 1%-ით რკინის შემცველობის აწევა | $a = 1,5 \div 3,0$; |
| 700 ÷ 900°C-ს ზევით შებერილი ჰაერის 100°C-ით აწევა | $b = 1,5 \div 5,0$; |
| 1 მ ³ ბუნებრივი აირის შებურვა | $c = 0,15 \div 0,2$; |
| 0,3%-მდე რკინის მადნის გასაშუალება | $d = 0,7 \div 1,0$; |
| 10%-მდე კაზმის მეტალიზაცია | $e = 5 \div 8$; |
| კაზმში 100 კგ კირქვის შემცირება (დაფლუსული აგლომერატის გაჰოყენება) | $f = 3 \div 5$; |
| თუჯში მანგანუმის 1%-ით შემცირება | $g = 2 \div 3$; |
| კოქსის ხარჯის ზრდაზე მოქმედი ფაქტორები | კოქსის დამატებითი ხარჯი, % |

კოქსში შემავალ ნივთიერებათა გაზრდა

| | |
|--|----------------------|
| ნაცრისა 1%-ით | $h = 1 \div 1,2$; |
| გოგირდისა 0,1%-ით | $k = 0,8 \div 1,5$; |
| თუჯში 1%-ით სილიციუმის გაზრდა | $l = 5 \div 15$; |
| თუჯში 0,01%-ით გოგირდის შემცირება | $m = 1 \div 5$; |
| მადანში ან აგლომერატში წყრილი ფრაქციების (≤3 მმ) 10%-ით გაზრდა | $n = 4 \div 7$. |

თანამედროვე ბრძმედში აირების მალალი წნევეებისა და დაფლუსული კაზმის გამოყენებით, აგრეთვე მცირემანგანუმიანი თუჯის გამოდნობის შედეგად *f* და *g*-ს სიდიდეები მთლიანადაა გამოყენებული. ბუნებრივი აირის ეფექტურობა განისაზღვრება კოქსის შეცვლის კოეფიციენტით, რომელიც 1 ხ³ აირზე 0,7—0,9 კგ მოდის.

ლუმლის კარგი მუშაობის პირობებისათვის ახლო პერსპექტივაში მიღებულია *a*, *b*, ..., *n* კოეფიციენტების შემდეგი მნიშვნელობანი: *a*=2; *b*=2; *l*=-10; *m*=2; *k*=2; *h*=1 და *n*=5.

კოქსის ჩანაცვლების კოეფიციენტი მიღებულია 0,8 ტოლად, ხოლო *e*=5—8 (ხედა მნიშვნელობა ეკუთვნის ბრძმედის სპეციალურ კოზბინირებულ მუშაობას).

ამ პირობებისათვის მივიღებთ:

$$K_g = 510 + 5,1 [2 \cdot (60 - Fe_{კოქს}) + 0,02(1000 - t_b) + 10(Si - 0,7) + 200(0,03 - S) + 10(S_p - 0,6) + (A_p - 10) + 0,5(B_F - 15)] + 0,8(80 - P_a) - (0,5 \div 0,8) \eta_a \cdot 5,1.$$

ამ განტოლების ამოხსნა გვაქლევს კოქსის ხარჯის საანგარიშო მარტივ ფორმულას

$$K = 1150 + 50(Si + S_p) + 5A_p + 2,5B_F - 10Fe_{კოქს} - 0,1 t_b - 1000S - 0,8 P_a - (2,6 \div 4,1) \eta_a.$$

§ XII.8. ბრძმედული დნობის მატერიალური და თბური ბალანსი

ბრძმედული დნობის მატერიალური ბალანსის შესადგენად გამოიყენება საკერძე აირისა და შებერილი ჰაერის გაანგარიშების მონაცემები. მაგალითისათვის XII.1 ტბრძმედში წარმოდგენილია ბრძმედული დნობის მატერიალური ბალანსი.

ტ ბ რ ი ლ ი 711 1

ბრძმედული დნობის მატერიალური ბალანსი

| შემოსულისა, კგ | მიღებულია, კგ |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| ივლა-ურბი 1130,0 | თუჯი 1000,0 |
| გუნდები 615,0 | წილა 420,0 |
| კოქსი 480,5 | მზრალი აირი 2461,0 |
| შებრილი ჰაერი 1700,0 | ტბნი და მტყერი 73,0 |
| ბუნებრივი აირი 95,2 | ილდგენის პროცესით ტბნი 67,0 |
| სულ 4021,0 | სულ 4021,0 |

მატერიალური ბალანსისა, კიმიური რეაქციების თბური ეფექტებისა, თუჯისა და წილის ენტალპიებისა და გირემომცველ სივრცეში სითბოს დანაკარგების მონაცემების მიხედვით შესაძლოა გაანგარიშებულ იქნეს ბრძმედული დნობის თბური ბალანსი. XII.2 ტბრძმედში წარმოდგენილია 1 კგ გადასამუშავებული თუჯის ბრძმედული დნობის თბური ბალანსის ძირითადი სტატები.

თბური ბალანსის მონაცემების მიხედვით გაიანგაზრება ბრძმედის ისეთი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები, როგორცაა სითბოს მარაგი, ქნედების კოეფიციენტი (*K_ა*) და ლუმელში ნახირბადის გამოყენების კოეფიციენტი (*K_კ*).

1 კვ გადასამუშავებელი თუჯის ბრძმედული დნობის თხურა
ბალანსის ძირითადი მაჩვენებლები

| მაჩვენებლის №№ | ბალანსის მაჩვენებლები | სითბოს რაოდენობა | | |
|--------------------------|---|--------------------|------------------|--------------|
| | | კვ | კკლ | % |
| <u>სითბოს შემოსავალი</u> | | | | |
| 1 | ნახშირბადის წვრი | 8370—10470 | 2000—2500 | 65—70 |
| 2 | ვახურებული ჰაერით | 2300—3770 | 550—910 | 20—25 |
| 3 | წყალბადის დაჯანგვით | 810—1260 | 200—300 | 6—9 |
| 4 | წილის წარმოქმნით | 40—120 | 10—30 | 0.4—0.6 |
| სულ | | 11300—14230 | 2700—3100 | 100.0 |
| <u>სითბოს ხარჯი</u> | | | | |
| 1 | ქანკულების დისოციაციაზე | 6230—6900 | 1500—1650 | 48—55 |
| 2 | კარბონატების " | 0—42 | 1—100 | 0—3 |
| 3 | ბუნებრივი აირის დაშლაზე | 0.0—420 | 0—100 | 0—3 |
| 4 | თუჯით გადატანა | 111.0—1210 | 270—280 | 9—12 |
| 5 | წრლით " | 540—1340 | 260—320 | 7—9 |
| 6 | შებრლიი ჰაერის ტენის დაშლაზე | 80—250 | 90—80 | 1.7—2 |
| 7 | ტენის აორთქლებ.ზე | 40—120 | 10—30 | 0.3—1 |
| 8 | ბრძმედის აირითა და მჭურით გატანა | 1340—1670 | 320—400 | 12—13 |
| 9 | მათემატიკური წყლით გარემომცველ გარემოში დანაკარგები | 880—1460 | 210—350 | 7—10 |
| სულ | | 11300—14230 | 2700—3100 | 100.0 |

K_2 -ის განსაზღვრისათვის ბალანსის მთლიან ჯამს, რომელიც 100%-ის ტოლია, აკლდება ბრძმედის აირის, მტერისა და მათემატიკური წყლის მიერ სითბოს დანაკარგები, გარდა ამისა, გარემომცველ გარემოში გაცემული სითბოს რაოდენობა. ჩვეულებრივ გადასამუშავებელი თუჯის გამოღობისას $K_2 = 78—87\%$. მისი მაღალი მნიშვნელობა მოწმობს ბრძმედში სითბოს უკეთ გამოყენებას.

K_3 -ის მნიშვნელობა წარმოადგენს ნახშირბადის CO და CO₂-ად დაქანგვის პროცესში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ფარდობას სითბოს იმ რაოდენობასთან, რომელიც გამოიყოფოდა ნახშირბადის მხოლოდ CO₂-ად დაქანგვის პროცესში. ჩვეულებრივ, $K_3 = 0.45—0.6$.

§ XII-9. ბრძმედული წარმოების მანქანათმშენებლის კონსტრუქციები

შიტხელდავად იმისა, რომ აქვეყნად თუჯის წარმოებაში ძირითადად გავრცელებულია ბრძმედული პროცესი, მას გააჩნია რიგი უპროსტითი თვისებები; ასე, მაგალითად, ბრძმედში სათბობის წვის საბოლოო პროდუქტს ნახშირბადი წარმოადგენს, ე. ი. მიმდინარეობს სათბობის არაარტული წვა. ამის შედეგად არ ხდება სათბობის წვის სითბოს სრულყოფილი გამოყენება. გარდა ამისა, არსებით ნაკლოვანებას წარმოადგენს ძვირადღირებული სათბობის-კოქსის გამოყენება, რომლის მისაღებად საჭიროა საკოქსე ქვანახშირი. ამჟამად

უკვე ზოგიერთ რაიონებში იგრძნობა საკოქსე ქვანახშირის უკმარისობა. ახლო მოწავალში კოქსის დეფიციტი უფრო საგრძნობლად გაიზრდება, რაც უარყოფითად იმოქმედებს შავი მეტალურგიის განვითარებაზე.

შიუხედავად ამისა ახლო მოწავალში ბრძმედელი პროცესი უფრო მეტად განვითარდება. მისი განვითარების ძირითადი მიმართულებებია: დნობისათვის ნედლი მასალების მომზადების სრულყოფა, ბრძმედელი პროცესის ინტენსიფიკაცია და ბრძმედის ზომების გაზრდა. განვიხილოთ მოკლედ თითოეული მათგანი.

დნობისათვის ნედლი მასალების მომზადების სრულყოფა. ბრძმედელი დნობისათვის ნედლი მასალების მომზადების სრულყოფა გამდიდრებისა და დანაპროცესების პროცესების სრულყოფას და მეტალიზაციის სრულყოფილი საწარმოო პროცესის შექმნას ეყრდნობა.

მადნების გამდიდრების ტექნიკის განვითარებამ საშუალება მოგვცა შედარებით მცირე დანახარჯებით მივიღოთ რკინის მაღალი შემცველობის კონცენტრატები. შემდგომში, ბრძმედის კაზში რკინის შემცველობის კიდევ უფრო მეტად გაზრდის მიზნით, მოცემული მადნების მეტი რაოდენობა უნდა გაჯამდიდროთ, რაც უზრუნველყოფს 1 ტონა თუჯზე 300 კგ-ზე ნაკლები წილის წარმოქმნას. ამ მიზნით, აუცილებელია, დამუშავდეს მაგნიტიზებული გამოწვის ოპტიმალური ხერხი.

მადნის წვრილი ფრაქციებისა და კონცენტრატების აგლომერაციის ხერხით დანაპროცესება მომავალშიაც შეინარჩუნებს თავის უპირატესობას. ამიტომ აგლომერაციის პროცესის სრულყოფის ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს მისი ხარისხის გაუმჯობესება. ეს უკანასკნელი უნდა მოხდეს აგლომერატის სიმტკიცის, წვრილმანის გაცრისა და ფუძიანობის ზრდის მეშვეობით.

აგლომერაციის პროცესის პარალელურად მიმდინარეობს დაფლესული გუნდების მიღების პროცესის სრულყოფა. ამან უნდა უზრუნველყოს მიღებული მასალის მაღალი სიმტკიცე (ბრძმედში აღდგენის პროცესში არ უნდა ირღვეოდეს).

დნობისათვის რკინაჰაღვრი მასალების მომზადების სრულყოფა ითვალისწინებს, აგრეთვე, ახალი პროცესების შექმნასა და შემუშავებას; სახელდობრ, აღდგენილი—მეტალიზებული მასალების მძლავრ პროცესების გაუმჯობესებას და სრულყოფას. მათი გამოყენება საგრძნობლად ზრდის ბრძმედის მწარმოებლურობასა და კოქსის ხარჯს. კოქსის წარმოების შემდგომი გაუმჯობესება ითვალისწინებს დაკოქსვის პროცესის ოპტიმიზაციის, ქვანახშირის დიფერენცირებული დამსხვრევის, საკოქსე კაზმის რაციონალური შრობისა და კოქსის წინასწარი მექანიკური დამუშავების ხარჯზე (წვრილი და მანვილი ფრაქციების გაცრით) მისი მექანიკური სიმტკიცის ზრდას.

გარდა აღნიშნულისა, შემდგომში აუცილებელია კოქსში ნაცრიანობისა და გოგირდის შემცველობის შემცირება და, რაც მთავარია, სუსტად კოქსვალი ქვანახშირებისაგან ხარისხოვანი და მტკიცე მყარი სათბობის მიღება ერთ-ერთ ასეთს წარმოადგენს ფორმირებული კოქსის მიღების მეთოდები.

ბრძმედელი პროცესის ინტენსიფიკაცია. იგი მიმართულია ან კოქსის ხედიერთი ხარჯის შემცირებისაკენ, ან დნობის ინტენსიურობის გაღვივებისაკენ. ორივე შემთხვევაში იზრდება ბრძმედის მწარმოებლურობა.

ბრძმედელი პროცესის ინტენსიფიკაციას შეუდგომია განვითარება შესაძ.

ლებელია შემდეგი ინტენსიფიკატორების გამოყენებით: ზაღალტემპერატურაზე გახურებული ჰაერის შებერვით; შებერილი ჰაერის ენაგბადითა და ბუნებრივი აირით ვამდიდრებით; ლუმულში კოქსის, ბრძმედის ან გახურებული სხვა აირების მიწოდებით; ლუმლის ქურაში ქვანახშირის მტკრის შებერვით; ლუმლის სამუშაო სივრცეში აირის წნევის აწევით და ა. შ.

ამჟამად ბრძმედში მიწოდებული ჰაერის ტემპერატურა 1200—1250°C შეადგენს. პერსპექტივაში გათვალისწინებულია შებერილი ჰაერის ტემპერატურის 1500°C-მდე აწევა.

ბრძმედის ზომის გაზრდა. ბოლო 50 წლის განმავლობაში ბრძმედის მაქსიმალური სასარგებლო მოცულობა გაიზარდა 900-იდან 5500 მ³-მდე. პერსპექტივაში შესაძლებელია ბრძმედის მოცულობამ ამ ციფრს გადააქარბოს. ბრძმედის ზომის ასეთი ზრდა გამოწვეულია დიდმოცულობიანი ბრძმედით ტექნიკურ-ეკონომიკური მაღალი მაჩვენებლების მიღწევით. ამან შოგვცა 1 ტონა თუჯზე კოქსის ხვედრითი ხარჯის 25 კვ-ით შექცირება, რაც გამოწვეულია გარსაცმიდან სითბოს დანაკარგების შემცირებით. ყოველივე ამის შედეგად ლუმლის მწარმოებლურობა 60%/_ს-ით გაიზარდება. კაპიტალური ხარჯები 16%/_ს-ით, ხოლო თუჯის თვითღირებულება 4,3%/_ს-ით მცირდება.

§ XII.10. რკინის ბრძმედაკრეშში მიღება

რკინის პირდაპირ აღდგენაში იგულისხმება ისეთი ქიმიური, ელექტრო-ქიმიური და ქიმიურ-თერმული პროცესები, რომლებიც ბრძმედის გარეშე ცმ-ლევიან საშუალებას უშუალოდ მადნიდან მივიღოთ ლითონური რკინა ღრუბლის, გუნდების ან თხევადი სახით. ამ პროცესების ძირითადი მიზანია კოქსის ხარჯის თავიდან აცილება და სუფთა რკინის მიღება.

მრავალი მეთოდიდან თანამედროვე პრაქტიკაში, თუმცა მცირე მასშტაბებით, მაგრამ მანკ განხორციელებულია რამდენიმე მათგანი. ბოლო წლებში დიდი ინტერესი გამოიწვია ზადნის არა მარტო ღრმა ვამდიდრების ხერხმა, რომლის შედეგადაც კონცენტრატში რკინის შემცველობა 70—72%/_ს-ს აღწევს, არამედ გოგირდისა და ფოსფორისაგან თიქმის მთლიანად განთავისუფლებამ ($\leq 0,01\%$ S და $\leq 0,033\%$ P). ასეთი კონცენტრატისაგან ფოლადის წარმოებისათვის მიზანშეწონილია ღრუბლოვანი რკინის მიღება.

რკინის პირდაპირი მიღების მეთოდებში განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა კახვის მეტალიზაციის მეთოდს. მეტალიზაციის არსებული მეთოდებით მიღებული ნახევარპროდუქტები გამოიყენება ბრძმედულ პროცესში, მაგრამ მათი გამოყენება რკინის პირდაპირი მიღებისათვის არაა ტექნიკურ ეკონომიკური თვალსაზრისით გაპართლებული. ამისათვის საკუროა კახვია მეტალიზაციის შეღარებით მაღალი ხარისხი (85—95%/_ს). ასეთი კახვი შესაძლოა გამოიყენოთ ფოლადების გამოსაღობად. ღრუბლოვანი რკინის მისაღობად კახვის მეტალიზაციის ხარისხი კიდევ უფრო მაღალია და 98—99,5%/_ს-ს აღწევს (მასში რკინის შემცველობა 71—72%/_ს-ია, ხოლო ღრუბლოვანი რკინაში რკინა 98—99%/_ს-ია).

რკინის პირდაპირი მიღების პროცესებში გამოიყენება მყარი ან აირადი სათბობები. ამჟამად შედარებით მეტი განვითარება პოვა ღრუბლოვანი რკინის მიღების მეთოდმა.

განვიხილოთ მოკლედ ზოგიერთი მეთოდი.

აირადი აღმდგენლებით ღრუბლოვანი რკინის წარმოება შესაძლოა დაბალი სიმალის შახტურ ლუმლებში ან რეტორტებში. აღმდგენი ს. იაკობიშვილი

აირი იწმინდება მტკრისა და C_2H_2 -ს. კონვერტირებული აირი (რომელიც $\sim 35\% CO$ და $\sim 65\% H_2$ შეიცავს, $\sim 100^\circ C$ -ის ტემპერატურის მქონე) მიეწოდება ღუმელს. გარდა ამისა, მიღებული პროდუქტის გასაცეხებად ღუმელს ქვევიდან აწვდიან ნაბრუნ აირს. გაიცეხული გუნდები შეიცავს $\sim 95\% Fe$ და $\sim 1\% C$. მიღებულ პროდუქტი (მეხალაზებული გუნდები) უწყვეტად გადაიტვირთება ბუნებრივში, სადაც რენტულ ატმოსფეროში ელექტროლუმბებში დნობამდე ინახება. ბუნებრივი აირის ხარჯი 1 ტ პროდუქტზე 400 მ³-ს შეადგენს.

ამერიკისა და მექსიკის გაერთიანებული ფორმას „ნახალატა და ლიმინ-ის“ მიერ შემოთავაზებულ იქნა პერიოდული ქსელების რეტორტებში ღრუბლოვანი რკინის მიღების ტექნოლოგია. მათ მიერ შექმნილი დანადგარის სადღეღამისო მწარმოებლობა 700 ტ-ზე შეადგენს. აირი, რომელიც მიეწოდება, მიიღება ბუნებრივი აირის ორთქლური კონვერსიით. გუნდების ან მადნის ნაჭრების აღდგენა მიმდინარეობს უძრავ ფენაში, სადაც აირის წნევა 40 ატმ (4 ატ) აღწევს, ხოლო ტემპერატურა $870-1050^\circ C$ -ს. შებერილი პაერის ტემპერატურა $1240^\circ C$ -ია. სუბციონარული ფენის გამოყენება ზღუდვს ღუმლის—რეტორტის სიმაღლეს და აირის გამოყენების ხარისხს. პროცესი პერიოდულია. აირის უყეთესად გამოყენების თვალსაზრისით პროცესი ერთდროულად რამდენიმე რეტორტაში მიმდინარეობს. კონვერსიის შემდეგ აირი შეიცავს $14\% CO$, $58\% H_2$, $21\% H_2O$ და $4-5\% C_2H_2$. ცხელი აირი გარეგნის ქვაბ-სუტილიზატორს, თავისუფლდება წყლის ორთქლისაგან, რის შემდეგ მშრალი კონვერტირებული აირი შედგება $73\% H_2$, $15-16\% CO$ და $6-7\% CO_2$ -საგან. ამის შემდგომ ეს აირი ხურდება მილისებრ რეკუპერატორებში და, როგორც აღმდგენი აირი, რეტორტებს მიეწოდება.

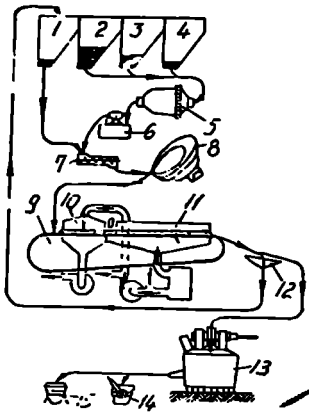
ყოველი რეტორტის ტევადობა 100—150 ტ-ია. მზა ღრუბლოვანი რკინაში რკინის აღდგენის ხარისხი $75-92\%$ -ია. 1 ტ ღრუბლოვანი რკინის მისაღებად ინახება 600 მ³ ბუნებრივი აირი და 36 კვ ელექტროენერგია (~ 10 კვტ. სთ) პროცესის საგრძნობლად მექანიზებულია.

ფხელ ფენაში აირადი აღმდგენებით ღრუბლოვანი რკინის წარმოება ხორციელდება მოძრავ ცეცხლივ ცხურზე, რომელიც ავლომერაციის მანქანას წააგავს. კონვერტირებული აირი კაზმის 200—300 მმ ან ფენას გაივლის ზემოდან ქვევით. კონვერტულ ლენაზე მოთავსებულ კაზმში ასხეავენ 3 ზონას: გახურების, აღდგენისა და გაციეების. პროცესის დასაჩქარებლად კაზმს ხშირად მცირეგოგირდოვან მყარ სათბობს უმატებენ. ამ პროცესში ძნელია აირის რეციკლაცია, რაც ზრდის ბუნებრივი აირის ხარჯს. ამჟამად აღნიშნულმა პროცესმა გერ-ჯერობით რეალიზაცია ვერ პოვა.

მყარ ნახშირბადით აღდგენა. მყარ აღმდგენად ძირითადად ქვანახშირი და კოქსი გამოიყენება. აღმდგენის შეტანის პეთოდის მიხედვით რკინამადნური კაზმის მეტალიზაციის 3 სქემას არჩევენ:

1. მადანახშირბადოვანი გუნდების მეტალიზაცია. ამ პროცესისათვის წერილი მადნის ან კონცენტრატის კაზმში შეაქვთ $15-20\%$ მყარი აღმდგენი. მიღებულ მადანახშირბადოვანი გუნდები $1200-1250^\circ C$ -ზე გამოიწევა ($20-30$ წუთის განმავლობაში) ნახშირბადის ხარჯზე მიმდინარეობს რკინის უანგველუმის აღდგენის პროცესი და მიიღება მეტალიზებული გუნდები. მეტალიზაციის ხარისხი $50-80\%$ -ს აღწევს.

გუნდების გამოწევა შესაძლოა კონვერტულ მანქანაზე, მილა ღუმელში,



ნახ. XII.2. გამოსაწყვეი კონვეიერულ მანქანაზე მადანნახშირბადოვანი გუნდების მეტალბააციის პროცესის სქემა: 1—ნახრუნის ბუნკერი; 2—კონცენტრატის ან მადნის ბუნკერი; 3—ქვანახშირის ბუნკერი; 4—კირქვის ბუნკერი; 5—ბურთულუბიანი წისქვილი; 6—ფილტრი; 7—შემზრვეი შიგა; 8—დისკური გრანულატორი; 9—გამოაწვევი კონვეიერი მანქანა; 10—გამზრობის ზონა; 11—გამოწვის ზონა; 12—გაცხობვა; 13—ელექტროლუმი; 14—თხევადი ლითონის ციხე; 15—წრდის კაში.

რეტორტაში და შატურ ლუღებში. XII.2 ნახაზე ნაჩვენებია ცეცხლირე-ცხაურ-კონვეიერულ მანქანაზე გუნდების მეტალბააციის პროცესი.

აგლომერაციის პრინციპის მსგავსად გახურებული აირი გაიწოვება ცეცხლირე ცხაურზე მოთავსებული გუნდების ფენაში, რის შედეგადაც გუნდები 850—1250°C-მდე ხურდება. ამ დროს გუნდების შიგნით მიმდინარეობს რკინის ენგეულების აღდგენა. პროცესი 20—40 წუთს გრძელდება. ამ დროს წარმოებს ~40% S-ის მოცილება. გამომწვარი გუნდები გამოსადნობად ელექტროლუმეს მიეწოდება.

2. მადნური გუნდების მეტალბააცია დაფხენილი მყარი სათბობის კაზში მიწოდებით. კაზში შედგება გამომწვარი გუნდების, დოლომიტის, კირქვისა და მყარი სათბობის წვრილი ფრაქციებისაგან (0,8—3,0 მმ). დოლომიტი და კირქვა დესულფურაციისათვის მიეწოდება. პროცესი მილა ლუმელში ხორციელდება. კარგ შედეგს იძლევა აგრეგატების ასეთი თანამიმდევრული განლაგება: გამოსაწყვეი ცხაური—მილა ლუმელი—მბრუნავი მილა მაცივარი. გამოყენება ბუნებრივი აირი, რომელიც მილა ლუმელში მიეწოდება. 1 ტ მეტალბეზულ გუნდებზე მყარი სათბობი 350—600 კგ-ს შეადგენს; აირი—75—100 მპ.ს აქრეზად ჩვენს ქვეყანაში მიმდინარეობს ამ პროცესის დახვეწა.

3. შეზრვეად ფენებში მყარი ნახშირბადით აღდგენით ღრუბლოვანი რკინის შილება. ამ მეთოდს გამოყენებისას მყარ სათბობსა და რკინის ხენჯს ან ძალზე მდიდარ კონცენტრატს ფენებდ ტვირთავენ ტიგელში, რომელსაც რკინის ენგეულების აღსადგენად ხანგრძლივი დროით ათავსებენ ლუმელში. ეს მეთოდი შემუშავებულ იქნა 1911 წელს შვეიციაში. ჩვენს ქვეყანაში გამოყენება 530 მმ დიამეტრის, 1500 მმ სიმაღლისა და 40 მმ კედლის სისქის სილიციუმის კარბიდის კაფსულები. გოგირდის შთანქმის მიზნით აღმდგენელს 10—15% კირქვას უმატებენ, რაც გვიძლევს გოგირდოვანი სათბობის გამოყენების საშუალებას. 16 ცალის რაოდენობით კაფსულები თავსდება ცეცხლგამძლე აგურებით ამ რეზულ შრიკაზე. ეს უკანასკნელი გაივლის გვირბანისებრ ლუმელს, რომლის სიგრძე ~140 მ.ს აღწევს. ლუმელში მიმდინარეობს კაფსულების გახურება, 1180°C-ზე დაყოვნება და შემდგომ გაცივება. აღნიშნული პროცესის მიმდინარეობა 100 საათს აღემატება. კაფსულში შილება მქელკედლიანი (75 მმ) მილის ფორმის ღრუბლოვანი რკინა, რომლის სიგრძე 1200—1400 და შიგა დიამეტრი 340—360 მმ ს აღწევს. მილები იწმინდება, შემდგომ იშახრევა. წკრილდება და იცრება. მილებული ღრუბლოვანი რკინა შეიცავს 97—99% Fe, 0,1—0,2% C, 0,1—0,5% SiO₂, 0,01—0,016% S და <0,015% P. ნახშირბადის მონაკლებლად აწარმოებენ მრუბულ ფხენილის აღდგენის წყალბადით.

ფოლადის მეთალურბია

XIII ტ ა ვ ი

ჯონალდი მიმოს-ლევა

§XIII.1. ფოლადის წარმოების განვითარების მოკლე ისტორია

ფოლადები და შენადნობები ხასიათდება მთელი რიგი თვისებებით. ასე მაგალითად, დრკადი და პლასტიკური თვისებებით, წაღალა სიმტკიცით, ელექტრო და თბოგაქტარობით, თბუჲი გაფართოების კოეფიციენტიო, სისალითა და სხვა თავისებურებებით.

ფოლადი—ეს არის რკინის ნახშირბადთან და სხვა ქიმიურ ელემენტებთან შენადნობი. მასში რკინა წარმოადგენს ძირითადს—გამხსნელს, ზოლო და ნარჩენი ელმენტები—მინარეეებს, რომლებიც გახსნილი არიან რკინაში. ფოლადის თვისებებზე ეს მინარეეები შესაქლოა მოქმედებდეს, როგორც დადებითად, ასევე უარყოფითად. ამისდა მრხედვით ისინი იყოფიან სასარგებლო და მავნე მინარეეებად. სასარგებლო მინარეეები ძირითადად კრისტალუბის თვისებებზე მოქმედებს, ზოლო მავნე მინარეეები აუარესებს კრისტალთზორისობმებს.

უმტესი მარკის ფოლადებში ძირითად სასარგებლო მინარეეს ნახშირბადი წარმოადგენს. ასეთი ფოლადები ნახშირბადიანად იწოდება. მისი შემცველობა საკონსტრუქციო ფოლადებში უმთავრესად 0,05—0,50% შეაღგენს ინსტრუმენტალურ და სპეცდანიუნულების ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობა შესაქლოა 1%—სა და მეტსაც აღვიტებოდეს. ГОСТ 380—71 თანახმად ჩვეულებრივ ნახშირბადთან საკონსტრუქციო ფოლადებში სასარგებლო მინარეეებად მანგანუჲი (<0,8%/) და სილაკიუჲი (<0,37%/) გვევლინება. ისეთი მავნე მინარეეების შემცველობა, როგორიცაა გოგირდი, ფოსფორი, უანგბადი და აზოტი, მუასედ და მუათასედ ბროკენტს არ აღემატება.

ფოლადის თვისებების საგრძნობლად შეცვლა შესაქლოა გარკვეული ელემენტების შეტანით. ასეთ ელემენტებს მალეგირებელს უწოდებენ, ზოლო თვით ფოლადს—ლეკირებულს. ფოლადის თვისებებზე მალეგირებელ ელემენტების გავლენა სხვადასხვაა. ამიტომ ამა თუ იმ თვისებების მისაღებად ისინი უნდა სხვადასხვა რაოდენობით დაემატოს.

ფოლადის წარმოების ყველა მეთოდი შესაქლოა შემდეგნაირად იქნეს კლასიფიციირებული:

1. ფოლადის თხევად მდგომარეობაში მიღება
 1. ტიკელური პროცესი;
 2. კონვერტერული პროცესი—ბუხემერისა (მცავე ამონაგით) და თომასის (ფუძე ამონაგით);
 3. მარტენის პროცესი (მცავე და ფუძე);
 4. ფოლადის დნობა პირდაპირი დინების ლუმელში;
 5. ფოლადის დნობა ელექტროლუმელში;
 6. კომბინირებული (დუმლექსი და ტრიპლექსი) პროცესები;
 7. თერმიტული პროცესი.

II. ფოლადის ცომისებრ მდგომარეობაში მიღება

1. ციებერვის პროცესი;
2. საგუნდო პროცესი;
3. პულდინგის პროცესი;
4. ასტონ-ბაიერის პროცესი.

III. ფოლადის მყარ მდგომარეობაში მიღება

1. ღრუბლოვანი რკინის მიღება;
2. რკინის ელექტროლიტური პროცესით მიღება.

შავი მეტალურგიის განვითარება შესაძლოა დაიყოს რამდენიმე ეტაპად. ძირითადი ნედლეულების ან ტექნოლოგიური სქემის მიხედვით ფოლადის წარმოებას აქვს განვითარების ორი ძირითადი ეტაპი:

1. რკინის მადნიდან ფოლადის პირდაპირი მიღება, ე. წ. ცინტერვის პროცესი, ანუ ერთსაფეხურიანი წარმოება სქემით „რკინის მადანი—ფოლადი“;

2. თუჯის რაფინირებით ფოლადის მიღება, ანუ ორსაფეხურიანი წარმოება სქემით „რკინის მადანი—თუჯი—ფოლადი.“ ეს ბოლო ეტაპი დაიწყო ჩვენი წელაღრიცხვის XIII და XIV საუკუნეების პერიოდში და ამჟამად გრძელდება.

თუჯის რაფინირებით ფოლადის მიღებას განვითარების სამი ეტაპი გააჩნია:

პირველი ეტაპი—თუჯის ფოლადად გადამუშავება, რომლის დროსაც მიიღება ცომისებრ მდგომარეობაში მყოფი რკინის გუნდები, პულდინგის პროცესი (ინგლისი 1784 წელი);

მეორე ეტაპი—პერიოდული ქმედებას აგრეგატებში ჯართის დამატებით ან დაუმატებლად თხევად ფოლადად თუჯის გადამუშავება. ამ ეტაპის დასაწყისი დაკავშირებულია ბესემერის (ინგლისი, 1856 წ.), შემდგომ მარტენის (საფრანგეთი 1900 წ.) პროცესებთან.

მესამე ეტაპი—პერიოდულად მოქმედ აგრეგატებში ეანგბადის ბერვის გამოყენებით თუჯისა და ჯართის ფოლადად გადაკეთება. ეს უკანასკნელი ფოლადის წარმოების განვითარების თანამედროვე ეტაპია.

ეანგბადის გამოყენებამ მოგვცა საწარმოო აგრეგატების მწარმოებლურობის შეეერთი ზრდა; მაგალითად, მარტენის პროცესში ეანგბადის გამოყენებამ ორჯერ და მეტჯერ გაზარდა ფოლადის გამოღწის მწარმოებლურობა.

თანამედროვე ფოლადსადნობ აგრეგატების ძირითად უპირობო თვისებად შესაძლოა ჩაითვალოს მათი მოქმედების პერიოდულობა, რაც იძნელებს მათ მთლიან ავტომატიზაციას. ამჟამად, როგორც საზღვარგარეთ, ასევე საბჭოთა კავშირში მიმდინარეობს ფართო კვლევები უწყვეტი ქმედების ფოლადსადნობ აგრეგატების შექმნაზე (САНЛ). მწარმოებლურობის გასაზრდელად ამ აგრეგატებში უნდა უზრუნველყონ ეანგბადის ბერვის უფრო ეფექტური გამოყენება, ფოლადის ხარისხის ამაღლება, განეანგვა და ლეგირება თვით აგრეგატში, დნობის პროცესის სრული ავტომატიზაცია და შრომის პირობების საგრძნობი გაუმჯობესება.

უწყვეტი მოქმედების ფოლადსადნობი აგრეგატების შექმნა გამოიწვევს ფოლადის წარმოების ახალ ეტაპზე გადასვლას—ტექნიკურ რევოლუციას არა მარტო ფოლადის წარმოებაში, არამედ მთლიანად შავი ლითონების მეტალურგიაში. ამის შედეგად შესაძლებელი იქნება შეიქმნას უწყვეტი საწარმოო ხაზები—შაუნების გადაქმნებიდან მზა ნაგლის მიღებამდე.

ფოლადის მეტალურგია, როგორც მეცნიერება, შედარებით გვიან წარმოიქმნა. ფოლადის წარმოების ძირითად საფუძველს წარმოადგენს ქიმიური რეაქციები, რომლებიც ძალიან ტემპერატურაში ფაზათა გაყოფაზე ხელშეწყობენ მიმდინარეობენ. ამიტომაც, რომ ფოლადის მეტალურგიას ხშირად ძალიან ტემპერატურულ ქიმიის უწოდებენ.

მ. ლომონოსოვმა 1763 წელს გამოაქვეყნა ნაშრომი „მეტალურგიისა და საშადნო საქმის პირველი საფუძვლები“, რომელიც მრავალი წლების განმავლობაში იყო ერთადერთი პირველი სახელმძღვანელო მეტალურგიაში. ამიტომაც, რომ მ. ლომონოსოვი სამართლიანად ითვლება ლითონის შესახებ სამეცნიერო მეცნიერებაში პირველმა: მკაფიულად.

ფოლადის მეტალურგიის პირველი ჩამოყალიბებული კურსი, რომელიც განხილულ იყო ფოლადის წარმოების რთულ ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები. მოგვცა ე. გრუმ-გრეინილიომ 1905—1907 წლებში თავის წიგნში „ფოლადის წარმოება“.

ფოლადის მეტალურგიის, როგორც მეცნიერების. შემდგომ განვითარებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვის საბჭოთა მეცნიერებს მ. კარნაუხოვს, ე. სამარინს, ო. ესინს, ვ. ბაგინსკისა და სხვ. საზღვარგარეთის მეცნიერთაგან აღსანიშნავია გერმანელი მეცნიერი გ. შენცი და ამერიკელი ე. ჩიქმანი. საქართველოში მეტალურგიის განვითარებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით გამოჩენილ მეტალურგებს: გ. ნიკოლაძეს, ნ. ქაშაყაშვილს, ა. ხვიჩას, ფ. თავაძეს, ნ. გომელაურს, ს. შარაშენიძეს და სხვ.

§ XII. 2. ფოლადის ძირითადი თვისებები. გამოყენება და კლასიფიკაცია

რადგანაც რკინა ფოლადის ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს, ყველა სხვა მინარევის ატომები ორიენტირებულია მისი კრისტალური მესერის გარეშე. ამიტომ ფოლადს აქვს რკინისათვის დამახასიათებელი პოლიმორფიზმი, რაც მდგომარეობს ტემპერატურის ცვლილებისაგან დამოკიდებულებით კრისტალური მესერის აღნაგობის ცვლილებაში. სუფთა რკინისათვის ცნობილია ორი კრისტალური მესერი: მოცულობადაცენტრებული კუბი, ე. წ. α -რკინა (ანუ მაღალტემპერატურებზე δ -რკინა) და წახნაგდაცენტრებული კუბი, ე. წ. γ -რკინა. ერთი კრისტალური მესერიდან მეორეში გადასვლის ტემპერატურებს ($Fe_{\delta} \rightarrow Fe_{\gamma}$ გადასვლისთვის $911^{\circ}C$ და $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\delta}$ გადასვლისათვის $\sim 1392^{\circ}C$) კრიტიკული წერტილები ეწოდება. ფოლადებში ნახშირბადის ან სხვა როქელიმე მინარეგებისა და მალეგირებული ელემენტების გავლენით კრიტიკული წერტილები გადაადგილდება ტემპერატურულ სკალაზე. ამგვარად, კრიტიკული წერტილების მდებარეობა დიდად არის დამოკიდებული ფოლადის შედგენილობაზე.

ნახშირბადის ურთიერთქმედება რკინის α ან γ მოდიფიკაციებთან წარმოქმნის კრისტალური მესერის თავისუფალ უბნებში ნახშირბადის ატომების ჩანერგვის ტიპის მყარ ხსნარებს. მოცულობადაცენტრებულ α -რკინას, რომელშიც ნახშირბადის ხსნადობა ძალზე მცირეა (ოთახის ტემპერატურაზე შეადგენს $0,008\%$), ფერტი ეწოდება; მაღალ ტემპერატურაში. არსებულ წახნაგდაცენტრებულ γ -რკინას, სადაც ნახშირბადის ხსნადობა ძალზე მაღალია და 2% -მდე აღწევს, აუსტენიტი ეწოდება. რადგანაც ჩვეულებრივ ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობა აღწევს α -რკინაში მის ხსნადობას

ამტომ კარბი ნახშირბადის ატომები, რომლებიც არ შედიან ფერიტში, რკინის ატომებთან წარმოქმნის ქიმიურ ნაერთს—რკინის კარბიდს, ანუ ე. წ. ცემენტიტს. ამგვარად, ოჯახის ტემპერატურაზე ფოლადის სტრუქტურა ძირითადად ფერიტისა და ცემენტიტის ნაწილაკებისაგან შედგება, რომელსაც პერლიტი ეწოდება. ტემპერატურისა და კონცენტრაციისაგან დამოკიდებულებით ფერიტის, ცემენტის, აუსტენიტის ან პერლიტის არსებობის შესახებ ნათელ სურათს იძლევა რკინა-ნახშირბადის მდგომარეობის დიაგრამა.

ფერიტი ხასიათდება შედარებით დაბალი სიმტკიცითა და სისაღით. პერლიტი ხასიათდება ისეთი ძვირფასი თვისებების შერწყმით, როგორცაა საკმაო სიმტკიცე, სისაღე, პლასტიკურობა და სიბლანტე. ფოლადი, რომელიც შეიცავს $\sim 0,1\%$ C, ძირითადად ფერიტისაგან შედგება და ხასიათდება მაღალი პლასტიკურობით. ასეთი ფოლადი გამოიყენება თხელი ფურცლების დასამზადებლად. ფოლადების სტრუქტურაში, რომლის შედგენილობაში ნახშირბადის შემცველობა $\sim 0,6\%$ აღწევს, პერლიტი კარბობს. ასეთი ფოლადები გამოიყენება რკინიგზის ლიანდაგების დასამზადებლად. ფოლადი, რომელიც $\sim 1\%$ C შეიცავს, წრობის შემდეგ მაღალი სისაღით ხასიათდება და ძირითადად სხვადასხვა ინსტრუმენტების დასამზადებლად გამოიყენება.

ფოლადების თვისებები შესაძლოა საგრძნობლად გაუმჯობესდეს შესაბამისი თერმული დამუშავებით, რომელიც აერთიანებს გახურებისა და გაცივების ოპერაციების ერთობლიობას. თერმული დამუშავების შედეგად ფოლადის სტრუქტურა სრულიად იცვლება, რაც იწვევს მისი თვისებების შეცვლას. ყოველივე ეს ფოლადის ექსპლუატაციური თვისებების გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა. მალეგირებელი ელემენტების შეტანა ფოლადში იწვევს მისი თვისებების შეცვლას სასურველი მიმართულებით. მალეგირებელი ელემენტებია: მანგანუმი, ქრომი, სილიციუმი. ვოლფრამი, ნიკელი, მოლიბდენი და სხვ. ამ ელემენტების შეტანის შედეგად შესაძლოა მივიღოთ შეცვლილი თვისებების ფოლადები.

ამჟამად მანქანათმშენებლობაში გამოიყენება სხვადასხვა თვისებების მქონე ლეგირებული ფოლადების მრავალი მარკა. შემუშავებულია სპეციალური მარკის ფოლადები თვითმფრინავ და გემთმშენებლობისათვის, უჟანგავი და მხურვალმდებელი, საიაჩალო, საინსტრუმენტო, კონსტრუქციული და სხვ.

მე-20 საუკუნის 30-იან წლებიდან განვითარდა და შვიდლეთ მრავალი სახის ახალი მარკის განსაკუთრებული ფიზიკური და ქიმიური თვისებების მქონე მაღალლეგირებული ფოლადები. ასე, მაგალითად, ცვეთამდებელი (მატფილდის ფოლადი), ცეცხლმდებელი და მხურვალმდებელი, მკვავამძლე და მკვავამდგრადი, უჟანგავი, არამაგნიტური და მაგნიტური, ელექტროტექნიკური და სხვ.

თავისი დანიშნულების მიხედვით ფოლადები შესაძლოა კლასიფიცირებული იქნეს შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

1) საცემენტო კონსტრუქციული ფოლადები, რომლებიც გამოიყენებიან სხვადასხვა ლითონკონსტრუქციების დასამზადებლად (სახლების, ხიდების, სხვადასხვა მანქანების, ვაგონებისა და სხვ. მშენებლობაში). ისინი მზადდებიან ნაგლისი პროფილების სახით. კონსტრუქციული ფოლადები შესაძლოა იყოს როგორც ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი, ასევე ლეგირებული (მაგალითად, მანგანუმიანი, ქრომიანი და სხვ.). ლეგირებული ფოლადი ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადზე რამდენადმე ძვირია, მაგრამ ძვირფასი თვისებების გამო მისი ხარჯი ჩვეულებრივზე გაცილებით შიდაა.

2) მანქანათსაშენი ფოლადი, რომელიც მზადდება ნაკლინის, ნატრიუმის ან ნაქვილი სახით და გამოიყენება ძირითადად მანქანისა და მექანიზმების დეტალების დასამზადებლად. ასეთი ფოლადი მუშავდება თერმულად ან ქიმიურ-თერმულად.

3) საიარალო ფოლადი, რომელიც გამოიყენება საკრელ, საზომ და სატვიფრ იარაღების დასამზადებლად. ამ ჯგუფის ფოლადები ჩვეულებრივ შეიცავს უხვ ნახშირბადს ($\leq 2\%$) და მალევირებელ ელემენტებს.

4) განსაკუთრებული ფიზიკური და ქიმიური თვისებების ფოლადები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენებიან ელექტროტექნიკაში, რეაქტიულ ტექნიკაში, ქიმიურ მრეწველობაში, სამხედრო საქმესა და სხვ.

გარდა აღნიშნულისა, არსებობს აგრეთვე ბურთულსასაკისრე ფოლადი, რომელიც შეიცავს $1\%C$ და $1,5\%Cr$. არალითონური ჩანართების არსებობის მიმართ მას წაეყენება დიდი მოთხოვნები.

ხარისხის მიხედვით ფოლადები შესაძლოა შემდეგ ჯგუფებად დაიყოს: ჩვეულებრივი, ხარისხოვანი და მაღალხარისხოვანი. ეს ჯგუფები ერთმანეთისაგან განსხვავდება შვენი მინარეგების (გოგირდის და ფოსფორის) და განსაკუთრებულ შემთხვევაში—არალითონური ჩანართების შემცველობით. ჩვეულებრივი ხარისხის ფოლადში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობა $0,30-0,040\%$ არ უნდა აღემატებოდეს; ხარისხიან ფოლადში— $0,040-0,045\%$; მაღალხარისხიანში— $0,020-0,030\%$.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ფოლადები იყოფა: ნახშირბადიან (მცირე, საშუალო და ნახშირბადუხვი), მცირედ ლეგირებულ და ლეგირებული (ქრომიანი, მანგანუმიანი, ქრომმანგანუმიანი, ქრომიელოანი, სილიციუმიანი და ა. შ.). საბჭოთა კავშირში დადგენილია ფოლადში შემავალი ელემენტების პირობითი აღნიშვნები:

C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W, V, Al, Ti, B, Cu,

Y, Γ, C, X, H, M, B, Ф, A, T, P, K.

ფოლადის ნიშანდება შემდეგნაირად წარმოებს: ასობის მარცხენა მხარეს მდგომი ციფრები (პირველი რიცხვი) აღნიშნავენ ფოლადში ნახშირბადის შემცველობას შავსად პროცენტობით. საიარალო ფოლადისათვის—მეთოდ პროცენტობით. შემდგომი ასობები აღნიშნავენ შესაბამის ელემენტებს ფოლადში, ხოლო მომდევნო ციფრები—მიანლობით მათ პროცენტულ შემცველობას. მაგალითად, $12X3H3\Phi 2T$ მარკა აღნიშნავს, რომ ფოლადი შეიცავს დაახლოებით $0,12\%C$, $3\%Cr$, $3\%Ni$, $2\%V$ და $1\%Ti$. თუ ფოლადის მარჯის აღნიშვნის ბოლოს დგას ასო A, ეს ნიშნავს, რომ ფოლადი მიეკუთვნება მაღალხარისხოვან ჯგუფს. ნახშირბადუხვი საიარალო ფოლადების მარჯის აღნიშვნას წინ უწერია Y, ხოლო მომდევნო ასო გვიჩვენებს მასში ნახშირბადის შემცველობას (მეთოდ პროცენტობით). ასე, მაგალითად Y7, Y8, Y10, Y12 და ა. შ. მათში ნახშირბადის შემცველობა შეადგენს 0,7; 0,8; 1,0; $1,2\%$ და ა. შ.

გამყარების ხასიათით ფოლადები შესაძლოა დაიყოს მშვიდი, ნახევრადმშვიდი და მდულარე, რაც განეანგვის ხარისხსა და სისრულეზე და მოკიდებულებით.

§ I.3. ფოლადადნობი პროცესების ძირითადი რეაქციები

ფოლადადნობა აბაზანაში მიმდინარე ნებისმიერი ქიმიური რეაქციები შესაძლოა განხილულ იქნეს, როგორც სამი სტადიისაგან შემდგარი:

ა) რეაქციის ზონისაქენ მორეაგირე ნივთიერებების ნაწილაკების (მოლეკულების, ატომების, იონების) ჩიყვანა, სადაც წარმოებს მათი შეჯახებები;

ბ) უშუალოდ ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა, რომლის დროსაც შეჯახებული ნაწილაკების გარკვეული ნაწილი გარდაიქმნება რეაქციის პროდუქტების ნაწილაკებად;

გ) რეაქციის ზონიდან მიღებული პროდუქტების მოცილება.

ფოლადადნობის პროცესების ანალიზის დროს გვინდება უმთავრესად ჰეტეროგენული რეაქციების განხილვა, რადგანაც მორეაგირე ნივთიერებები სხვადასხვა ფაზებში იხიოაუება. მაგალითად, მარტენის პროცესი ოთხი ფაზის ურთიერქმედებით ხისიათდება: აირადი, ორი თხეადა (წიდა, ლითონი) და მყარი (ლუმლის ქველი).

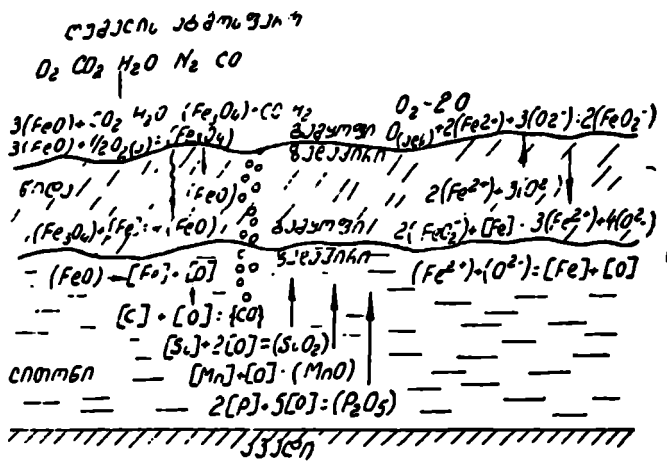
რადგანაც ფოლადადნობა თუჯისა და ლითონის ჯართის დაქანგვისა და მათში შემავალი მინარეგების (სილიკაუმი, მანგანუმი, ფოსფორი და სხვ.) მოცილებით, ამიტომ ფოლადადნობის წარმოების პრაქტიკაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დაქანგვის რეაქციებს. ამ რეაქციების მიმდინარეობისათვის საჭირო ქანგბადის რაოდენობა თხეადად ლითონურ აბაზანის მიეწოდება უშუალოდ ატმოსფეროდან, რკინის მადნიდან თხეადადი ლითონის აბაზანის სუფთა ქანგბადით გაქრეით ან სხვა რომელიმე დამქანგველების შეტანით. ამიტომ მარტენის ლუმლის მუშა სიერცეს ქანგვითი ატმოსფერო ახასიათებს, რომელიც ლითონური ჯართის ჩატვირთვისთანავე იწვევს რკინისა და მასში მყოფი მინარეგების დაქანგვას. რაც მეტია რკინის ამოწვა (დაქანგვა). მით ნაქლებია თხეადადი ლითონის გამოსავალიანობა. წარმოქმნილი რკინის ქანგეულები წიდაში გადადის, საიდანაც შესაბამის პირობებში კვლავ წარმოებს მათი აღდგენა. რკინის ქანგეულების გარკვეული რაოდენობა დნობის ბოლოს წიდაში რჩება, ჯართ-პროცესის დროს რკინის დანაქარგების შეესება არ ხდება, რადგანაც დნობის პროცესში შეაქვთ რკინის მადნის მცირე რაოდენობა.

ლითონში შემავალი მინარეგები, რომლებიც იძლევიან წიდას წარმოქმნელ ქანგეულებს, თხეადად რკინაზე ორგვარ ზემოქმედებას ახდენს: ერთის მხრივ, წარმოქმნის რა წიდას ფაზას, ხელს უწყობს რკინის დაქანგვის რეაქციის მიმდინარეობას და მიღებული პროდუქტების წიდაში გადასვლას; მეორე მხრივ კი, მინარეგები, რომელთაც ქანგბადთან დიდი სწრაფვა აქვთ, ვიდრე რკინას, ხელს უშლის მის დაქანგვას (აბაზანაში გადასული ქანგბადი ძირითადად იხარება ამ მინარეგების დაქანგვაზე). რკინის დაქანგვის მიმართ მინარეგების ასეთი დამკველი უნარა შედაენდება მანამ, სანამ ლითონსა და წიდას შორის არ დამყარდება მიმდინარე რეაქციების წონასწორობა.

სათბობის სრული წვისათვის ლუმლის სამუშაო სიერცეს თეორიულთან შედარებით ქარბი ჰერი მიეწოდება. ამის შედეგად ლუმლის ატმოსფერო შედგება O_2 , CO_2 და H_2O -გან, რაც ქმნის დამქანგველ ატმოსფეროს.

წიდას ფაზის დამქანგველი თვისება შედაენდება წიდას წარმოქმნის პროცესში ლუმელში კაზმის ჩატვირთვის მომენტდან.

რკინისა და ლითონური კაზმის მინარეგების დაქანგვის პროდუქტები, მათში გახსნილ ფლესქასა და ქვედას მასალის ნაწილაკებთან ერთად, წარ-

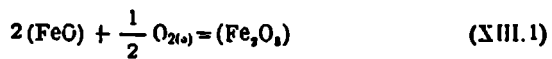


ნახ. XIII 1. ლუმინის ატმოსფეროდან წილის გავლით ლითონში ეანგზადის გადასვლის სქემა

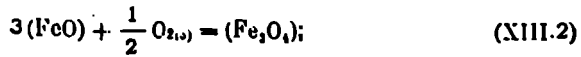
მოკმნის წილას, რომელიც მთლიანად ფარავს წარმოქმნილი თხევადი ლითონური აბაზანის ზედაპირს, ამ მომენტიდან დაწყებული ლითონის მინარეების დაეანგვა ლუმინის აირულ ატმოსფეროს მიერ პრაქტიკულად წყდება. ამის შემდეგ ეანგზადის გადაცემა ლუმინის ატმოსფეროდან ლითონისაკენ ხორციელდება არსებულ თხევადი წილის ფენის გავლით. ეს გამოწვეულია აირადსა და ლითონის ფაზებს შორის ეანგზადის პოტენციალის დიდი ვარდნით.

XIII.1 ნახაზზე ნაჩვენებია ლუმინის აირად ატმოსფეროდან წილის გავლით ლითონში ეანგზადის გადასვლის სქემა. ამ სქემის მარცხენა ნაწილში მოკუმულია მიმდინარე პროცესების სქემატური გამოსახულება მოლეკულური თეორიის თვალსაზრისით. ფაზათა გამყოფ ზედაპირებზე მიმდინარე რეაქციები შესაძლოა წარმოვიღებინოთ შემდეგნაირად:

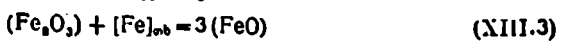
—აირი—წილის გამყოფ საზღვარზე



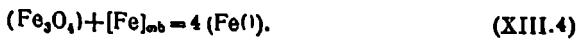
აბ



—წილა—ლითონის გამყოფ საზღვარზე



აბ

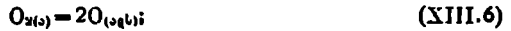


—ლითონი—წილას გამყოფ საზღვარზე

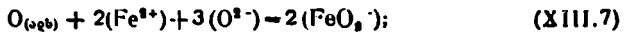


თანამედროვე იონური თეორიის თანახმად, ეს შექანიზმი გამოისახება შემდეგი გამოსახულებებით (ნახ. XIII.1-ის მარჯვენა მხარე):

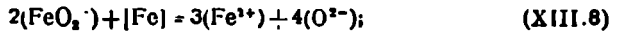
—აირი—წილის გამყოფ ზედაპირზე ქანგბადის ქიმიური აღსორბცია



—წილა—აირის გამყოფ ზედაპირზე



—წილა—ლითონის გამყოფ ზედაპირზე



—ლითონი—წილას გამყოფ ზედაპირზე



პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის კაზმში დამატებით შეაქვთ რკინის მადანი (რომელიც შეიცავს ქანგბადის საკმარის რაოდენობას) ან მიწოდებულ ჰაერს ქანგბადით ამდიარებენ.

გარდა ქანგბადისა, წილის მეშვეობით ლითონის თხევად აბაზანას გადაეცემა დნობისათვის საჭირო სითბოს გარკვეული რაოდენობა.

როგორც აღვნიშნეთ, ყოველ ფოლადსა და პროცესში ძირითადად მიმდინარეობს რკინაში არსებული მინარეგების დაქანგვა. ამისათვის განვიხილოთ ფოლადსა და პროცესების ძირითადი რეაქციები.

ა) ნახშირბადის დაქანგვა

ფოლადსა და პროცესებში ნახშირბადის დაქანგვა მიმდინარეობს დნობის მთელ პერიოდში. ამიტომ ნახშირბადის დაქანგვის რეაქცია წარმოადგენს ძირითადს. თხევად ლითონში გახსნილ სხვა მინარეგებისაგან განსხვავებით, რომელთა დაქანგვა ქანგვლების წარმოქმნით მიმდინარეობს, ნახშირბადი იქანგვება აირად CO და CO₂-ის წარმოქმნით, რომლებიც თხევადი ლითონის ფაზაში ბუშტულების სახით გამოიყოფიან და ქმნიან აბაზანის დუღილის შთაბეჭდილებას. აირის ბუშტულების ამორტივტივები გამოწვეული თხევადი ლითონის „დუღილი“ იწვევს აბაზანის არევის, რის გამოც: ა) აბაზანის შედგენილობა მის მთელ მოცულობაში ერთგვაროვნდება; ბ) წარმოებს ლითონში გახსნილი წყალბადისა და აზოტის შედარებით სრულყოფილი მოცილება, რომლებიც ამორტივტივებელ ბუშტულებში დიფუზირებს; გ) წარმოებს ლითონის აბაზანიდან არალითონური ჩანართების მოცილება; დ) აბაზანის ტემპერატურა მთელ მოცულობაში ერთგვაროვანი ხდება და სხვ. როგორც ცნობილია, სტატიკურ პირობებში წილიდან ლითონში ქანგბადის გადასვლა და თხევად ლითონში ნახშირბადის ბუშტულების სახით ახალი ფაზის წარმოქმნა საკმარის ნელ პროცესს წარმოადგენს. ამიტომ არაა საკვირველი, რომ აბაზანის გაქრვა ქანგბადით ან (პაერით) იწვევს ნახშირბადის დაქანგვის ინტენსიურობის ზრდას.

აქვე უნდა აღვნიშნოს, რომ ნახშირბადის დაქანგვის რეაქციის სიჩქარის ზრდას იწვევს აბაზანაში შედარებით მსხვილნაკროვანი რკინის მადნის ჩატვირთვა, რომელიც ნაწილობრივ ლითონის აბაზანაში ჩაიძირება. გარდა ამისა, მადნის ნაკრების ხორკლიან ზედაპირთან თხევადი ლითონის შეხებით იოლდება ნახშირბადის დაქანგვის რეაქცია და აირის ბუშტულების წარმოქმნა.

მრავალი დაკვირვებით დამტკიცებულია, რომ აბაზანის დუღილის პერიოდის დასაწყისში ლითონიდან ნახშირბადის მოცილება მიმდინარეობს როგორც ზედაპირული დუღილის შედეგი, ე. ი. ნახშირბადის დაქანგვის რეაქცია ვითარდება ლითონი-წილის გამყოფ ზედაპირზე. ამ პერიოდში, როდესაც ლუმლის არეში ჯერ კიდევ ტემპერატურა შედარებით დაბალია, წილში იმყოფება რკინის მანდისა და კიჩქვის გაუმდნარი მყარი ნაწილაკები, რომლებიც რეაგირაობენ ლითონის ნახშირბადთან და ნახშირქანგს წარმოქმნიან. ეს უკანასკნელი იხლართება ცუდად გახურობულ ბლანტი წილის მოცულობაში და იწვევს მის აქაფებას. ამიტომ, რომ ლითონის ზედაპირული დუღილის შემთხვევაში აბაზანა ცუდად ირევა. ტემპერატურის თანდათანობითი ზრდა იწვევს ნახშირბადის დაქანგვის რეაქციის გაღადაგილებას ლუმლის ქვედა, კედლებსა და ფერლოების ზედაპირისაკენ. ეს უკანასკნელი იმის შედეგია, რომ კარგად გახურობული ქველისა და ფერლოების ამონაგი თავისუფლდება წილისაგან, რომლის მყარ ზედაპირზე იხსნება მასზე აჩნებული ხორკლები და ფორები. ამიტომ იგი გვევლინება აირის ბუშტულების ჩასახვისა და ნახშირბადის დაქანგვის რეაქციის მიმდინარეობის ცენტრად. ამის შედეგად იწყება ლითონის ქველური დუღილი, რაც იწვევს აბაზანის მთელი მოცულობის ინტენსიურ არევას. თხევად ლითონში ამოტივტივების პროცესში ნახშირქანგის ბუშტულები იხრდება მოცულობაში, გაივლის ლითონისა და შემდგომ წილის ფენას, ირღვევა ამ უკანასკნელის ზედაპირზე და გადადის ლუმლის ატმოსფეროში. ისინი ამოტივტივების პროცესში წაირთაცებენ არალითონურ ჩანართებს და იწვევენ მათგან აბაზანის კარგ გასუფთავებას. საბოლოოდ უნდა აღინიშნოს, რომ მთელი დნობის პერიოდსა და მის ბოლოს ნახშირბადის დაქანგვის რეაქცია განსაზღვრავს ლითონში არსებული ქანგბადის კონცენტრაციას.

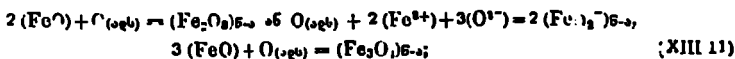
ფოლადანდამო პროცესებში ნახშირბადის დაქანგვის მექანიზმი მეტად რთულია და ჯერ კიდევ დეტალურად არ არის შესწავლილი. ვ. ი. ვოსკოპოვი შემოგთავაზა ნახშირბადის დაქანგვის ორიგინალური სქემა:

1 სტადია — ლუმლის აირებიდან წილში ქანგბადის გადასვლა

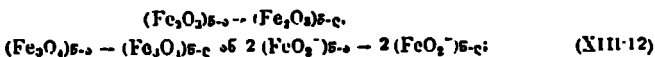
1. წილა-აირის გამყოფ ზედაპირისაკენ აირებდან O_2 , CO_2 და H_2O -ს ტერბულენტური დეფუზია და წილის ზედაპირზე მათი აღსორბტია



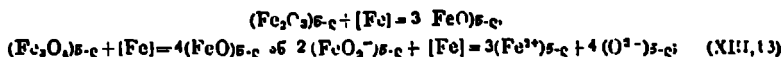
2. რკინის ქანგულების მოლექულებისა და რკინა-ქანგბადის კომპლექსური იონების წარმოქმნით წილა-აირის გამყოფ ზედაპირზე ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა



3. რკინის ქანგულების მოლექულების ან FeO_3^- ანიონების ტერბულენტური დეფუზია

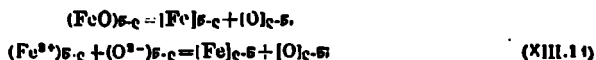


4. რკინის ქვეანგის ან Fe^{2+} და O^{2-} იონების წარმოქმნით წილა-ლითონის გამყოფ ზედაპირზე ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობა



II სტადია — წილდან ლითონში ქანგბადის გადასვლა

1 ლითონ-წილის გამოყოფ ზედაპირზე რკინის ქვეყანგის გადასვლა და მისი ატომებდა დაშლა ან Fe^{2+} და O^{2-} იონების გადასვლა



2. აბაზანაში არსებული CO-ს ბუშტულებსაიკენ ეანგბადის ტურბულენტური დიფუზია, სადაც შესაძლოა შემდეგი რეაქციის მიმდინარეობა



III სტადია — ეანგბადსა და ნახშირბადს შორის ქიმიური რეაქცია:

1. იმ უბნებში ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა, სადაც არსებობს ამ რეაქციის წარმართვის ხელსაყრელი პირობები



2. ახალი ფაზის — ნახშირყანგის ბუშტულების ჩასახე

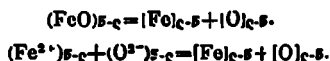


IV სტადია — ბუშტულებიდან ღუმლის ატმოსფეროში ნახშირყანგის გამოყოფა

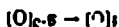


CO-ს ბუშტულების ამოტივტივებისას მის ზედაპირზე ნახშირბადის დაეანგვის პროცესის განხილვისას ბოლო სამი სტადია შესაძლოა წარმოვიდგინოთ შემდეგი რგოლების სახით: I რგოლი

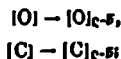
1. ლითონ-წილის გამოყოფ ზედაპირზე რკინის ქვეყანგის გადასვლა და მისი დაშლა ან Fe^{2+} და O^{2-} იონების გადასვლა



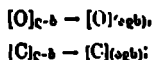
2. ლითონ-წილის გამოყოფ ზედაპირიდან ლითონის ძირითად მასაში ეანგბადის დიფუზია (ტურბულენტური)



3. ლითონიდან CO-ს ბუშტულების ზედაპირსაიკენ ეანგბადის ტურბულენტური დიფუზია (C-ს პარალელურად)



4. გამოყოფ ზედაპირზე ეანგბადისა და ნახშირბადის გადასვლა და ბუშტულების ზედაპირზე მათი აღსორბცია



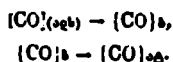
I, რგოლი

— ბუშტულების ზედაპირზე ნახშირბადსა და ეანგბადს შორის ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა



III რგოლი

— ნახშირყანგის ბუშტულების ზრდა, ამოტივტივება, ლითონიდან წილაში გადასვლა და ღუმლის ატმოსფეროში გამოყოფა



ზემოთ მოყენილი სქემიდან შესაძლოა დავასკვნათ, რომ ნახშირბადის დაეანგვის რეაქცია პრაქტიკულად შეუქცევადია, რადგანაც ხსნარბადან ლითონში ბუშტულების სახით გამოყოფა რეაქციის პროდუქტი — CO არის.

მარტენის ლუმის აბაზ.ნაში ნახშირბადის ბუშტულების წარმოქმნა რმ შემთხვევაში შესაძლებელი, როცა წარმოქმნილ ბუშტულში საერთო წნევა მეტი იქნება ლითონისა და წილის ფეროსტატიკურ წნევაზე (p_c, p_s), ლუმელში აირად ატმოსფეროსა და კაპილარულ წნევაზე (p_a, p_{ca}).

კაპილარული წნევა აწონასწორებს ზედაპირულ დაქიმულობის ძალებს

$$p_{ca} = 1,02 \cdot 10^{-8} \frac{2\sigma}{r}$$

(p_a) ზოგადად შემდეგი უტოლობით გამოისახება:

$$p_a \geq p_{ca} + p_c + p_s + p_{ca} \quad (\text{XIII.19})$$

სადაც $p_c = p_c \cdot h_c$; $p_s = p_s \cdot h_s$; p_c და p_s — წარმოადგენენ, შესაბამისად, ლითონისა და წილის სიმკვრივეებს (ნ/მ^3 ან კგ/სმ^3); h_c და h_s არის ლითონისა და წილის ფენის სიმაღლე (სმ); σ — ლითონის ზედაპირული დაქიმულობა (მგ.მ^2 ან ერგ/სმ^2); r — ბუშტულას რადიუსი (სმ). თხევადი ფოლადის ზედაპირული დაქიმულობა დამოკიდებულია მასში ნახშირბადის შემცველობაზე და 1600°C -ზე გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$\sigma = 1600 - 10C \cdot [\%C] \quad (\text{XIII.20})$$

(XIII.19) გავსახლებდა გვიჩვენებს, რომ რაც დიდია ბუშტულას რადიუსი, მით მეტია p_{ca} -ის სიდიდე და პირიქით, რაც უსუსრულოდ მეტია ჩანასახი ბუშტულას რადიუსი, მით მეტია წნევა, რომელიც აუცილებელია ზედაპირული დაქიმულობის ძალების გადასალახავად. ამ მოსაზრებით, პოპოგენურ თხევადი ლითონის აბაზანის მოკულობაში ახალი ფაზის, ნახშირბადის ბუშტულების ჩასახვა თითქმის შეუძლებელია. მისი წარმოქმნა შესაძლებელია მხოლოდ ვამყოფი ზედაპირის არსებობის შემთხვევაში (მაგალითად, ხორკლიანი, სითხისაგან უსველადი მყარი ზედაპირის არსებობა). ფოლადის წარმოებაში ასეთ ზედაპირს სადნობი აგრეგატის ქვედი წარმოადგენს. CO-ს ბუშტულები შესაძლოა წარმოიქმნეს, აგრეთვე, ლითონ-არალითონური ჩანათებისა და ლითონ-ალმაველ აირული ბუშტულას ვამყოფ ზედაპირზე.

ჩვეულებრივ, მარტენის პროცესში, დუღილის პერიოდში ნახშირბადის დაქანგვის სიჩქარე $0,2 - 0,3\%$ -ს ფარგლებში იცვლება და ლუმის ტევალობაზეა დამოკიდებული.

ნახშირბადის ქანგვა-აღდგენის რეაქციები, მათი თერმოდინამიკა და კინეტიკა ვრცლად განხილულ იყო I ნაწილში.

ბ) მანგანუმის ქანგვა-აღდგენითი რეაქციები

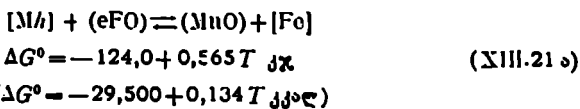
მანგანუმი შედის ნებისმიერი მარკის ფოლადის შედგენილობაში. თავისი თვისებებით იგი რკინას უახლოვდება და მასში ნებისმიერი რაოდენობით იხსნება.

ლითონის გადნობის პერიოდში მანგანუმი იქანგება და მაღალ ტემპერატურაზე, როგორც მდგრადი ნაერთი, MnO-ს სახით წიდაში გადადის. ფოლადსადაც აგრეგატებში მანგანუმის შეტანის ძირითად წყაროს ლითონური ჯარაბი და თუჯი წარმოადგენს. მანგანუმი დუღილის პერიოდში მანგანუმის საგრძნობი დაქანგვა შეიმჩნევა.

დაქანის პერიოდის ბოლოს, როცა ლითონი საგრძნობლად გახურებულია, პირიქით — შეიმჩნევა წიდიდან მანგანუმის აღდგენა და ლითონში მისი

გად-სვლა. ამგვარად, როგორც მარტენის, ასევე ქანგბად-კონვერტირულ პროცესში მანგანუმის რეაქცია შექცევადია, ე. ი. ქანგვითი პროცესი ალდგენით იცვლება. ამიტომ დნობის დაქვანის პერიოდში, როდესაც აბაზანაში ფერო-მანგანუმი არ შეგვაქვს, ლითონში მანგანუმის ზრდის ან შემცირების მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ აბაზანის ტემპერატურის შესახებ.

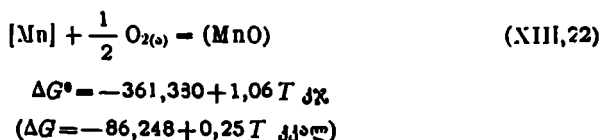
მანგანუმის დაქვანა და წიდიდან მისი ალდგენა, ჩვეულებრივ, ლითონ წილის გამყოფ ზედაპირზე შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



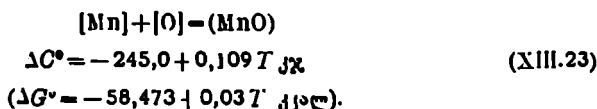
ან



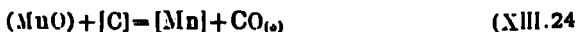
ლითონში გახსნილი მანგანუმი შესაძლოა დაიქვანოს ლუმლის აირად ფაზაში შემავალი ქანგბადით, შემდეგი რეაქციით:



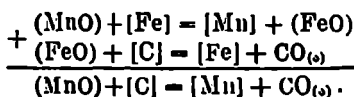
ან უშუალოდ ლითონში გახსნილი ქანგბადით



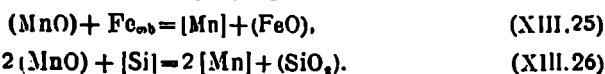
ტემპერატურის ზრდით ΔG° -ს მნიშვნელობის ზრდა მოწმობს მალა ტემპერატურაზე შებრუნებული რეაქციის მიმდინარეობის შესაძლებლობას, ე. ი. მანგანუმის ალდგენას, რომელიც შეიძლება გამოისახოს რეაქციით



ან ორ პარალელურად მიმდინარე ჯაბური რეაქციით



მალა ტემპერატურულ პირობებში შეიძლება განვითარდეს მანგანუმის რკინით ან სილიცაუმით ალდგენის რეაქციებიც



მედვიე ტემპერატურულ პირობებში ლითონში მანგანუმის შემცველობა წარმოადგენს წიდაში (MnO) და (FeO) კონცენტრაციების ფარდობის სწორხაზობრივ ფუნქციას. რაც მეტია (MnO:FeO)-ს მნიშვნელობა, მით ინტენსიურია მანგანუმის ალდგენა და წიდიდან მისი ლითონში გადასედა.

გ) სილიციუმის ქანგვიალდგენითი რეაქციები

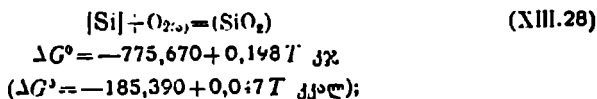
სილიციუმში მყარ წიდაში SiO_2 -ის ნაერთის სახით იმყოფება. მაღალ ტემპერატურაზე შესაძლებელია სილიციუმით რკინის, მანგანუმის, ნიკელისა და სხვ. ელემენტების აღდგენა. იგი რკინაში ფარდობით მსხნება. თხევად ლითონში სილიციუმის მსხნადობა სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს



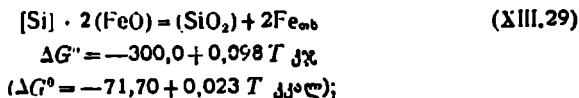
სილიციუმის ძირითად წყაროს ფოლადსადნობ წარმოებაში თუჯი წარმოადგენს.

სილიციუმი ალელიად დამკანგავ ელემენტს წარმოადგენს და ფოლადის წარმოების დნობის პერიოდში თითქმის სრულიად იქანგება. თხევად ლითონურ აბაზანაში გადნობის შემდეგ მისი შემცველობა ძალზე მცირეა. ლითონში გახსნილი სილიციუმი შესაძლოა დაიქანგოს ქანგვადით:

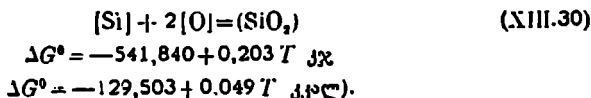
ა) რომელიც აირად ფაზაში იმყოფება



ბ) რომელიც წიდაში რკინის ჯანგველებში იყოფება

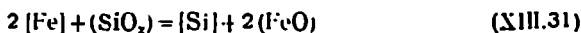


გ) რომელიც ლითონშია გახსნილი



ყველა აღნიშნული რეაქცია მიმდინარეობს ძალზე დიდი რაოდენობის სითბოს გამოყოფით.

ზოგიერთი ფოლადსადნობა პროცესისათვის, მაგალითად, ბესემერის პროცესისათვის, სილიციუმი წარმოადგენს ძირითად „სითბოს“, ე. ი. იმ ელემენტს, რომლის დაქანგვაც სითბოს მაღალი ეფექტით მიმდინარეობს. ამ უკანასკნელის ხარჯზე წაშლივს ფოლადის გაზრება. თავისუფალი ენერჯის განტოლებაში ენტროპიული წყურის „პლუსი“ ნიშანი მოწმობს მაღალ ტემპერატურულ პირობებში სილიციუმის აღდგენას. ეს მოვლენა ძირითადად მკვე ფოლადსადნობ პროცესებში შემჩნევა, როცა წიდაში SiO_2 -ის აქტიურობა მაღალია. ამ შემთხვევაში ხდება რეაქცია



ა5



ფუძე მარტენის პროცესის ყველა ვარიანტი სილიციუმის დაქანგვა არ თამაშობს არსებით როლს. კაზში მისი შემცველობა 0,2 - 0,6%-ის ზღვრებში იცვლება. ჯერ კიდევ კაზის გადნობის დროს მთელი სილიციუნი წიდაში გადადის, სადაც წარმოქმნის რკინის ან კალციუმის ორთოსილიკატებს.

დ) გოგირდის ქანგვა-აღდგენითი რეაქციები

ფოლადში გოგირდი პაენე მინარეგს წარმოადგენს, რომელიც იწვევს მისი პლასტიკური თვისებების, სახელობარ, სიმტკიცის, შედუღებადობის, ელექტრული ანტიკოროზიული და სხვა თვისებების დაქვეითებას. ყოველივე ეს რკინაში გოგირდის ხსნადობით აიხსნება; გოგირდი რკინაში FeS -ის სახით იხსნება. თხევად ჯდგომარეობაში Fe და FeS განუსაზღვრელი ურთიერთხსნადობით ხასიათდება, რის შედეგადაც შესაძლოა ნებისმიერ შედგენილობის ქიმიური თხევადი ხსნარების მიღება. მყარ მდგომარეობაში Fe და FeS ხასიათდება მეტად დაბალი ურთიერთხსნადობით: FeS -ის ხსნადობა მყარ Fe $0,020\%$ -ს არ აღემატება. კრისტალიზაციის პროცესში ისინი წარმოქმნიან ადვილმდნად ვეტექტიკას, რომელიც განლაგდება ლითონის კრისტალებს შორის საზღვრებზე. ამის შედეგად ლითონის კრისტალებს შორის კავშირი და სიმტკიცე მცირდება. ამგვარად, თუ არ ქნება განსაკუთრებული ღონისძიებები მიღებული, რკინის კრისტალიზაციის პროცესში გოგირდი მარცვლებს შორის FeS ან ვეტექტიკური ნარევის ($FeS-Fe$) სახით გამოიყოფა. ეს ორივე სითხე, რომელთა დნობის ტემპერატურები 1190 და 985 შესაბამეა, კარგად ასელებს რკინის მარცვლებს. ცხელი გლინივის პროცესში, როდესაც ლითონის ტემპერატურა $1000^{\circ}C$ აღემატება, რკინის სულფიდები და ოქსიდულფიდები ან დნება, ან რბილდება და იწვევს ფოლადის სიმტკიცის საგრძნობლად დაცემას. ამ მოვლენას წითელ მეტეხობას უწოდებენ. გარდა ამისა, სხმულებსა და ზოდების კრისტალიზაციის პროცესში გოგირდი იწვევს ე. წ. ცხელი ბზარების წარმოქმნას.

წითელმეტეხობის მოვლენა შესაძლებელია საგრძნობლად შევამციროთ ლითონში ისეთი ელემენტების შეტანით, რომელთაც გოგირდთან შეერთების დიდი სწრაფვა აქვთ, ეიღერ რკინას და ძეილადდნობად სულფიდებს წარმოქმნიან. ეს უკანასკნელი ფოლადის კრისტალიზაციის პროცესში მყარი ჩანართების სახით გამოიყოფან. ამგვარ ელემენტებს ძირითადად მანგანუმი და ალუმინი წარმოადგენს. გოგირდის უარყოფითი გავლენის ეფექტურ შემცირებას იძლევა ფოლადში რვიითი ლითონების შეტანა (Ce, Pr, Ni და სხვ.) რომლებიც FeS -ის ტიპის ძეილადდნობად სულფიდებს წარმოქმნიან.

ცნობილია, რომ გოგირდი ზრდის ფოლადის კრით დამუშავების უნარს ამიტომ ზოგიერთ, მაგალითად, ავტომატურ ფოლადებში სპეციალურად შეაქვთ $0,1 - 0,2\%$ გოგირდი.

ფოლადის თვისებებზე გოგირდის უარყოფითი გავლენა გამოიხატება აგრეთვე, სხეულში მისი ლიკვაციით: რაც მეტია სხმულის გაშვარების დროის ხანგრძლივობა, მით მეტია მასში გოგირდის ლიკვაცია.

ზეუხედავად იმისა, რომ გოგირდი ხასიათდება შედარებით დაბალი აორთქლების ტემპერატურით ($445^{\circ}C$), იგი აირად ფაზაში ელემენტარული სახით პრაქტიკულად არ გადადის. ფოლადსა და პროცესებში ძირითად აირად შენაერთს, რომელსაც გოგირდი წარმოქმნის, SO_2 -ი წარმოადგენს.

გოგირდის ნაწილობრივი მოცილება მიზინარეობს თხევადი ლითონის მოცულობაში CO -ის ბუშტულების მეშვეობით, რომელთაც გოგირდის გარკვეული რაოდენობა მიჰყვება. რაც მეტია ლითონში ქანგბადისა და გოგირდის შემცველობა, მით მეტი რაოდენობის გოგირდი მიჰყვება CO -ის ბუშტულებს. CO -ის ბუშტულები S -ის ვარკვეული პარციალური წნევის ლითონიდან წიდაში გადადის, საიდანაც ლუმლის ატმოსფეროში გამოიყოფა.

თხვეად და აირად ფაზებში ძირითადი რეაქციები. რომელთა მიმდინარეობის სინჯარსა და მიმართულებას საგრძობლად დაამოკლებული ლითონი გოგირდის კონცენტრაციის შემცირება ან ზრდა, შემდეგია:

ა) ლითონ-აირის გამყოფ ზედაპირზე, როდესაც CO-ს პეშტელები ლითონის მოცულობაში,



ბ) წილა-აირის გამყოფ ზედაპირზე, როდესაც CO-ს ბეშტელები წილის მოცულობაში,



გ) წილა-აირის გამყოფ ზედაპირზე (ეშეაღოდ წილის ზედაპირისა და ლემლის აღმისფარის შორის)



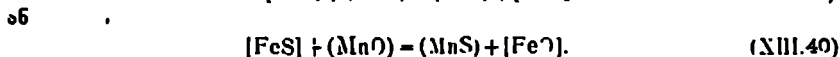
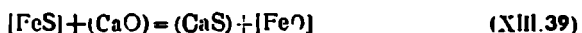
ენგბად კონვერტირებში SO_2 -ის წარმოქმნა აირად ფაზაში (XIII.33) და (XIII.34) რეაქციებით მიმდინარეობს. მარტენის პროცესში შესაძლოა (XIII.35) რეაქციის განვითარება როგორც პირდაპირი, ისე შებრუნებული მიმართულებით. პირდაპირი მიმართულებით მაშინ მიმდინარეობს, როცა ლემელი სუფთა (გოგირდის შემცველობით) სახობზე მუშაობს, ე. ი. SO_2 აირად ატმოსფეროში ხვდება (XIII.33) და (XIII.34) რეაქციების მიმდინარეობით.

ფოლადსადნობ პროცესებში დესულფურაცია ხორციელდება გოგირდის ისეთ სულფიდებში გადასვლით, რომლებიც ლითონში უხსნადია, ხოლო წილაში კი, პირიქით, -- ხასიათდება კარგი ხსნადობით. ფუჟე მარტენის პროცესში დესულფურაცია კირის გამოყენებით ხორციელდება, რომლის დროსაც კალციუმის სულფიდი წარმოიქმნება.

ცნობილია, რომ ლითონების მიმართ გოგირდს აქვს შალალი ზედაპირული აქტიურობა. ამიტომ დესულფურაციის პროცესი ძირითადად ლითონ-წილის გამყოფ ზედაპირზე მიმდინარეობს. თანამედროვე იონური თეორიის საფუძველზე ფოლადის დესულფურაციის მექანიზმი შემდეგი სქემით შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



მოლეკულური თეორიის თანახმად, აღნიშნული რეაქციები შესაძლოა შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ:



(XIII.40) რეაქციის მეორეხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება. (XIII.39) რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა შემდეგი განტოლებით გამოისახება:

$$K_s = \frac{(CaS) \cdot [FeO]}{[FeS] \cdot (CaO)}. \quad (XIII.41)$$

გოგირდის მოცილების რაოდენობრივ მახასიათებლად მიღებულია წილასა და ლითონში გოგირდის წონასწორული კონცენტრაციების ფარობა

$$L_s' = \frac{(CaS)}{[FeS]} = \frac{1}{K_s} \cdot \frac{(CaO)}{[FeO]} \approx \frac{(S)}{[S]}, \quad (XIII.42)$$

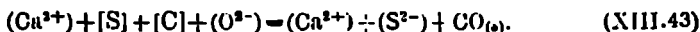
რომელსაც გინგოგირდების მაჩვენებელი ეწოდება.

ნოყვანილი გამოსახულებების მიხედვით შესაძლოა გაკეთდეს შემდეგი პრაქტიკული დასკვნები:

1. ლითონიდან გოგირდის მოცილება მით უფრო სრულყოფილია, რაც მერთა წილაში გახსნილი CaO -ს რაოდენობა, ე. ი. რაც მერთა წილის ფუძია-ნობა და ნაკლებადია ლითონი დაქანგული (ე. ი. რაც ნაკლებია მასში რკინის ქანგეულების რაოდენობა);

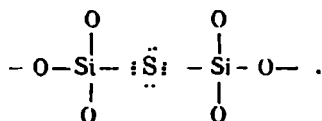
2. ტემპერატურის ზრდა ხელს უწყობს ლითონიდან გოგირდის მოცილებას. ამ დროს მიმდინარეობს წილის მიერ კირის ასიმილიაციის სიჩქარის ზრდა.

დნობის დასაწყისში დესულფურაციის პროცესის სისრულე ლითონში ნახშირბადის შალალ შემცველობის შემთხვევაში გოგირდის აქტივობის კოეფიციენტი γ_s -ის ზრდით აიხსნება. ლითონში ნახშირბადის მაღალი შემცველობისას კირით დესულფურაცია ფაზებს შორის ვამყოფ ზედაპირებზე შესაძლოა შემდეგი რეაქციით განხორციელდეს:



ფუჩე წილები ხასიათდება გოგირდის შთანთქმის ყველაზე მაღალი უნარი, რომელშიც იგი შესაძლოა იქნეს მარტივი S^{2-} ან რთული ანიონის სახით. გოგირდის განაწილების კოეფიციენტი ასეთ წილებში $L_s \approx 6-7$ აღწევს.

მკაფე წილებს აქვს გოგირდის შთანთქმის მინიმალური უნარი და $L_s \approx 0,5-1,5$. ძნელი წარმოსადგენია მკაფე წილებში. გოგირდის ხსნადობა და მისი S^{2-} იონის სახით აჩვენდება. უფრო მოსალოდნელია, რომ მკაფე წილებში გოგირდი შედის რთულ ქანგბადსილიციუმის კომპლექსურ ანიონებში და ნაწილობრივ ჩანაცვლებულია ქანგბადის ანიონების მაგივრად, მაგალითად, შემდეგი სქემით:



რკინის ქანგეულებისაგან შემდგარ წილებს გოგირდის შთანთქმის საგრძნობი უნარა აჩვენებია. ფოლადის დნობის პროცესში ასეთ წილებსა და ლითონს შორის გოგირდის განაწილების კოეფიციენტი $L_s \approx 3-5$ აღწევს. იგი ტემპერატურის ვარდნით მცირდება.

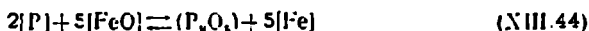
ე) ფოსფორის ქანგვა-აღდგენის რეაქციები

ფოსფორი, გოგირდის მსგავსად, მკაფე მინარევია და იგი იწვევს ფოლადში მექანიკური თვისებების გაუარესებას. მას აქვს თხევად ლითონში განუსაზღვრელი ხსნადობა, მაგრამ მყარ რკინაში (განსაკუთრებით აუსტენიტში) ცუდად იხსნება. ამიტომ ფოლადის კრისტალიზაციისა და შემდგომი მისი გაცივების პროცესში ფოსფორი რკინის ფოსფიდების სახით გამოიყოფა. მათი დნობის ტემპერატურა ფოლადის კრისტალიზაციის ტემპერატურასთან შედარებით საგრძნობლად დაბალია. რკინის ფოსფიდები კარგად იხველებს ლითონს და მისი მარცვლების საზღვრებზე განლაგდებიან, რის გამოც ლითონის პლასტიკურობა ცუდად იხსნება. ამიტომ ფოსფორი იწვევს ფოლადის ციფმეტეზობას. ამიტომ აღეგნენ მისი შემცველობის მტკიცე ზღვრებს. ფოლადში გოგირდის შემცვე

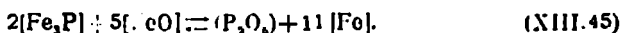
ლობა 0,015—0,050% ფარგლებში მერყეობს. გარდა აღნიშნულისა, ფოსფორი 500—600°C-ზე იწყვეს ფოლადის სიძეიფეს, ანუ ლურჯმეცხობას.

ქანგბადთან ფოსფორი რიგ ნაერთებს წარმოქმნის. მკვრამ ფოლადის წარმოების პროცესისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ფოსფორის ბუნებრივ P_2O_5 (ფოსფორის ანჰიდრიდი) ენიჭება. მისი დნობის ტემპერატურა 569°C შეადგენს, ხოლო დუღილისა 590°C. მისი მოცულება ლითონებისაგან ძირითადად მისი სრულყოფილი დაქანგვითა და წიდაში გადაყვანით წარმოებს. ფოსფორი რკინაში ოთხი ქიმიური ნაერთის სახით გვხვდება Fe_3P , Fe_2P , FeP და FeP_2 ; მათგან შედარებით მდგრად ნაერთს პირველი ორი წარმოადგენს.

ფოლადების დეფოსფორაციის განხილვისათვის უშეგებენ, რომ თხევად ლითონში ფოსფორი Fe_3P (რომელიც შეიცავს 15,6% P) ან ელემენტარული P-ს სახითაა. ფოლადების დეფოსფორაციის პროცესი შესაძლოა შემდეგი რეაქციებით იქნას გამოსახული:

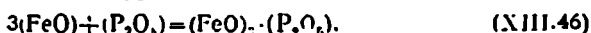


აბ



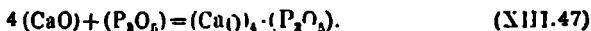
ეს რეაქციები მარცხნიდან მარჯვნივ სითბოს დიდი რაოდენობის გამოყოფითა და P_2O_5 -ის წარმოქმნით მიმდინარეობს. თავისუფალ მდგომარეობაში წიდაში P_2O_5 არ შეიძლება არსებობდეს, რადგანაც მაღალ ტემპერატურაზე იგი არანდგრადია და შესაქლოა შექცევადი რეაქციის წარმართვა, ე. ი. წიდიდან ფოსფორის აღდგენა და ლითონში გადასვლა.

ფოლადსადნობ პრაქტიკიდან შრავალი დაკვირვებებისა და ცდების შედეგად ცნობილია, რომ P_2O_5 -თან მდგრადი ნაერთის მიღება შესაძლოა ფუძე წილებში რკინის ქანგეულების არსებობით. ცნობილია, რომ რკინის ქანგეულებთან ძლიერა შეძლევა ვისთაბებს: $Fe_2O_3 \cdot P_2O_5$; $2Fe_2O_3 \cdot 3P_2O_5$; $3FeO \cdot P_2O_5$. მათგან, ფუძე მარტენის პროცესისათვის მნიშვნელოვან როლს რკინის ფოსფატის წარმოქმნა ისრულებს რეაქციით

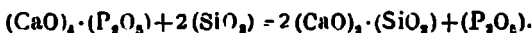


რომელიც წარმოადგენს არამდგრად ქიმიურ ნაერთს და შუალედ პროდუქტად გვევლინება.

ამებამდ დადგენილია, ფოლადსადნობ პროცესებში ფოლადების დეფოსფორაციისათვის მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება წიდაში CaO -ის არსებობას იმ პირობით, რომ წიდაში არას FeO -ს გარკვეული რაოდენობა. სხვა ელემენტებთან შედარებით CaO წიდაში ფოსფორის ანჰიდრიდთან მდგრად ქიმიურ ნაერთს იძლევა



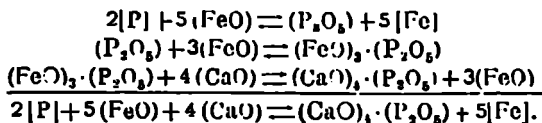
მიუხედავად ამისა წიდაში SiO_2 ის მაღალი შემცველობის შემთხვევაში ეს ნაერთი შესაძლოა შემდეგი რეაქციით დაიშალოს:



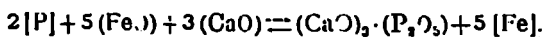
რეალურ წილებში ყოველთვის არის SiO_2 -ის გარკვეული რაოდენობა, რომელიც დაბლა ცდებს რკინის ქანგეულებს აქტივობას. ამის შედეგად ფოსფორი რომელიც შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე იყო გადასული წიდაში, ტემპერატურის ზრდით იწყებს აღდგენას და ფოლადსადნობ ტემპერატურულ პი-

რობებში ($> 1500^{\circ}\text{C}$) პრაქტიკულად თითქმის მთლიანად კვლავ ლითონში გადადის. ამგვარად, შედარებით დაბალ ტემპერატურაში თხევადი ლითონისაგან ფოსფორის ეფექტური მოცილება შესაძლოა რკინის ეანგულებით მდიდარი წილების მეშვეობით.

შესაძლოა ითქვას, რომ დეფოსფორაციისათვის აუცილებელია მაღალი ფუძიანი წილების შექმნა, სადაც CaO ს შემცველობა საკმარისია იქნება როგორც $(\text{CaO})_4 \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_2$. ასევე $(\text{CaO})_2 \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_3$ წარმოსაქმნელად. ამ შემთხვევაში P_2O_5 -ის აქტივობა წიდაში მკვეთრად ეცემა. ამგვარად, წიდაში მდგრადი $(\text{CaO})_4 \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_2$ -ის წარმოსაქმნელად აუცილებელია ფოლაში ფოსფორის დაეანგვა და P_2O_5 -ის სახით მისი წიდაში გადასვლა. ეს პროცესი შესაძლოა შემდეგი რეაქციებით წარმოვიდგინოთ:



როგორც ეს ჯამური რეაქცია გვიჩვენებს, ლითონისაგან ფოსფორის მოცილებისათვის აუცილებელია წიდაში FeO -ის არსებობა. გარდა აღნიშნული ნაერთისა $(\text{CaO})_4 \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_2$, შესაძლოა მიმდინარეობდეს შედარებით ნაკლებ მდგრადი ქიმიური ნაერთის მიღების რეაქციაც



ამგვარად, შესაძლოა ჩამოყალიბდეს ფოლადის დეფოსფორაციისათვის აუცილებელი პირობები: 1) წიდაში რკინის ეანგულების მაღალი აქტივობა ე. ი. წიდაში რკინის ეანგულების მაღალი შემცველობა; 2) წილის საკმარის მაღალი ფუძიანობა; 3) დნობის პროცესში წილის მოხდა და დაბალფოსფორიანი წილების შექმნა; 4) შედარებით დაბალი ტემპერატურული პირობები.

თუ ერთი რომელიმე პირობა არ იქნება შესრულებული, მაშინ წიდიდან ფოლადში ფოსფორი აღდგება, ანუ მოხდება რეფოსფორაცია.

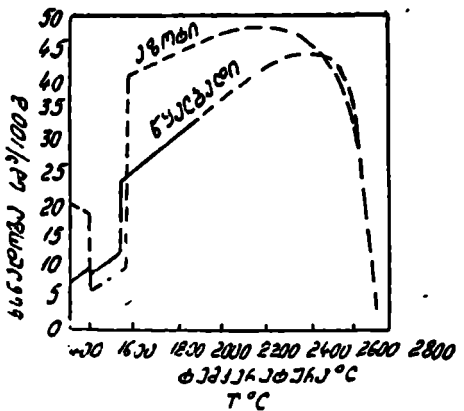
§ III.4. აირი ფოლადში

ფოლადის წარმოების ჩვეულებრივ პირობებში შეუძლებელია ისეთი ფოლადების მიღება, რომლებშიც არ იყოს გახსნილი აირი. უპირველეს ყოვლისა ეს უკანასკნელი იმითაა გამოწვეული, რომ დნობისათვის გამოყენებული ნებისმიერი მასალა აირის გარკვეულ რაოდენობას შეიცავს; მეორეც ის, რომ ყოველ ფოლადსა და აგრეგატის მუშა არეში სხვა აირებთან ერთად არის აზოტი და წყალბადი ან წყლის ორთქლი. ისინი ადვილად იხსნებიან თხევად ლითონში და გაჟეირებისას მასში რჩებიან.

აზოტისა და წყალბადის ხსნადობა რკინაში ექვემდებარება ზოგად კანონს, ე. წ. კვადრატული ფესვის კანონს, რომელიც პირველად გერმანელმა მეცნიერმა სივერტსმა დაადგინა და მისი სახელითაა ცნობილი: თხევად ფოლადში აირის წონასწორული შემცველობა პროპორციულია აირად ფაზაში მისი პარციალური წნევის კვადრატულ ფესვისა და გამოსახება განტოლებით

$$[C] = k_r \sqrt{P_r}, \quad (\text{XIII.48})$$

სადაც [L] არის რკინაში აირის შემცველობა; P_{r_2} — აირად ფაზაში აირის პარციალური წნევა; k_2 — პროპორციულობის კოეფიციენტი (წონასწორობის კონსტანტა), რომელიც რიცხობრივად რკინაში აირის ხსნადობის ტოლია ($P_{r_2} \approx i \text{ ატ}$) და დამოკიდებულია ტემპერატურასა და ლითონის შედგენილობაზე.



ნახ. XIII.2. რკინაში აბ-ტ-სა და წყალბადის ხსნადობის ტემპერატურული დამოკიდებულება (1 ატ პარციალური წნევის დროს).

რკინაში აირის ხსნადობის პროცესი ენდოთერმულ პროცესს წარმოადგენს; ამიტომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს მათი ხსნადობის ზრდას; პროცესის ცენტოთერმულობა იმით აიხსნება, რომ აირის მოლეკულების ატომებს შორის ბმის რღვევისათვის გარკვეული სიდიდის ენერჯია იხარჯება.

აირის ხსნადობის მეორე ძირითად ზოგად კანონს შემდეგი წარმოადგენს: ლითონში აირის ხსნადობა თხევად მდგომარეობიდან წყარში გადასვლისა და მყარ მდგომარეობაში ალკოტომიულ გარდაქმნების დროს ნახტომისებურად იცვლება; ამასთან მაღალტემპერატურულ γ -Fe მოდიფიკაციაში აირის ხსნადობა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე დაბალტემპერატურულ γ -Fe მოდიფიკაციაში. როგორც XIII.2 ნახაზიდან ჩანს, თხევადი ლითონი დნობის ტემპერატურაზე გაცილებით უფრო მეტი რაოდენობის აირს ხსნის, ვიდრე მყარ მდგომარეობაში. ტემპერატურის თანდათანობითი აწევით აირის ხსნადობა ლითონში დასაწყისში სწრაფად იზრდება, ხოლო შემდეგ პროცესი ნელა მიმდინარეობს. ხსნადობის მრუდი ვადრს მიქსიმუმზე; ტემპერატურის შემდგომი ზრდით იგი თანდათან ეცემა და დუღილის ტემპერატურაზე ნულს უტოლდება. როგორც XIII.2 ნახაზიდან ჩანს რკინაში წყალბადის მაქსიმალური ხსნადობა 43 სმ³/100 გ შეადგენს, ანუ 0,0059%; აზოტისა — 47 სმ³/100 გ, ანუ 0,059%.

ცნობილია, რომ ბუშტულების წარმოქმნა თხევად ლითონსა და, საერთოდ სითხეებში, ყოველთვის ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე მიმდინარეობს; ჭურჭლის ძირზე, ლუმის ქვევზე ან ლითონისა და წილის გამყოფ ზედაპირზე. ბუშტულებია ზრდა და მოწყვეტა დასველების კუთხის სიდიდესთან დაკავშირებით სხვადასხვანაირად წარმოებს.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ფოლადში გახსნილი აირი საგრძნობლად მოქმედებს მის ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებზე. ამიტომ ფოლადებიდან აირის მოცილებას დიდი ყურადღება ექცევა.

განვიხილოთ ფოლადებში აზოტისა და წყალბადის ხსნადობა ცალკე

ა) ფოლადებში აზოტის ხსნადობა

ფოლადებში აზოტის შემცველობა დიდადაა დამოკიდებულა გამოდნობის პროცესის ტიპზე (%).

| | |
|--------------------------------|---------------|
| თომასის | 0,015 — 0,02 |
| ბესემერის | 0,01 — 0,015 |
| ელექტრორკალური | 0,005 — 0,01 |
| მარტენის | 0,002 — 0,005 |
| ჯანგბად-კონვერტერული | 0,002 — 0,005 |

ეს განსხვავება აიხსნება დნობის პროცესში აზოტის შთანთქმისა და გამოყოფის არაერთგვაროვანი პირობებით: კონვერტერულ პროცესში დნობის დროს ლითონი უშუალოდ კონტაქტშია ჰაერსა და აირად ფაზასთან, რომლებშიც მაღალია აზოტის პარციალური წნევა ($P_{N_2} = 0,65 - 0,85$ ატ) და ინტენსიურად შთანთქმება იგი ლითონის მიერ. მიუხედავად ამისა აზოტის შთანთქმა გამოდნობის ყველა პროცესში ვერ აღწევს წონასწორულ მდგომარეობას — მისი შემცველობა ლითონში, სკეულუმბრავ, ორჯერ (და მეტჯერ) ნაკლებია წონასწორულ აირად ფაზასთან შედარებით.

მარტენის პროცესში აზოტის შთანთქმის პირობა არახელსაყრელია, რადგანაც ლითონი გამოყოფილია და დაკულია აირული ფაზისაგან წილის გარკვეული ფენით. ეს უკანასკნელი კი აზოტის მიმართ თითქმის არაშეღწევადია. გარდა აღნიშნულისა, ლითონის აბზანის დუღილის პროცესში CO-ს ბუშტულებს აზოტი ლითონიდან აირულ ფაზაში გამოაქვს. ამიტომაც, რომ მარტენის ფოლადში აზოტის შემცველობა შედარებით დაბალია. ანალოგიური პირობაა ელექტრორკალურ ლუმელშიც, ხოლო იმის განსხვავებით, რომ ელექტრული რკალი აწარმოებს აზოტის მოქიედების აქტივიზაციას, რაც რამდენადმე ზრდის მის შემცველობას ლითონში.

თხევადი ლითონის ზედაპირზე აზოტის მოლეკულები განიცდის ატომებად დისოციაციას, რის შემდეგაც მასში ხსნება და Fe-N სისტემაში წარმოქმნის ლითონურ კავშირს. აზოტის ხსნადობა თხევად რკინაში შესაძლოა შემდეგი ტოლობით წარმოვიდგინოთ $1/2 [N_2] = [N]$. რკინაში აზოტი არის ნიტრიდების (Fe_3N , Fe_4N) სახით. აზოტის ხსნადობა დიდად არის დამოკიდებული ლითონის შედგენილობასა და ტემპერატურაზე. ცნობილია, რომ ნახშირბადი, სილიციუმი და ფოსფორი ამცირებს რკინაში აზოტის ხსნადობას, ხოლო მანგანუმი, ქრომი, ტიტანი, ალუმინი, ვანადიუმი და ნიობიუმი პირიქით — ზრდის; ვოლფრამი და მოლიბდენი მცირე გავლენას ახდენს მის ხსნადობაზე.

ჯანგბადის გავლენა თხევად რკინაში აზოტის ხსნადობაზე უკუაქრობით საბოლოოდ დადგენილი არ არის; არსებობს ურთიერთსაწინააღმდეგო მოსაზრებანიც. უკანასკნელ წლებში ჩატარებული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ჯანგბადი და გოგირდი, რომლებიც წარმოადგენენ ზედაპირულ აქტიურ ელემენტებს, რკინაში ამცირებს აზოტის ხსნადობას. სუფთა რკინასა და რკინა-ნახშირბადის შენადნობებშიც აზოტი გვევლინება ზედაპირულ-აქტიურ ელემენტად, მაგრამ მისი აქტიუობა გაცილებით დაბალია, ვიდრე ჯანგბადისა.

თხევადი ლითონის აზოტით გაჯერებისა და აზოტის გამოყოფის პრო-

ცესზე დიდ გავლენას ახდენს ნახშირბადის დაქანგვა და ლითონის აბაზანის ინტენსიური დუღილი. ლითონის ზედაპირზე ნახშირბადის წარმოქმნა დაბლა წევს აზოტის პარციალურ წნევას, წინააღმდეგობას უწევს მის კონტაქტს ლითონთან და ამცირებს აზოტის ადსორბციის სიჩქარეს. ზოგიერთი მეკლეგარის აზოტით, გამდნარი ლითონის მიერ აზოტის შთანთქმის აქტივობა განისაზღვრება ზედაპირული ფენიდან ლითონის სიღრმეში აზოტის ატომების დიფუზიის სიჩქარით. უკანასკნელი მონაცემებით, ფოლადის დნობისას ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე აზოტის შთანთქმისა და განყოფის პროცესები განსაზღვრება ძირითადად ლითონის ზედაპირულ ფენაზე აზოტის ადსორბციის სიჩქარით. თხევად რკინაში აზოტის მაქსიმალური ხსნადობა (დაახლოებით 0,56—0,59%) შეიმინევა $1570 \div 1670^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში (ნახ. VIII.2).

აზოტი, ფოსფორის მაგავსად, დაბლა წევს ფოლადის დარტყმით სიბლანტეს. ამიტომ კონსტრუქციული ფოლადების გამოდნობის შემთხვევაში ცდილობენ მის მაქსიმალურად მოცილებას. საჭიროდ ლეგირებულ შემთავრებად ქრომნიკელიან და ქრომნიკლმანგანუმიან ფოლადებში იგი ხშირად მალეგირებულ ელემენტად გვევლინება. რომელიც ზრდის აუსტენიტის მდგრადობას და აუმჯობესებს მის მექანიკურ და კოროზიულ თვისებებს.

ბ) ფოლადებში წყალბადის ხსნადობა

წყალბადი ლითონში მანერე მინარეც წარმოადგენს. იგი აუარესებს ფოლადის პლასტიკურობას და ხელს უწყობს ლითონში ფორების, ფლოკენებისა და ბზარების წარმოქმნას.

დადგენილია, რომ თხევად რკინასა და მის შენადნობებში წყალბადი რამდენიმე სახით არსებობს: ატომური, პროტონული და ჰიდრიდების სახით (ტიტანით ან ნიობიუმით ლეგირებისას). თხევად რკინაში წყალბადის წონასწორული კონცენტრაცია პროპორციულია კვადრატული ფესვისა მისი პარციალური წნევიდან. ხსნადობის კონსტანტა (K_H) დაპოკიდებულია ტემპერატურასა და ლითონის შედგენილობაზე.

1810°C ტემპერატურაზე თხევად რკინაში წყალბადის ხსნადობა 28,8 სმ³/100 გ შეადგენს. მყარ რკინაში დნობის ტემპერატურაზე წყალბადის ხსნადობა 13,5—14,5 სმ³/100 გ ზღვრებში ზერყუობს (ნახ. VIII.2).

დადგენილია, რომ რკინაში წყალბადის მაქსიმალური ხსნადობა (42,5 სმ³/100 გ) აღინიშნება $2400—2600^{\circ}\text{C}$ -ზე. ტემპერატურის შემდგომი ზრდა იწვევს რკინის ინტენსიურ აორთქლებასა და მასში წყალბადის ხსნადობის შემცირებას.

რკინაში წყალბადის ხსნადობაზე დიდ გავლენას ახდენს მასში მალეგირებელი ელემენტების არსებობა. მაგალითად, ტიტანი, ნიობიუმი, ცირკონიუმი, თორიუმი, ვანადიუმი და ზოგიერთი იშვიათი ელემენტები დაბალ ტემპერატურაზე ჰიდრიდების წარმოქმნით ზრდიან თხევად რკინაში წყალბადის ხსნადობას თხევად რკინაში Ti—H და Nb—H დაჯგუფებების არსებობა ამჟამად ექსპერიმენტითაა დამტკიცებული. ჰიდროღწარმოქმნელი ელემენტები, რომელთაც წყალბადის მიზართ მალადი სარბციული უნარო აქვთ, რკინის მყარ შენადნობებში ზრდიან მის ხსნადობას.

მანგანუმი, კობალტი, ნიკელი, ქრომი და მოლიბდენი სულთ გავლენას ახდენს რკინასა და მის შენადნობებში წყალბადის ხსნადობაზე.

ნახშირბადი, სილიციუმი და ალუმინი დაბლა წევს წყალბადის ხსნადობას თხევად რკინაში. ისინი წარმოქმნიან რკინის ატომებთან დაჯგუფებებს ატომებს შორის ძლიერი კავშირით, რის შედეგადაც ამცირებენ რკინის, როგორც აბსორბენტის, აქტივობას. დადგენილია, რომ ქანგბადის გავლენით წყალბადის ხსნადობა თხევად ლითონში საგრძნობლად ეცემა.

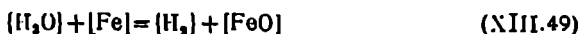
ტემპერატურის დაწევით მიმდინარეობს თხევადი ლითონიდან წყალბადის ინტენსიური გამოყოფა, რაც მყარ ლითონებში მისი მცირე ხსნადობით აიხსნება. ლითონის კრისტალიზაციის პროცესში წყალბადისა და სხვა აირების გამოყოფა იწვევს მასში ნიჟარების წარმოქმნას. ეს ნიჟარები ბუშტულების სახით წარმოიქმნება მზარდ კრისტალებს შტოების ღერძებს შორის და შენდგაოი მათა გამოყოფის სიძნელის გამო იხლართება და ჩაება ლითონში.

აბრუნის მსგავსად თხევად რკინაში წყალბადის ხსნადობა შესაძლოა შემდეგი ტოლობით წარმოვიდგინოთ:

$$\frac{1}{2} [H_2] = [H].$$

თხევად ლითონში წყალბადის ხსნადობა დიდადა დამოკიდებული აქვს თუროში მის პარციალურ წნევასა და ტემპერატურაზე. მისი ხსნადობა ეპორჩილება სივერტის კანონს.

ფოლადის წარმოების დნობის პერიოდში ლითონი უშუალო შეხებაშია ღუმლის ატმოსფეროსთან, რომელიც შეიცავს წყალბადისა და წყლის ორთქლის გარკვეულ რაოდენობას, ამის შედეგად ფოლადში გადადის წყალბადი (გაზსნა). წყლის ორთქლს შეუქლია დაქანგოს რკინა შემდეგი რეაქციით:



წარმოქმნილი წყალბადი და რკინას ქვეყ ნგი კარგად იხსნება თხევად ლითონში. მთლიანობაში ეს პროცესი შესაძლოა განხილულ იქნეს რკინაში წყლის ორთქლის ხსნადობა. ამის შედეგად იზრდება მასში წყალბადისა და ქანგბადის შემცველობა. ეს პროცესი შესაძლოა შემდეგი განტოლებით გამოისახოს:



თხევად ლითონში განმეანგველების (Mn, Si, Ti, Al) დიდი კონცენტრაცია ანელებს ან მთლიანად ახშობს ქანგბადთან ნახშირბადის ქმედებას (აბაზანის დულილს), რაც საგრძნობლად მოქმედებს წყალბადის გამოქვეყებაზე. ეს უკანასკნელი თხევადი ლითონიდან ბუშტულების გამოყოფასა და დულილის შემცირებასთანაა დაკავშირებული. ლითონში წყალბადის შემცველობა საგრძნობლად აა დაპოკიდებული, აგრეთვე, აიროვანი ფაზიდან ლითონში წყალბადის გადასვლის კინეტიკაზეც. აირის მაღალი ზედაპირული აქტივობის შემთხვევაში აღიკლდება მისი დესორბცია. ლითონში გახსნილი აირის ზედაპირული ინაქტივობა აწელებს დეგაზაციის პროცესს.

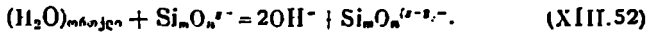
ფოლადების გამოდნობის პროცესში ლითონში წყალბადის გადასვლა ნორციელდება წიღის ფენის გავლით. მეტალურგიულ წიღებში, რომლებიც არ შეიცავენ ალკილად აღსადგენ ქანგეულებს (FeS, MnO და სხვ.), იხსნება მხოლოდ წყლის ორთქლი. ფტორიდული წიღებიდან წყლის ორთქლთან ერთად გამოიყოფა აგრეთვე გარკვეული რაოდენობის H₂ და HF.

მრავალი მკვლევარის აზრით, წყალბადის ძირითადი ნაწილი წიღაში

იონების ფორმითაა; ფუძე წილებში, რომლებიც შეიცავენ „თავისუფალ“ ჯანგბადს, წყალბადის გახსნა შემდეგი სქემით შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



მეფე წილებისათვის, რომლებიც არ შეიცავენ „თავისუფალ“ ჯანგბადს, ეს სქემა შემდეგ სახეს იღებს:

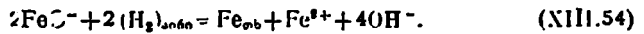


წილაში გახსნილი წყალბადის რაოდენობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს შემდეგი განტოლებით:



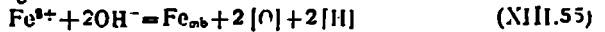
სადაც $k_{11,2}$ ხსნადობის მუდმივაა.

თუ წილის ზედაპირზეა არა წყლის ორთქლი, არამედ წყალბადი, მაშინ წყალბადის გახსნას წინ უსწრებს მისი დაქანგვის პროცესი, რომელიც შესაძლოა წარმოვიდგინოთ განტოლებით

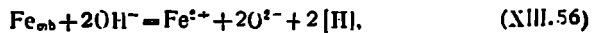


მეფე წილებში წყალბადი გაცილებით მცირე რაოდენობით იხსნება, ვიდრე ფუძეში. ამ უქანასქნელში მისი ხსნადობა CaO -ს კონცენტრაციის მატებასთან ერთად იზრდება. ფუძე წილებში CaO -ს შეცვლა MgO -თი იწვევს წყალბადის ხსნადობის საგრძობლად შემცირებას. ტემპერატურის ცვლილება $1670-2070^{\circ}C$ ფარგლებში მცირედ მოქმედებს წილაში წყალბადის ხსნადობაზე

წილიდან ლითონში წყალბადის გადასვლას თან სდევს $H-O$ კავშირის გაწყვეტი. ლითონ-წილის გაწყვეტი ზედაპირის ელექტრონეიტრალობის შენარჩუნების ესმარება წილიდან ლითონში შედარებით ძლიერი იონების Fe^{\oplus} და Mn^{\oplus} პარალელური გადასვლა. წილიდან ლითონში წყალბადის გადასვლა შემდეგი სქემით გამოისახება:



ან



ან რკინის იონების წონაწილების გარეშე



წილაში წყალბადის შეღწევალობის უნარი დიდად არის დამოკიდებული სიბლანტეზე. ტემპერატურის ზრდა აჩქარებს ატმოსფეროდან ლითონში წყალბადის გადაცემას, რაც სიბლანტის შემცირებასთანაა დაკავშირებული.

ფოლაღებში წყალბადის კონცენტრაციის შემცირების რამდენიმე ხერხი არსებობს. განსაკუთრებით აღსანიშნავია თხევადი ლითონის აბაზანის ინტენსიური დუღილი, თხევადი ლითონის ვაკუუმში დამუშავება, ინერტული აირებით გაქრევა, ჰიდრიდწარმოქმნელი ელემენტების დამატება, ელექტროლიზის შემოქმედება და სხვ.

§XIII.5. ფოლადში არალითონური ჩანართები

ფოლადში არალითონური ჩანართები საგრძობ გავლენას ახდენს მის მექანიკურ თვისებებსა და ხარისხზე. მათ ხშირად წილის ჩანართებს უწოდებენ, რაც არასრულად ასაბუთებს სინაქლილეს: არალითონური ჩანართების წარმოქმნა არ უკავშირდება ნხოლოდ წილას.

ფოლადში არალითონური ჩანართების წარმოქმნის წყაროს წიდა და ცეცხლგამძლე ამონაგის მასალა წარმოადგენს, რომელთანაც თხევადი ლითონი დნობის მთელ პროცესში განუწყვეტელ შეხებაშია. დადგენილია, რომ გაუ-ქნაგავ ფოლადებში არალითონური ჩანართების შედგენილობა პრაქტიკულად არ განსხვავდება იმ წილის შედგენილობისაგან, რომლის ქვეშაც დნობა მიმ-დინარეობდა.

ფოლადებში არალითონური ჩანართების უაყოფიანი მოქმედება, უპირ-ველეს ყოვლისა, ძირითადად ლითონის მთლიანობის რღვევით გამოისახება; მეორე მხრივ, ლითონთან შეჯარებით მათ ახასიათებთ განსხვავებული გაღარ-თობის კოეფიციენტი და დეფორმირების უნარი ამიტომ არალითონური ჩა-ნართებთან ზრდა ფოლადში ამცირებს დაღლით სიმტკიცესა და სხვა მექანი-კურ თვისებებს.

შედგენილობის მიხედვით არალითონური ჩანართები იყოფა: ენგეულე-ბად, სულფიდებად, ნიტრიდებად, კარბიდებად და ფოსფიდებად, აგრეთვე შერეული შედგენილობის ჩანართებად (მაგალითად, ოქსისულფიდებად). ჩვეუ-ლებრივ, კარბიდებს ძირითადად მიიჩნევენ შენადნობების სტრუქტურულ შე-მადგენელ ნაწილად და არა არალითონურ ჩანართებად.

არალითონური ჩანართები, რომლებიც ლითონის სხმულებში გვხვდება, წარმოშობის მიხედვით ორ ჯგუფად იყოფა: ენდოგენური, რომლებიც რეაქციების პროდუქტებს წარმოადგენენ და ეგზოგენური ჩანართები, რომლებიც მექანიკურად ხედებიან ლითონში. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი არალითონური ჩანართი, რომლებიც წარმოიქმნე-ბიან ლითონის დნობისა და კრისტალიზაციის პროცესში.

ჩანართები კრისტალური ან გლობულარული ფორმისაა. თუ ისინი გამდ-ნარ ლითონიდან მყარ მდგომარეობაში გამოიყოფიან, იღებენ კრისტალურ ფორმას, რაც ადრეულ მინერალურ შედგენილობისათვისაა დამახასიათებელი. იგივე არალითონური ჩანართები, რომლებიც თხევადი სახით წარმოიქმნებიან და ლითონზე გვიან მყარდებიან, სფერულ ფორმას იღებენ.

თხევადი ლითონის ტემპერატურის დაცემით მასში ჟანგბადის, გოგირ-დისა და აზოტის ხსნადობა საგრძობლად ქვეითდება. ისინი გამოიყოფიან ლითონიდან და უერთდებიან რა სხვა კომპონენტებს. წარმოქმნიან არალი-თონურ ჩანართება. თუ ამ კომპონენტების ხსნადობა თხევად ლითონში მალა-ლია და კრისტალიზაციის ნომენტში მკვეთრად ეცემა, მაშინ წარმოქმნილი არალითონური ჩანართები ფოლადის სხმულში პირველადი კრისტალების (მარცვლების) ირგვლივ ეკრქეტიკური გარსაკმის ან ჯაჭვების ფორმით გან-ლაგდება. გარდა ამისა, თხევადი ლითონის ტემპერატურის დაცემით იზრდ-ება განმეანგველი ელემენტების განეანგვის უნარი, რაც თავისთავად არალი-თონურ ჩანართებს წარმოქმნის.

მეორე ჯგუფის—ეგზოგენური ჩანართები გარეშე ნაწილაკებს წარმოად-გენს, რომლებიც თხევად ლითონშია გაბნეული. ჩვეულებრივ, ისინი ცეცხლ-გამძლე მასალებს ან წილის გაუქმნარ ნაწილაკებს წარმოადგენენ, რომლებიც თხევად ლითონში (შედარებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში) გამყარე-ბის პროცესში მოხდენენ.

ფოლადში ძირითადად გვხვდება სილიკატური არალითონური ჩანარ-თები.

დადგენილია, რომ მსხვილი ჩანართებისაგან განსხვავებით, წერილი დის.

პერსიული ჩანართები შეიცავს ღია რაოუნობით SiO_2 და შედარებით მცირე Al_2O_3 -ს. სილიკატური დისპერსიული ჩანართების რაოდენობის დაპირისპირება წილის შეფიანობასთან გვიჩვენებს, რომ წილის შეფიანობის დაქვეითებას თან სდევს დისპერსიული ჩანართების რაოდენობის შემცირება. რაც შესაძლებელია წილის მიერ განუანგვის პროდუქტების შთანთქმით იყოს გააოწყული.

წილის ჩანართების ამოტივტივების სიჩქარე მის სიმკვრივესა და ზომებზე დამოკიდებული. ამოტივტივების სიჩქარე შეიძლება გამოვიანგარიშოთ სტოქსის ფორმულით

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\rho_c - \rho_f) \cdot g}{\eta}, \quad (\text{XIII.58})$$

სადაც v არის წილის ნაწილაკის რადიუსი; η — ლითონის სიბლანტე; g — სიმძიმის ძალის აჩქარება; ρ_c და ρ_f — ლითონისა და წილის სიმკვრივე.

ლითონში თბური ველისა და გრავიტაციული ძალების გავლენით არალითონური ჩანართების გადაადგილების ანალიზის შედეგად პ. აგევე იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ლითონიდან არალითონური ნაწილაკებს მოცილება (რომლებიც ქაოსურ თბურ მოძრაობაში არიან) წარმოადგენს ხანგრძლივ და პრაქტიკულიად განუხორციელებელ პროცესს. რეალურად ლითონიდან მიკროჩანართების მოცილება შესაძლოა იმ შემთხვევაში, თუ ცნინი ისეთ ზომებზე აღწევს, რომლებიც უზრუნველყოფენ გრავიტაციული ძალების თბური ველის ძალებზე გადაშტეტებას, ე. ი. ილებენ მამართულ მოძრაობას. ინგუარად, არალითონური ჩანართების მოცილების პროცესი ახალი ფაზის ჩასახვისა და მისი ზრდისაგან შედგება (რომლის დროსაც ამოტივტივების სიჩქარე საკმაოდ დიდია).

დადგენილია, რომ არალითონური ჩანართების ჩანასახის წარმოქმნაზე დიდ გავლენას ახდენს ფაზათშორისი დაკვიპელობა. რამდენადაც ნაკლებია ფაზათშორისი დაკვიპელობა ერთა და იმავე გადაჯერების დროს, იმდენად იოლია და მეტია ჩანასახის წარმოქმნა.

არალითონური ჩანართების გამსხვილებასა და აბაზანიდან მის მოშორებაზე დიდ გავლენას ახდენს მათი კოაკულაციისა (შეერთების) და კოალესცენციის (შერწყმის) პროცესები. ეს კარგად ეთანადება სტოქსის ფორმულის არალითონური ჩანართების ამოტივტივების სიჩქარე პირდაპირპროპორციულია ნაწილაკის რადიუსის კუადრატისა. რამდენადაც დაბალია არალითონური ჩანართების დნობის ტემპერატურა და სიბლანტე, იმდენად თავისუფლად მიმდინარეობს მათი გამსხვილება და ამოტივტივება.

თხევადი ლითონის თბური მოძრაობის შედეგად ნაწილი არალითონური ჩანართებისა ხვდება წილისა და ლითონის შეხების გამოვლ შედაპირზე. იმ შემთხვევაში, თუ არალითონური ჩანართის ნაწილაკებია თხევადი ლითონის მიერ კარგად სველდება და მათ შორის დიდია ადგეზია, მაშინ წილაში მათი გადასვლა გაძნელებულია და ისინი ისევ თხევადი ლითონის ფაზაში რჩებიან

არალითონური ჩანართების მოცილების ულტი პირბები იქმნება მაშინ, როცა ისინი წარმოიქმნიან ლითონის კრისტალიზაციის პერიოდში: ტემპერატურის შემცირებით იზრდება არალითონური ჩანართებისა და თვით ლითონის სიბლანტე, აგრეთვე კრისტალების ზრდა სელს უშლის მათ ამოტივტივებას. ამის შედეგად ჩანართების უშტეტესა ხაწილი ისევ ლითონში რჩება.

§XIII.6. ფოლადის განუანგვა

ყოველივე ზემოაღნიშნულთან გაპოლინარე. საღი ფოლადის ხხპულის მისაღებად აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ფოლადის გამოშვებისა და ჩაპოსნის წინ მასში გახსნილი ქანგბადის რეგულირება (მემცირება) და მისი გადაყვანა ნაკლებად მაგნე მდგომარეობაში. აქ პროცესს განუანგვა ეწოდება. გარდა ამისა, ზოგიერთი განუანგველი ელემენტები ამცირებს ლითონში აზოტისა და გოგირდის შემცველობასა და მათ მაგნე მოქმედებასაც. ამიტომ, ზოგადად, ლითონის განუანგვაში იგულისხმება ქანგბადის, აზოტისა და გოგირდის შემცველობისა და მათი მაგნე მოქმედების შემცირების პროცესი. განუანგვა წარმოადგენს ფოლადისა და ლითონების დნობის საბოლოო ოპერაციას.

თხევადი ლითონის აბაზანაში ქანგბადის კონცენტრაცია დნობის სხვადასხვა პერიოდში სხვადასხვაა. აბაზანაში გახსნილი ქანგბადის კონცენტრაცია ძირითადად ნახშირბადის შემცველობით რეგულირდება. ნახშირბადმცირე ფოლადების გამოდნობისას აბაზანაში გახსნილი ქანგბადის შემცველობა დამოკიდებულია მასში არა მარტო ნახშირბადის კონცენტრაციაზე, არამედ საბოლოო წილის შედგენილობაზეც; გარდა ამისა, ტემპერატურის ზრდით რკინაში ქანგბადის ხსნადობა იზრდება.

ლითონის ტემპერატურის ვარდნით ქანგბადის ხსნადობა მასში მცირდება და განსაკუთრებით მკვეთრად შეიძინება თხევადიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლისას. ჰაელითაა რკინაში ქანგბადის ხსნადობა ოთახის ტემპერატურაზე 0,23% ტოლია, ხოლო 900°C-ზე — 0,03%-სა. 15—20°C ქანგბადის ხსნადობა რკინაში მინიმუმს აღწევს.

რკინის ქანგეულები აფხარს, ძაფის ან ჯაჭვების სახით განლაგდება მარცვლებს შორის, რის შედეგადაც კმინის ლითონის არამთლიანობას ან არაერთგვაროვნებას. ამის შედეგად მარცვლებს შორის კავშირის სიმკვიცე ციხრდება.

ქანგბადის მაგნე მოქმედება კიდევ უფრო ძლიერდება ლითონის გამყარებისას ქარბი გოგირდის გამოყოფით. გოგირდისა და ქანგბადის ადვილდნობადი ნაერთები, რომლებიც მარცვლებს შორის ვანლაგდებიან, გლინვის ტემპერატურაზე ლითონს ანიჭებს წითელ მეტეზობას, ხოლო ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე აქვეითებს მას მექანიკურ თვისებებს.

განუანგვის შემდეგ მიღებულ ფოლადს განუანგული ეწოდება. ფოლადის გამყარება ბოყებში „მშვიდად“ მიმდინარეობს: მისკან ოთქკმის არ წარმოებს აირების გამოყოფა. ამიტომ ასეთ ფოლაჯებს „მშვიდი“ ეწოდება. თუ თხევადი ფოლადის განუანგვა არ წარმოებს, მაშინ ბოყებში გამყარების პროცესში თხევად ფოლადში გახსნილ ქანგბადსა და ნახშირბადს შორის მიმდინარეობს რეაქცია $[O] + [C] = [CO]$. ამასთან, ზოდის გამყარებისას ნახშირუანგის ბუშტულები გამოიყოფა; ბოყეში მიმდინარეობს ლითონის ენერგიული არევა და მისი ზედაპირი თუხთუხებს. ბუშტულების უჩეტესი რაოდენობა ვერ გამოდის ლითონის მოცულობიდან და ნიუარების სახით რჩება ზოდის როცულობაში. ასეთ ფოლადს „მდულარა“ ფოლადი ეწოდება.

არის შემთხვევა, როდესაც განუანგვის მეშვეობით ფოლადს არ აცილებენ მაღლიან ქანგბადს. მასში დარჩენილი გახსნილი ქანგბადი იწვევს ბოყეში

გამყარებისას ლითონის ხანმოკლე „დუღილს“. ასეთ ფოლადებს „ნახევრალ-მშვიდს“ უწოდებენ.

თანამედროვე მეტალურგიაში ძირითადად გამოიყენება განეანგვის ოთხი მეთოდი: დალექვითი, ლითუზიური, ციციხეში წილით განეანგვა და ვაკუუმით განეანგვა.

ა) დალექვითი განეანგვა

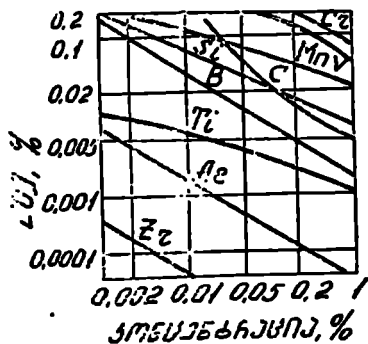
დალექვითი განეანგვა იმაში მდგომარეობს, რომ ლითონში გახსნილი ქანგბადის ძირითადი ნაწილი გადადის უშუალოდ შეტანილ განმეანგველი ელემენტების უხსნად მდგრად ოქსიდებში. ამ მეთოდის დროს თხევად ლითონში შეაქვთ ერთი ან რამდენიმე ელემენტი (Si, Mn, Al და სხვ.) ფეროშენადნობის ან სუფთა სახით, რომელთა სწრაფვაც ქანგბადისაგან გაილეხება მეთა, ვიდრე რკინისაგან.

ამგვარად, ლითონში გახსნილი ქანგბადის ნაწილი გადადის კონდენსირებულ ფაზაში (SiO₂), (MnO), (Al₂O₃) და სხვ. სახით. ამგვარად, ერთგვაროვანი ჰომოგენური სასტემა (დაღვენილია, რომ განეანგვის წინ ლითონის აბაზანაში არის აჩალიაონური ჩანარების მინიმალურა რაოდენობა) განეანგვის შემდგომ გადადის ჰეტეროგენულ — არაერთგვაროვან სასტემაში, რომელშიდაც ქანგვეულების სახითაა შეტივტივებული აჩალიაონური ნაწილაკები.

ამ მეთოდს აქვს თავისი ნიარსახეობა: ლითონის აბაზანის უშუალოდ განეანგვა; ლითონის ნაწილობრივი განეანგვა აბაზანაში და საბოლოოდ ღარსა და ციციხეში; განეანგვა უშუალოდ ციციხეში. ამასთან დაკავშირებით განმეანგველ ელემენტების ამოწვის ხარისხი სხვადასხვა იქნება. მათი ამოწვი ყველაზე მინიმალური ხარისხი მიიღწევა ციციხეში განეანგვის შენახვევაში.

XIII.3 ნახაზზე ნაჩვენებია 1600°C-ზე ელემენტების განეანგვის უნარი. როგორც ჩანს, ყველაზე აქტიურ განმეანგველად ცირკონიუმი გვევლინება, შემდგომ ალუმინი, ტიტანი, ბორი, სილიციუმი, ვანადიუმი, მანგანუმი და ბოლოს ქრომი. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნულ ტემპერატურაზე 0,16% -ზე დაბლა ნახშირბადს ახასიათებს საგრძნობლად დაბალი განეანგვის უნარი, ვიდრე სილიციუმს, ხოლო შედარებით მაღალ კონცენტრაციებზე ნახშირბადი გვევლინება როგორც ძლიერი განმეანგველი.

ფოლადის წარმოებაში სწორად იყენებენ კომპლექსურ განმეანგველებს (მანგანუმ-სილიციუმი, სილიციუმ-კალციუმ-მანგანუმი, სილიციუმ-ალუმინი და სხვ.), რომლებიც იქლევიან ფოლადის დნობისა და კრისტალიზაციის ტემპერატურებში რეაქტიის თხევად პროდუქტებს, ე. ი ადვილდნობად ნაერთებს, რომლებიც თავისუფლად გამოიქვევებიან წილის ფაზაში. ამგვარად, დალექვით განეანგვისათვის გამოიყენება ისეთი ელემენტები, რომლებიც ხა-



ნ.ხ. XIII.3 1600°C-ზე ელემენტების განეანგვის უნარი.

სათლბიან ლითონში გახსნილი უანგბადისაყენ მალალი სწრაფევიო, ვიდრე რკინა. დიდი გაფრცელება პოვა ფეროშენადნობებმა—განმუანგველებმა: ფეროსილიციუმმა, ფერომანგანუმა, ფეროქრომმა და სხვ.

მლულარე ფოლადების განუანგვისათვის გამოიყენება, ძირითადად, მხოლოდ ფერომანგანუმი, რომელიც ლითონში გახსნილ უანგბადს უერთდება რეაქციით $[O] + [Mn] = (MnO)$ და გადადის ლითონში უხსნად ნაერთში— MnO ში, რომელიც შემდგომ წილაში გადაიტანება. განუანგვის პროდუქტები წარმოადენს რკინისა და მანგანუმის ქვეუანგების ალვილდნობად ნაერთს.

მშვიდი ფოლადის განუანგვა სხვადასხვანაირად ხორციელდება: უპირველეს ყოვლისა, აბაზანაში ლითონის გამოშვების წინ შეაქვთ ფერომანგანუმი, შემდგომ ბრძქედელი ან 45° °-იანი ფეროსილიციუმი, ხოლო შემდგომ ღარზე ან ციცხევი უხვეფეროსილიციუმი. საბოლოო განუანგვას ციცხეში ალუმინის შოთებით აწარმოებენ

მშვიდი ფოლადების განუანგვის ნაირსახეობას წარმოადგენს სილიკომანგანუმის ან კოპლექსური განმუანგველის AlC (ალუმინი-მანგანუმი-სილიციუმი) გამოყენება, რომელიც მხოლოდ ციცხეში მიეწოდება.

სილიციუმით განუანგვა მიმდინარეობს რეაქციით $2[O] + [Si] = (SiO_2)$.

განუანგვის შედეგად წარმოიქმნება პროდუქტები—სილიკატები, რომლებიც ძირითადად SiO_2 -სა და FeO -გან შედგებიან. გარდა AlC , ა.ს.ებობს აგრეთვე განმუანგველები KMK (სილიციუმ-მანგანუმი-კალციუმი) და სხვ.

დალექვით განუანგვას სხვანაირად სიღრმით განუანგვას უწოდებენ.

ბ) დიფუზური განუანგვა

ამ მეთოდით განუანგვის შემთხვევაში ამცირებენ წილაში FeO -ის შემცველობას, ე. ი განუანგვენ წილას. ამგვარად, მოცემულ ტემპერატურისა და წილის გარკვეული შედგენილობის პირობებში ირღვევა რკინის ქვეუანგის განაწილების კოეფიციენტის L_{FeO} -ის მნიშვნელობა, რის შედეგადაც წარმოებს უანგბადის გადასვლა ლითონიდან წილაში წონასწორობის დამუარებამდე

$$L_{FeO} = [FeO]/(FeO) = const. \quad (XIII.63)$$

წილის განუანგვისათვის გამოიყენება ალუმინი, სილიციუმი, კოქსი, ბორკალი ($60\% Al + 40\% CaO$) და მათი სხვა ლითონებთან ნაერთები. ამ მეთოდით განუანგვას იშვიათად მიმართავენ, რადგანაც მის განხორციელებისათვის, წილდან ფოსფორის აღდგენის თავიდან ასაცილებლად, აწარმოებენ მის მოხდასა და აბალი წილის შექმნას; ყოველივე აღნიშნულის შემდეგ მიმართავენ დიფუზურ განუანგვას.

განუანგვის ამ მეთოდის გამოყენება ზრდის დნობის ხანგრძლივობას, განმუანგველებისა და წილის წარმოქმნელი მასალების დიდ ხარჯს. წილაში FeO -სა და MnO -ს კონცენტრაციის შემცირების შემდეგ რეაქცია ლითონისა და წილის შორის ნელდება.

დალექვით განუანგვასთან შედარებით დიფუზურ განუანგვას ის უპირატესობა აქვს, რომ რეაქციის პროდუქტები ლითონის მასაში არ რჩება. მსავლესი პრინციპი გამოიყენება ფოლადების სინთეზური წილებით დამუშავების შემთხვევაში. განუანგვის ამ ხეყის ძირითადად ელექტროლუმლებში ფოლადის გამოდნობის უროს მიმართავენ.

გ) ვაკუუმით განქანგვა

როგორც აღვნიშნეთ, ნახშირბადს ფოლადის კარგი განქანგვის უნარი აქვს, რომელიც გამოისახება რეაქციით $[C] + [O] = [CO]$. მისი წონასწორობის მუდმივა იქნება

$$K = p_{CO} (\%C) \cdot (\%O). \quad (\text{XIII } 64)$$

ვაკუუმში ნახშირბადის განქანგვის უნარი საგრძობლად იზრდება. ნახ. შირორქანგვის წნევის შემცირება ვაკუუმში უნდა მიმდინარეობდეს $[\%C] \cdot [\%O]$ ნამრავლის მნიშვნელობის შემცირებით. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ამასთან ფოლადის განქანგვის პროცესს თან არ ახლავს არალითონური ჩანართების სახით კონდენსირებული ფაზის გამოყოფა და აგრეთვე ის, რომ ფოლადის დაქანგვის შემცირებით იოლდება მისი დესულფურაციის შესაძლებლობა, მაშინ ნათელი ხდება ის ფაქტი, რომ ვაკუუმით განქანგვის მეთოდს ფოლადის გაკეთილშობილებასა და მისი ხარისხის ამოღებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

განქანგვის ამ პროცესის დროს ფოლადს 50%-მდე ქანგბადი ცილდება 60—70%-მდე წყალბადი და ნაწილობრივ აზოტი.

ამჟამად ვაკუუმით ფოლადის განქანგვის რამდენიმე ხერხი არსებობს: უშუალოდ ციცხეში; ერთი ციცხვიდან მეორეში გადასხმის; ჯარკვეული ულუფებით; ცირკულაციით: ლუმლიდან ფოლადის გამაშვებისას უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარებით და სხვ.

ცნობილია, აგრეთვე, ისეთი ხერხები, როგორცაა, მაგალითად, ციცხეში ფოლადის ელექტრომაგნიტური არევა ერთდროული ვაკუუმირებით ან განმქანგველებისა და მალეგირებელი ელემენტების შეტანით. ბოლო ათეულ წლებში დამუშავებულია, აგრეთვე, ვაკუუმში თხევადი ფოლადის განქანგვა არგონის გაქრევით. გარდა ამისა, ხშირად გამოიყენება ფოლადების ვაკუუმში ჩამოსხმის მეთოდი. არსებობს კიდევ ფოლადების ვაკუუმ-წილური დამუშავება

დ) ციცხეში თხევადი ლითონის წილით განქანგვა

ციცხეში თხევადი ლითონის წილით განქანგვის მეთოდი შესაძლოა განვიხილოთ როგორც დიფუზური განქანგვის სახესხვაობა. ეს მიმდინარეობს დიდი სიჩქარით. თუ ლუმლიდან გამოშვებულ ლითონს ციცხეში ჩასხმის პროცესში აურევე წიდასთან, რომელიც არ შეიცავს რკინის ქანგვულებს, განვითარდება ქანგვულის სახით ქანგბადის დიფუზია ლითონიდან წილაში. ლითონის ქველი დიდი სიმალიდან წილის ზედაპირზე ვარდის დროს ქვემაცდება წვრილ წვეთებად, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ლითონწილური ემულსია ლითონ-წილის დიდი შეხების ფართობით. ამ მეთოდით ლითონის დამუშავებისათვის წიდას წინასწარ ამზადებენ, ამიტომ მას „სინთეზური“ ეწოდება. ასეთ წილებში CaO -ს შემცველობა დიდია და გარდა განქანგვისა, იწვევს თხევადი ლითონის დესულფურაციასაც. ასეთი წილები ძირითადად შედგება CaO და Al_2O_3 -საგან (1 : 1). ისინი უნდა ხასიათდებოდეს დაბალი ლირებულებით, თხევადი ლითონის მიერ ცუდი დასეელებით, დაბალი სიბლანტათა და მცირე სიმკვრივით.

§ XIII.7. ფოლადის ლიმირება

თანამედროვე პეტალურგიაში მალეგირებულ მინერტებად გამოიყენება მენდელეევის პერიოდული სისტემის როგორც ლითონური, ასევე არალითონური სხვადასხვა ელემენტები.

ელემენტები Si, Mn, P, S და N, რომლებიც გარკვეული შემცველობი თაა ყველა ტიპის ფოლადში, შესაძლოა მიეკუთვნოს მალეგირებელ კომპონენტების რიცხვს იმ შემთხვევაში, თუ მათი კონცენტრაცია აღემატება მარკის ფოლადისათვის დაშვებულ ნორმებს აღმატება.

მალეგირებელი ელემენტების შეტანა ფოლადში გამოწვეულია ამ უკანასკნელის რომელიმე ფიზიკურ-ქიმიური ან მექანიკური გარკვეული თვისებების მისაღებად.

ფოლადის თვისებებზე თავიანთი ზემოქმედების მიხედვით მალეგირებელი ელემენტები ორ დიდ ჯგუფად იყოფა:

I ჯგუფი აფართოებს მყარი ხსნარების უარეს. მათ მიეკუთვნება ისეთი ელემენტები, რომლებიც ხასიათდებიან რკინასთან განუსაზღვრელი ხსნადობით. ასეთებია ნიკელი, კობალტი, მანგანუმი, ნახშირბადი, აზოტი, სპილენძი და სხვ.;

II ჯგუფი ამცირებს უარეს. მათ მიეკუთვნება ისეთი ელემენტები, რომლებიც რკინასთან წარმოქმნიან მთლიანად დახურულ უარეს. ასეთებია ალუმინი, სილიციუმი, ტიტანი, ფოსფორი, ვოლფრამი, ვანადიუმი, ქრომი მოლიბდენი, ნიობიუმი, ცირკონი, ცერეუმი და სხვ.

იმისათვის, რომ ფოლადის გამოდნობისას შევამციროთ მალეგირებელი ელემენტების დანაჯარგები, აუცილებელია ვიცოდეთ მათი უანგბადთან ნათესაობის ხარისხი. ამის მიხედვით მალეგირებელი ელემენტები ორ ჯგუფად იყოფა:

I ჯგუფს მიეკუთვნება ელემენტები, რომელთა უანგბადთან ნათესაობის ხარისხი ნაკლებია, ვიდრე რკინისა, ასეთებია ნიკელი, მოლიბდენი, კობალტი, სპილენძი. ისინი დნობისა და ჩამოსხმის პროცესში პრაქტიკულად არ იტანგებიან და შესაძლოა შევიტანოთ დნობის ნებისმიერ მომენტში.

II ჯგუფს მიეკუთვნება ელემენტები, რომელთაც აქვთ უანგბადისაგან უფრო მეტი სწრაფვა, ვიდრე რკინას. ასეთებია მანგანუმი, სილიციუმი, ალუმინი, ტიტანი, ვანადიუმი, ქრომი და სხვ. დანაჯარგების შემცირების მიზნით, ეს ელემენტები ფოლადში დნობის ბოლოს განუანგვის შემდეგ შეაქვთ.

მალეგირებელი ელემენტები ფოლადში ფეროშენადნობის ან სუფთა სახით შეაქვთ. შესაძლებელია დნობის პროცესში ისინი უანგბადების (მადნების) სახითაც შეიტანონ.

ლეგირებისა და განუანგვისათვის ზშირად იყენებენ, აგრეთვე, ეგზოთერმულ ბრიკეტებს, რომელთა შედგენილობაში არის ამა თუ იმ ელემენტის უანგბადები, განუანგველები, მალეგირებელი და დამუანგველი ფხვნილები. შესაძლებელია მასში წილის წარმოქმნილი დანამატების არსებობაც, რომლებიც წარმოქმნიან თხევადი ლითონიდან სწრაფად მოსაცილებელ ადვილდნობად არალითონურ ჩანართებს.

IV თ ა ვ ი

ფოლადის კონვერტირული წარმოება

კონვერტირული პროცესი წარმოადგენს თხევადი თუჯის ფოლადად გადაქცევის პროცესს, შეკუმშული ჩვეულებრივი ატმოსფერული ან უანგბადით გაზდიდრებული ჰაერის შეტერვით. გარდა აღნიშნულისა, თხევადი გადახურებული თუჯის გაქრევა შესაძლოა ორთქლისა და უანგბადის ან უანგბა-

დისა და ნახშირორქანის ნარევი. ამის შედეგად სწრაფად მიმდინარეობს ქანგვითი პროცესები და თხევადი თუჯის ფოლადად გადამუშავება. ამასთან, იქმნება ლითონის აბაზანაში მაღალი ტემპერატურის მიღწევის შესაძლებლობა, რაც თხევად თუჯში შექმნილი მინარევებისა და ჟანგის ეგზოთერმული რეაქციების შედეგია. რაც მაღალია მინარევების კონცენტრაცია, მით მაღალი ტემპერატურა ვითარდება ლითონის აბაზანაში. ამიტომ შესაძლებელია თხევადი თუჯის გარდა კონვერტერში ნაწილობრივ მყარი ჯართისა და რკინის მადნის ჩატვირთვა.

კონვერტერულ პროცესს სხვა ფოლადისა და პროცესებთან შედარებით რიგი ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობანი აქვს: ა) მაღალი მწარმოებლურობა; ბ) დაბალი თვითღირებულება; გ) დაბალი ხვედრითი კაპიტალური ხარჯები და სხვ. ბოლო დრომდე ფოლადის კონვერტერული წარმოება არამც თუ ვითარდებოდა, არამედ მცირდებოდა, რაც აიხსნებოდა თხევადი თუჯის პაერით გაქრევის წედგად ფოლადის აზოტით გაჯერებით. ეს უკანასკნელი ზღუდავდა კონვერტერულ ფოლადების გამოყენების სფეროს.

პაერის ნაცულად ლითონის გასაქრევად ქანგბადის გამოყენებამ სრულიად შეცვალა კონვერტერული პროცესის განვითარების პერსპექტივები. ქანგბადით გაქრევის შედეგად ლითონში აზოტის კონცენტრაცია თითქმის იკვფეა, რაც მარტენის პროცესით მიღებულ ფოლადებში. ამან განაპირობა კონვერტერული ფოლადების გამოყენების სფეროს გაფართოება.

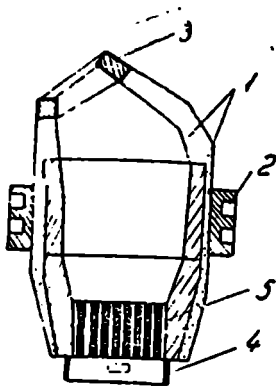
თანამედროვე პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვა ქანგბადის ზემოდანი მიწოდებით ყრუქვედანი კონვერტერებში თხევადი თუჯის გაქრევამ.

თანამედროვე ფოლადის კონვერტერული წარმოების შეტალურგეულ ტექნიკაში თუჯის ქანგვითი დნობია ორი ძირითადი პროცესი არსებობს: ბესემერისა და თომასის.

§ XIV.1. ბესემერის პროცესი

თხევადი თუჯის ფოლადად გარდაქმნის ბესემერის პროცესი შემოთავაზებულ იქნა 1855 წელს ინკლისელი განომკონებლის პენრი ბესემერის მიერ. ამ მეთოდით თხევადი თუჯის ფოლადად გარდაქმნა მიმდინარეობს მასში შექმნილი ძირითადი მინარევების — სილიციუმის, მანკანუმისა და ნახშირბადის (ნაწილობრივ კი რკინის) ქანგვით წყვეაქონაგვიანი კონვერტერში გაქრეული პაერის ქანგბადით.

ბესემერის ფოლადები გამოირჩევა მაღალი სისალიო, შედარებით მაღალი სიმტკიცის ზღვრით, ცვეთამედგობით, შედარებით კარგი შედღულებადობით, ცოვად კარგი დამუშავებითა და სხვ. ამასთან უარყოფით ტემპერატურებზე ისანი ხასიათდებიანი გაზრდილი მსხვრევადობით, რაც გამოწვეულია ბესემერის ფოლადებში ყოვღლთვის შედარებით გაზრდილი ფოსფორისა და აზოტის შემცველობით. ბესემერით ძირითადად მზადდება რბილი — ნახშირბადმცირე ფოლადები. ბესემერის ფოლადებიდან ივღინება შენადული მიღებისათვის ზოლური რკინა, სო ფლის მეურნეობის იარაღებისათვის პროფილური ლითონი, რთული სორტული პროფილები და სხვ. ასხვაგებენ ბესემერის კონვერტერებმა ქვედა და გვერდითი შებერვით. ბესემერის კონვერტერი წარმოადგენს 15—20 მმ სისქის ცურკლოვანი ფოლადისაგან შედღულებით ან მოქლონებით დამზადებულ მსხლისმაგვარი მოყვანილობის ქურქელს, რომელიც



ნახ. XIV 1. ბესემერის კონვერტერის კრილის სქემა: 1—ამონაგვი; 2—სატაკი; 3—სახა; 4—საპირო კოლოფი; 5—საქმინები.

შეგნიდან ამოგებულია 300—400 მმ სისქის მუყავე ცეცხგამძლე ამონაგით—დინასის აგურით (ნახ. XIV.1); კონვერტერის გარსაცმსა და აგურის წყობას შორის მოთავსებულია 30—50 მმ სისქის თბოსაიზოლაციო ფენა (დინასის აგურების წვრილი ნამსხვრევების სქელი სენაჩი). კონვერტერი ორი სატაკების მეშვეობით დაყარნობილია პოსტამენტზე (საყრდენზე) და აღჭურვილია ზობრუნების მექანიზმით, რომლითაც მას შეუძლია პორიზონტალურ დერძის მიმართ შემობრუნება. ბესემერის კონვერტერი შედგება სამი ცალკეული ნაწილისაგან: ძრო, კორპუსი და ხახა, რომლებიც ერთმანეთთან კანკიებით არიან შეერთებულნი. ხახიდან წარმოებს თხევადი თუჯის ჩასხმა, გაქრევის პროცესში ნამწვი აირების გამოდენა, წილისა და ფოლადის გადმოსხმა. ძრო ამოიგება დაფხვნილი კვარცისა, შამოტის ფხვნილისა და ცეცხლგამძლე თიხის მასით. ჩვეულებრივ, კედლების ამონაჯი 1300—2000 დნობას უძლებს, ხოლო ძროსი—20—30-ს. ძროში მოთავსებულია 7-დან 35-მდე შამოტის ქშენები 7—12 ცალი ვერტკალური ხვრელებით—საქშენებით, რომელთა დიამეტრიც 12—16 მმ-ია. თითოეული საქშენების საერთო ფართობი 1 ტ ჩანატეირთზე შეადგენს 8—15 სმ².

შეკუმშული ჰაერი ჰაერშემბერავ მანქანის მეშვეობით ძროს ქვემოთ მოთავსებულ საპირო ყუთს მიეწოდება და შემდგომ საქშენების გავლით ლითონის მთელ სისქეში გაიქრევა.

ბესემერის პროცესით ფოლადის მისაღებად ძირითადად გამოიყენება თხევადი თუჯი. რადგანაც ბესემერის კონვერტერში შეუძლებელია ლითონიდან ფოსფორისა და გოგირდის მოცილება, ამიტომ თუჯში მათი შემცველობა ძალზე შეზღუდულია. დნობისათვის აუცილებელი თბური რეჟიმისათვის სილიციუმისა და მანგანუმის შემცველობა თუჯში რეგლამენტებულია.

თუჯის გარდა ბესემერულ პროცესში გამოიყენება რკინის მადანი, რკინის ხენჯი, ფოლადის ჯარათი, განჰენგეელი და მალეგირებული ფერომენადნობები.

ნახშირბადმცირე მანგანუმიანი ფოლადების გამოდნობისას გამოიყენება ნახშირბადმცირე და საშუალონახშირბადოვანი ფერომანგანუმი (80% Mn, 0,5—15% C და 2—2,5% Si).

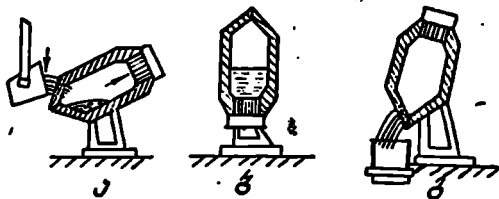
მშვიდი და ნახევრადმშვიდი ფოლადების განქანგვისათვის გამოიყენება 45% ანი ფეროსილიციუმი; ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება უფრო მდიდარი—75 და 90%-ანი ფეროსილიციუმი.

მაღალხარისხოვანი მშვიდი ბესემერის ფოლადების გამოდნობისას განსაქანგავად გამოიყენება სილიკომანგანუმი (60—65% Mn, 14—20% Si, 1—2,5% C, 0,1—0,2% P) და ფეროტიტანი (≥ 23 —25% Ti, 0,15—0,20% C).

დნობის ბოლოს ფოლადის დანახშირბადიანების აუცილებლობის შემთხვევაში გამოიყენება სარკისებრი თუჯი (10—25% Mn, ~5% C, $\leq 2\%$ Si, $\leq 0,2\%$ P და $\leq 0,03\%$ S).

მშვიდი და ნახევრადმშვიდი ფოლადების მისაღებად განმეანგველად გა-

მოიყენება, აგრეთვე, მეორეული ალუმინი (87—96% Al), სილიკოალციუმი (23—31% Si) და კალციუმი + სილიციუმი ($\geq 85-90\%$) + ალუმინი (1,5—3,0%).



ნახ. XIV 2. კონვერტერის წებ-რეზობა თუქის ჩახშის (ა), ჰაერის გაქრევის (ბ) და ფოლადის გამოშვების (გ) პროცესში.

პროცესის დაწყების წინ კონვერტერს წინასწარ ახურებენ, ამის შემდეგ მას პორიზონტალური ღერძის მიმართ გარკვეული კუთხით შემობრუნებენ (როგორც ეს XIV.2 ნახაზზეა მოყვანილი) და მასში ისხამენ თხევად თუქს.

ჩამოსხმისთანავე იწყებენ ჰაერის გაქრევასა და კონვერტერის შემობრუნებას ვერტიკალურ—შუშა მდგომარეობაში.

ბესემერის პროცესის მიმდინარეობა, უპირველეს ყოვლითაა, განისაზღვრება კონვერტერში ჩახშული თხევადი თუქის ქიმიური შედგენილობისა და ტემპერატურისაგან.

გაქრევის პროცესში ბესემერის აბაზანას ორი არე აქვს, რომლებშიდაც მიმდინარეობს ლითონის ელემენტების ამოწვა: 1) საქშენების ზემოთ მოთავსებული გაქრევის არე, სადაც უშუალოდ მიმდინარეობს ჰაერის ქანგბადის თხევადი ლითონთან შეხება; 2) ცირკულაციის არე—ლითონის აბაზანის დანარჩენი მოცულობა, სადაც თხევადი ლითონი უშუალოდ არ ეხება შებერილი ჰაერის ქანგბადს.

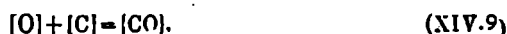
გაქრევის არეში უშუალოდ ქანგბადთან რეაგირების შედეგად მიმდინარეობს ელემენტების ქანგვითი რეაქციები:



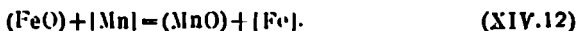
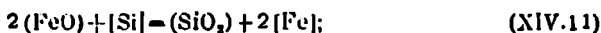
ლითონის უშუალოდ ჰაერთან შეხების ზედაპირზე მინარეების დაქანგვის შედეგად მოცულობიდან რეაქციის ზედაპირისაკენ მიმდინარეობს ამ ელემენტების დიფუზია. მიუხედავად ამისა, დიფუზიის პროცესის სიჩქარე ელემენტების დაქანგვის სიჩქარეზე გაცილებით დაბალია. გაქრევის არეში წარმოქმნილი რკინის ქვეყანგი ლითონში შექმნილი სქემით იხსნება:



ამგვარად, ლითონის მოცულობა მდიდრდება ქანგბადით და ცირკულაციის არეში უწყვეტად მიმდინარეობს მინარეების დაქანგვის რეაქციები:



სილიციუმი და ნაწილობრივ მანკანუმი შესაძლოა დაიქანგოს ლითონ-ნიწიდის გაყოფაზე ზედაპირზე უშუალოდ რკინის ქვეყანგის ზემოქმედებით:



აღნიშნული რეაქციების შედეგად გამოიყოფა სითბოს დიდი რაოდენობა, რომელიც ზრდის ლითონის ტემპერატურას. გამოყოფილი ნახშირჟანგი აზოტთან ერთად კონვერტერიდან ატმოსფეროში გადის, ხოლო სილიციუმისა და მანგანუმის ქანგეულები წიდაში გადადის:



როგორც აღინიშნა, სილიციუმის დაქანგვის რეაქციას ძირითადი როლი ენიჭება, რადგანაც ამ დროს გამოიყოფა წვის დიდი სითბო, რომელიც აპარებებს ნახშირბადის დაქანგვაზე დახარჯულ სითბოს რაოდენობას. ამის გამო კონვერტერში ლითონის ტემპერატურა არ ვარდება.

პრაქტიკაში ბესემერების დნობის ტემპერატურის რეგულირება შეხერილი ჰაერის რაოდენობით ან ლითონის აბაზანაში მყარი ნაქროფანი მასალების დამატებით მიიღწევა ასე, მაგალითად, ტემპერატურის ვარდნისათვის აბაზანაში შეაქვთ ლითონის ჯარი, მდანი ან ხენჯი. ამავე მიზნისათვის შეხერილი ჰაერში წყლის ორთქლის დამატება იწვევს ლითონის გამდიდრებას წყალბადით, რაც არასასურველ მოვლენას წარმოადგენს. ტემპერატურის გაზრდისათვის აბაზანას ზღიდარ ფეროშენადნობებს უმატებენ.

რაც შეეხება თუჯში ფიზიკური სითბო, ე. ი. რაც შეეხება მისი გახურების ხარისხი, მით ნაკლებადაა პროცესისათვის საჭირო ქიმიური სითბო და მით შესაძლოა ნაკლები იყოს თუჯში სილიციუმი. ამის მიხედვით ბესემერის თუჯები სამ კატეგორიად იყოფა: ქიმიურად ციკო თუჯი ($< 1,25\% \text{Si}$), ქიმიურად ნორმალური თუჯი ($1,25 - 1,75\% \text{Si}$) და ქიმიურად ცხელი თუჯი ($> 1,75\% \text{Si}$). გახურების ხარისხის მიხედვით ჩასახმელი თუჯები იყოფა: ფიზიკურად ცხელ ($> 1350^\circ\text{C}$), ფიზიკურად ნორმალურ ($1250 - 1350^\circ\text{C}$) და ფიზიკურად ცივ ($< 1250^\circ\text{C}$) თუჯებად. ამ ორი მაჩვენებლის მიხედვით აგებენ კონვერტერის თბურ ბალანსს.

როგორც აღინიშნა, არააქროლადი ქანგეულები (SiO_2 , MnO , FeO), რომლებიც წარმოიქმნებიან თუჯის გაქრების პროცესში, მასში გახსნილ ამონაგთან ერთად გადადიან წიდაში, რომლის ქიმიური შედგენილობაც დნობის პროცესში განუწყვეტლივ იცვლება. ბესემერის ბოლო წიდა, რომელიც ძალზე მდიდარია რკინის ქანგეულებით, შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ისევე ბესემერის დნობის დროს მხოლოდ და მხოლოდ რბილი ფოლადების გამოდნობისათვის ან შესაძლოა დაეუმატოთ ბრძქედის კაზმს. ნორმალური ბესემერის პროცესის წიდის მიახლოებითი ქიმიური შედგენილობა შემდეგია: $64\% \text{SiO}_2$, $3\% \text{Al}_2\text{O}_3$; $15\% \text{FeO}$; $17\% \text{MnO}$, $\text{CaO} + \text{MgO} - 1\%$ -ზე ნაკლები. წიდის მკვეთრად გამოსახული შეევე ხასიათი არ გვაძლევს ბესემერის პროცესში ლითონიდან ფოსფორისა და გოგირდის მოცილების საშუალებას. მხოლოდ ფოსფორის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი აორთქლდება და გამოიყოფა წვის პროდუქტებთან ერთად.

როგორც ცნობილია, ზრძმედულ პროცესში ფოსფორი თითქმის მთლიან

ნად გადადის თუჯში. ეს განაპირობებს ბესემერის პროცესის შეზღუდვას რადგანაც შოთხოვს სპეციალური შედგენილობის მადნებისა და თუჯების გამოღობასა და გადაშეშეებას, სადაც ფოსფორის შემცველობა 0,03%-ს არ აღემატება.

შებერილ ჰაერში აზოტის შემცველობა საგრძნობლად გამოიწვევს ბესემერის პროცესის თბურ ბალანსში. ჰაერის გაშლილება უნებართვით დიდ როლს თამაშობს ბესემერის პროცესში. ამასთან დამტკიცებულია, რომ ჰაერის მთლიანად ენგბადით შეცვლის შემთხვევაში თბურ ბალანსში სილიციუმი კარგავს თავის წამყვან როლს. გარდა ამისა, სუფთა ენგბადით შებერვის შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება გავზარდოთ ბესემერის პროცესში ლითონური ჯართის შემცველობა. ბესემერის პროცესის მსვლელობა, ანუ თუჯში შეშავალი მინარეების დაქანვის რეაქციების მიმდინარეობის თანამიმდევრობა განისაზღვრება ტემპერატურული რეჟიმით.

პრაქტიკაში შევე კონვერტერული პროცესი სამ პერიოდად იყოფა:

I პერიოდი—თხევადი ლითონის აბაზანიდან სილიციუმისა და მანგანუმის ამოწვა და ენგბეულების სახით წიდაში გადასვლა; ამის შედეგად ტემპერატურა 1250—1300°C-დან 1600—1650°C-მდე იზრდება. მთელი პერიოდის ხანგრძლივობა 3—4 წუთს გრძელდება. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ტემპერატურის ზრდაში ძირითადი როლი სილიციუმის დაქანვის რეაქციას მიეკუთვნება, რომლის დროსაც გამოიყოფა დიდი რაოდენობით სითბო (1 კგ სილიციუმის დაქანვით გამოიყოფილი სითბო 20530 კჯ ანუ 4900 კკალ-ს შეადგენს).

ამ პერიოდში წარმოქმნილი წიდა შეიცავს კაემიწას, მანგანუმის ენგბეულსა და რკინის ქვეყანგს. პირველი პერიოდი მიმდინარეობს მანამ, სანამ ლითონში სილიციუმის შემცირებითა და ტემპერატურის ზრდით ციკლაციის ზონაში არ შეიქმნება ნახშირბადის ამოწვის (დაქანვის) პირობები ასეთი პირობები იქმნება, მაგალითად, როცა ლითონში 4%/C-ის შემცველობის შემთხვევაში სილიციუმში 0,5 %-მდე შემცირდება და ტემპერატურა 1400°C-მდე გაიზრდება. ამის შემდეგ იწყება II პერიოდი.

II პერიოდი—ნახშირბადის ინტენსიური წვა, რომლის დროსაც გამოიყოფა CO-ს დიდი რაოდენობა და წარმოებს ე. წ. აბაზანის დელილი, სხვანაირად ამ პერიოდს ალი პერიოდი ეწოდება და მისი ხანგრძლივობა 10—12 წუთს შეადგენს.

მეორე პერიოდის განმავლობაში ნახშირბადის შემცველობის შემცირებასთან ერთად ლითონში გახსნილი ენგბადის კონცენტრაცია იზრდება. ეს უკანასკნელი იწვევს, შესაბამისად, სილიციუმისა და მანგანუმის კონცენტრაციების მკვეთრად შემცირებას და აღნიშნული პერიოდის ბოლოს მათი შემცველობა ლითონში მინიმუმს აღწევს. მეორე პერიოდის მიმდინარეობის პროცესში მინარეების დაქანვისას ლითონში გახსნილი ენგბადის კონცენტრაციის შემცირებაში გადაწყვეტილებას თამაშობს ნახშირბადის დაქანვის რეაქცია. ლითონში რკინის ქვეყანგის გახსნის შედეგად მხოლოდებული ენგბადის სიჩქარე უკუდამოკიდებულებაშია ლითონში გახსნილი ენგბადის ფაქტობრივ კონცენტრაციასთან:

$$v_{\text{O}} \propto [\% \text{O}]_{\text{ლითონ}} - [\% \text{O}]_{\text{ფაქტობრივი}} \quad (\text{XIV.15})$$

სადაც $[\% \text{O}]_{\text{ლითონ}}$ არის ლითონში ენგბადის წონასწორული კონცენტრაცია რკინის ქვეყანგთან შეხებისას;

[%:0] — ლითონში უანგბადის ფაქტობრივი კონცენტრაცია;

ბ — პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობაც მინიშნულია მშვიდ აბაზანის შემთხვევაში და იზრდება მისი ცირკულაციის გაძლიერებასთან ერთად.

მეორე პერიოდის ბოლოს, როდესაც ნახშირბადის შემცველობა ძალზე მცირეა, იწყება ლითონში გახსნილი უანგბადის კონცენტრაციის სწრაფი ზრდა.

ამ დროს ხახიდან ამოსული მოკლე ალი თანდათან გრძელდება, კაშკაშა ხდება და ნახშირბადის ამოწვის დიდი სიჩქარის მიღწევისას იღებს დამაბრმავებელ თეთრ ფერს. ეს თავისთავად მოწმობს გამოყოფილი ნახშირბადის ნახშირორჟანგად დაწვას.

III პერიოდი — რკინის ინტენსიური ამოწვის პერიოდი, რომლის დროსაც კონვერტერის ხახიდან შავი, მუქი ფერის კვამლი გამოიყოფა (ამ პერიოდს ხშირად კვამლის პერიოდსაც უწოდებენ). პერიოდი 2—3 წუთს გრძელდება და ბესემერების დნობის მთელი პროცესიც მთავრდება.

ფოლადში ნახშირბადის დაბალ შემცველობაზე იქმნება პირობა, რომლის დროსაც ნახშირბადის დაქანგვა მკვეთრად მცირდება და რამდენადმე ჩქარდება დარჩენილი სილიციუმისა და მანგანუმის კონცენტრაციების შემცირება.

გაქრევის შესამე პერიოდი დგება 0,10—0,12% ნახშირბადის შემცველობის მიღწევისთანავე. ამ პერიოდის დამახასიათებელ თვისებას რკინის ინტენსიური დაქანგვა წარმოადგენს.

რაც უფრო დაბალ ნახშირბადაძლე მიმდინარეობს გაქრევა, მით მეტად გროვდება ლითონში გახსნილი უანგბადი და მით მეტი რაოდენობის რკინა რკინის ქვეყანგის სახით გადადის წიდაში. იმ შემთხვევაში, თუ გაქრევას ვამთავრებთ მაღალ ნახშირბადაზე (დაახლოებით 0,5%), შესამე პერიოდი აღარ გამოიკვეთება. ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რაც დაბალია ჩასასხმელ თუჯში სილიციუმის შემცველობა, მით უფრო დაბალ ტემპერატურებზე წარმოებს მეორე პერიოდის დაწყება.

პროცესის დამთავრების შემდეგ კონვერტერს აბრუნებენ ჰორიზონტალურ ღერძის ირგვლივ; ჰაერის მიწოდება თანდათან ნელდება და ბოლოს სრულად წყდება, რის შემდეგაც ლითონს განუანგავენ და ლებულობენ ფოლადის სასურველ ქიმიურ შედგენილობას. განუანგვა ხდება ფეროშენადნობების შეტანით.

მდლარე ფოლადს ფერომანგანუმით განუანგავენ. ჰაერის გაქრევის შეწყვეტისთანავე თხევადი ლითონის აბაზანაში აწვდიან მყარ, წყლით დასველებულ ფერომანგანუმის ნაკრებს, რათა თავისუფლად გაარღვიოს არსებული ბლანტი წილის ფენა და არ გაეხლართოს მასში. ფერომანგანუმის დამატებიდან 2—3 წუთის შემდეგ ფოლადსამსხმელო ციხეებში კონვერტერიდან გადმოსასხმენ ლითონს; ზოგჯერ ფერომანგანუმის ეკონომიის თვალსაზრისით მას ნაწილობრივ ციხეში აწვდიან. ზოგჯერ თხევადი ლითონის გაციელების თავიდან აცილების მიზნით, განუანგველებს თხევადი სახით აწვდიან.

ფერომანგანუმის შემდეგ განუანგვას ფეროსილიციუმით აწარმოებენ, რის შემდეგაც ფოლადი კონვერტერიდან გადმოსხმება. ალუმინის ძირითადად ციხეში აწვდიან. ყოველივე ამის შემდეგ წარმოებს კონვერტერიდან მიღებული ფოლადის ზოდებად ჩამოსხმა. ამჟამად საბჭოთა კავშირში მუშაობს 40 ტ-მდე ტევადობის კონვერტერები.

კონვერტერული დნობის შედეგად შესაძლებელია მივიღოთ ძირითადად ორი სახის ნახშირბადანი ფოლადი: რბილი—ნახშირბადმცირე (0,10—0,20% C-ის შემცველობით) და საშუალო სისალის—საშუალონახშირბადოვანი (0,35—0,55% C-ის შემცველობით).

ბესემერის ფოლადებში დასაშვებია გოგირდის შემცველობა არა უმეტეს 0,065%-ისა და ფოსფორისა არა უმეტეს 0,085%-ისა.

§XIV.2. ბესემერის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი

როგორც აღინიშნა, ბესემერის პროცესის მიმდინარეობა, უპირველეს ყოვლისა, განისაზღვრება კონვერტერში ჩასხმული თუჯის ტემპერატურისა და მისი ქიმიური შედგენილობით, რაც პროცესის თბურ ბალანსში პირველ-ხარისხოვან როლს თამაშობს (ცხრ. XIV.1 და XIV.2).

ცხრილი XIV.1

ბესემერის პროცესის მატერიალური ბალანსი

| შემოვიდა | კგ-ობით | ხარჯი | კგ-ობით |
|------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|
| თხევადი თუჯი | 100,00 | ფოლადი | 92,47 |
| ჰაერი | 31,42 | აირები | 34,99 |
| იმონაგი | 1,0 | წილა | 5,66 |
| | | წილაში ლითონის სორ-სალები | 1,60 |
| სულ | 131,12 | სულ | 134,12 |

ცხრილი XIV.2

ბესემერის თბური ბალანსი

| შემოვიდა | კკალ | % | ხარჯი | კკალ | % |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------------------|--------------|---------------|
| თუჯის ფიზიკური სითბო | 27630 | 53,51 | ფოლადის ფიზიკური სითბო | 31730 | 61,34 |
| შებრევის " " | 430 | 0,83 | წილის " " | 2120 | 4,10 |
| სულ ფიზიკური სითბო | 28110 | 54,34 | აირების " " | 14140 | 27,97 |
| დაქანგვის ქიმ. სითბო | 12910 | 24,96 | შებრევის ტენის დაწლა | 870 | 1,68 |
| Si " " " | 850 | 16,59 | ამონაგის გახურებასა, თბო- | | |
| Mn " " " | 1250 | 2,41 | გამტარობასა და გამოსხე- | | |
| Fe " " " | 70 | 1,45 | ვებაზე სითბოს დანაკარგები | 2565 | 4,96 |
| წილის წარმ. ქიმ. სით. | 155 | 0,31 | | | |
| სულ ქიმიური სითბო | 23 815 | 45,06 | | | |
| სულ | 517 25 | 100,00 | სულ | 51725 | 100,00 |

როგორც ამ ცხრილებიდან ჩანს, ძირითადი როლი სილიციუმს ენიჭება, რომელიც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმიტომ, რომ პროცესის დასაწყისში სილიციუმში ზრდის ლითონის ტემპერატურას, რომელიც აუცილებელია ნახშირბადის დაქანგვის რეაქციისათვის. რაც შეეხება ნახშირბადს, მისი წვის სითბო ნამწვ პარალელურად ერთად იკარგება.

რაც მეტია თხევად თუჯში ფიზიკური სითბო, ე. ი. რაც მეტადაა იგი გადახურებული დნობის ტემპერატურიდან პროცესის მიმდინარეობისათვის, მით ნაკლები ქიმიური სიძაბოა საჭირო. ამგვარად, შესაძლებელია სილიციუმ-მკირე თუჯების გამოყენება.

§ XIV.3. თომასის პროცესი

თომასის კონვერტერი წარმოადგენს თხევადი ფოსფორიანი თუჯების შეკუმშული ჰაერით გაქრვის მეშვეობით ფოლადად გადამქმნაველ დანადგარს. კონსტრუქციულად თომასის კონვერტერი არ განსხვავდება ბესემერის კონვერტერისაგან, გარდა ამონაგისა: თომასის კონვერტერის კედლები ამოგებულია ფუძე ამონაგით—დოლომიტის ან იშვიათად მაგნეზიტის აგურით, ხოლო ძრო, ბესემერისაგან განსხვავებით, ჩვეულებრივ, კონუსურია და დოლომიტის ან იშვიათად მაგნეზიტის აგურებით, რომელიც შემდეგ ფისის მასის (11—13% ქვანახშირის ფისი) დატკეპნით მზადდება. მისი სისქე 800—1000 მმ ს აღწევს. 13—16 მმ-ის დიამეტრის საქმენები 100—300 რაოდენობით განლაგებულია ძროზე კონცენტრულად. იშვიათად გამოიყენება ჩადგმული საქმენები. საქმენების კვეთის ფართობი 1 ტონა თუჯზე 15—18 სმ² შეადგენს. კონვერტერის კვედა ნაწილის კედლების სისქე 500—750 მმ-ს შეადგენს (ზოგჯერ—1000 მმ-მდე), ხოლო ზემო ნაწილი—400—600 მმ. თომასის კონვერტერის ზომები რამდენადმე მეტია. კონვერტერის სიმაღლის H (ძროდან ხახის ქვემო ბოლომდე) შეფარდება შიგა დიამეტრთან: 12 ტონიანი კონვერტერებისათვის $H : D = 2,3$, ხოლო 40 ტონიანისათვის— $H : D = 1,6$. თომასის კონვერტერის ზომების ძირითად მახასიათებელს ე. წ. ცირკულაციური კვეთი შეადგენს (კონვერტერის განივიკვეთის F ფართობისა და ძროში საქმენების გარე წრიული f ფართობს შორის სხვაობა). შაკალითად, 30 ტონიანი კონვერტერებისათვის ამონაგის კვეთთან დაკავშირებით იცვლება 500-დან 2000 სმ²/ტ. ცირკულაციური კვეთის გაზრდით გაქრვის ხანგრძლივობა მცირდება 37,5-დან 28 წ-ში/ტ. ამონაგის მდგრადობა 400 დნობას აღწევს, ხოლო ძროსი—70-მდე.

თომასის კონვერტერში ჰაერის შებერვა ძირიდან წარმოებს. შებერილი ჰაერის წნევა 3,0—3,5 ატმოსფეროს შეადგებს, ხოლო 1 ტ თუჯზე მისი ხარჯი—300—350 მ³, რაც დაპოკიდებულია თუჯის შედგენილობაზე. თომასის პროცესში ფოლადას მისაღებად შემდეგი ნედლი მასალები გამოიყენება: თხევადი თუჯი, კირი, ლითონის ჯართი, რკინის მადანი, რკინის ხენჯი, განმეანგველები და დამანახშირბადიანებლები.

როგორც აღვნიშნეთ, თომასის პროცესი წარმოადგენს ფოსფორიანი თუჯების ფოლადად გადაკეთების პროცესს მასში დამანახავი აირის გაქრვის მეშვეობით. გადაკეთება ძირითადად მიმდინარეობს თუჯის ისეთი ძირითადი მინარევების ამოწვით—დაქანგვით, როგორცაა სილიციუმი, მანგანუმი, ნახშირბადი, ფოსფორი და ნაწილობრივ გოგირდი. დაქანგვის პროცესი, გარდა შებერილი ჰაერის ეანგბადისა, მიმდინარეობს აგრეთვე რკინის მადნის ეანგბადით ან ხენჯით. რომლებიც კონვერტერში გაქრვის დროს შეიტანება. დაქანგული მინარევები გადადის წიდაში (გარდა აქროლადებისა). წიდაში გადადის აგრეთვე, ნაწილობრივ გოგირდი MnS და CaS -ის სახით.

მიქსერის განყოფილებიდან სპეციალური ციხნებებით თხევადი გაერთვება-

როვნებული თუჯი თომასის კონვერტერს მიეწოდება. მის ჩახსაკვდ კონვერტერში გაანგარიშებით განკუთვნილი კირის მთელი ულუფა იტვირთება.

ბესემერის პროცესის მსგავსად, თომასის პროცესში მინარეგების დაქანგვა უშთავრესად ცირკულაციის ზონაში მიმდინარეობს. ამასთან თომასის პროცესში იქანგება აზა მხოლოდ ნახშირბადი, მანგანუმი და სილიციუმი, არამედ ფოსფორიც. ფოსფორის დაქანგვის შედეგად წარმოქმნილი ფოსფორის ანჰიდრიდი წილაში გადადის და PO_4^{3-} ან $P_2O_5^{5-}$ იონების ფორმით იმყოფება მასში.

ლითონური აბაზანის მინარეგები ნაწილობრივ იქანგება შებერილი ჰაერ-ლითონის გამყოფ ზედაპირზე შემდეგი რეაქციებით:

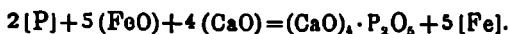


როგორც ბესემერის შემთხვევაში, თომასის პროცესშიც არჩევენ სამ პერიოდს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ პირველი ორი პერიოდი შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე მიმდინარეობს. ეს შეიძლება აიხსნას, უპირველეს ყოვლისა, თომასის თუჯების შედარებით დაბალი დნობის ტემპერატურით ($1050-1100^{\circ}C$); მეორეც, დაბალი ტემპერატურა პროცესის დასაწყისში განპირობებულია, აგრეთვე, ცივი კირის არსებობითა და თუჯში სილიციუმის მცირე შემცველობით.

თომასის პროცესის პირველ პერიოდში მიმდინარეობს სილიციუმის, მანგანუმისა და, ხშირ შემთხვევაში, ნაწილობრივ ფოსფორის ინტენსიური ამოწვა. შედარებით ნელა მიმდინარეობს ნახშირბადისა და რკინის ამოწვის პროცესები. ფოსფორის დაქანგვის პროდუქტს—ფოსფორის ანჰიდრიდს— P_2O_5 -ს ვერ შესწევს წილაში დაკავების უნარი, თუ მასში არ არსებობს მისი შემაკავშირებელი კალციუმის ქანგი CaO , რომელიც P_2O_5 -თან იძლევა მდგრად კალციუმის ტეტრაფოსფატს. ამასთან, კირი მხოლოდ მესამე პერიოდის დასაწყისში გადადის აქტიურ თხევად მდგომარეობაში. ამასთან დაკავშირებით თომასის პროცესის პირველ პერიოდში ლითონში არსებული ნახშირბადის მაღალი შემცველობით წარმოებს ფოსფორის ანჰიდრიდიდან თავისუფალი ფოსფორის აღდგენა და ლითონში გადასვლა, ამის გამო ფოსფორის დაქანგვისა და მისი რეაქციის ეგზოთერმული სითბო მთლიანად შთაინთქმება მისი აღდგენის ენდოთერმული რეაქციით. ამ პერიოდში დაქანგული სილიციუმი, მანგანუმი და რკინა წარმოქმნის რკინისა და მანგანუმის ორმაგ სილიკატს $(Mn, Fe)-SiO_2$, რომელიც კირთან რეაგირებს.

თომასის პროცესის მეორე პერიოდი იწყება სილიციუმის მთლიანად და მანგანუმის ნაწილობრივ ამოწვის შემდეგ, რომლებიც მიმდინარეობენ კონვერტერში ლითონის ტემპერატურის აწევით (დაახლოებით $100-150^{\circ}C$ -ით). ეს უკანასკნელი ნახშირბადის ინტენსიური ამოწვით ხასიათდება

და მიმდინარეობს კონვერტერის ხახიდან კაშკაშა ალის ამოტყორცნით (ბესე-
 მერის პროცესის მსგავსად). ნახშირბადის წვის დასაწყისის ჩვეულებრივ, თან ახ-
 ლავს კონვერტერიდან წიდასა და ლითონის მცირე ულუფების ამოტყორცნა,
 რაც დაკავშირებულია ლითონის ნახშირბადსა და წიდაში რკინის ქვეყანგს
 შორის რეაქციის ენერგიულ მიმდინარეობასთან. ამ დროს გამოიყოფა ნაშირ-
 ქანგის დიდი რაოდენობა. ამასთან ერთად მიმდინარეობს მანგანუმის ქანგვაც
 მაგრამ შედეგებით ნელა, ვიდრე პირველ პერიოდში. მეორე პერიოდის შუა-
 ში წიდიდან ლითონში მანგანუმი ნაწილობრივ აღდგება, ხოლო მეორე პე-
 რიოდის ბოლოს იგი კვლავ იქანკება. არის შექთხვევა, როცა მანგანუმის
 აღდგენა მესამე პერიოდშიც მიმდინარეობს. ნახშირბადის თითქმის მთლიანად
 ამოწვის შემდეგ (რასაც ალის საგრძობსა და სიკაშკაშის საგრძობლად შემცო-
 რება მოწმობს) იწყება მესამე პერიოდი, რომელიც ხასიათდება ფოს-
 ფორის ინტენსიური ამოწვით. ფოსფორის ქანგი ამ პერიოდში უერთდება
 წიდაში ვახსნილ კირს და წარმოქმნის მასთან კალციუმის ტეტრაფოსფატის
 მდკრალ ნაერთს:



ფოსფორთან ერთად მიმდინარეობს რკინის ამოწვაც. მესამე პერიოდის ბო-
 ლოს, როდესაც რკინის დაქანგვა განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარე-
 რეობს, ქანგულები ნაწილობრივ ხდება ხახიდან გამოშვალ კვალში და აძ-
 ლევს მას შავ შურა ფერს. ღეფოსფორაცია მანამ მიმდინარეობს, სანამ ლი-
 თონში მისი შემცველობა 0,05% ს მიაღწევს. ეს უქანასკენელი შესაძლოა გა-
 ნისაზღვროს დროით ან სინჯში მისი შემცველობით.

პირველ პერიოდში გაქრევისას ლითონში აზოტის შემცველობა შემუჩ-
 ნეველად იზრდება და თითქმის მეორეშიც უტყელეოა, რადგანაც ამ დროს
 აბაზანიდან გამოყოფილი CO თან წარიტაცებს აზოტის ნაწილს. მესამე პე-
 რიოდში, როდესაც ნახშირბადის ამოწვა თითქმის მთლიანად შეწყვეტილია
 და ლითონის ტემპერატურა სწრაფად იზრდება, მასში აზოტის შემცველობა
 მაქსიმალურად იზრდება (დაახლოებით 0,014—0,018%; ხშირად 0,02—0,03%),
 რაც აუარესებს თომასის ფოლადის ხარისხს.

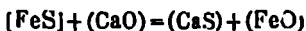
თომასის პროცესის ტემპერატურის რეგულირება ისეთნაირად წარმოებს,
 როგორც ბესემერების პროცესში: დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაში (პირ-
 ველ პერიოდში) აწვდიან მდიდარ ფეროსილიციუმს, ხოლო მაღალი ტემპერა-
 ტურის შემთხვევაში—ლითონურ ჯართს, იშვიათად ხენჯს ან რკინის მადანს.

გაქრევის დამთავრების შემდეგ წარმოებს ფოლადის განეხგვა. განმუჩან-
 გველებით წიდიდან ფოლადში ფოსფორის აღდგენის თავიდან აცილება მიიღ-
 წვეა განმუჩანგველების წიდასთან ურთიერთქმედების ხანგრძლივობის შემცო-
 რებით. ამ მიზნით განეხგვის წინ წიდას მოხდიან.

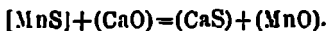
როგორც აღვნიშნეთ, დნობის ბოლოს მიიღება რბილი, ნახშირბადმცი-
 რე ფოლადი. მასში ნახშირბადის შემცველობის გაზრდა შესაძლოა სარკისებ-
 რი თუჯის მეშვეობით, რომელიც ციცხვში თხევადი სახით მიეწოდება. და-
 ნახშირბადიანების მეორე მეთოდს კონვერტერში ფოლადის ფერომანგანუმით
 წინასწარ განეხგვა წარმოადგენს. გამოშვებისას ციცხვში დაფხვილ კოქსს ან
 ანტრაციტს აწოდებენ. შესაძლოა აგრეთვე კონვერტერში პროცესის ბოლოს
 მიქსერიდან თხევადი თუჯის დამატება.

რკინის ამოწვისა და მისი ულუფების ამოტყორცნის შემდეგ ვარგისი
 ლითონის გამოსავალი 87—90%-ს შეადგენს. დნობის მთელი ხანგრძლივობა

15—20 წუთს აღწევს. გოგირდის მოცილება მიმდ-ნარეობს დნობის თითქმის მთელ განმავლობაში. მიუხედავად ამისა დესულფურაციის ხარისხი 40%-ს არ აღემატება. ამისათვის საჭიროა წილის მალაო ფედიანობა და მასში რკინის ეანგეულების მინიმალური შემცველობა. განვგარდების რეაქციები შემდეგია:



ან



თომასის ფოლადის ჩამოსხმას, ჩვეულებრივ, ზევიდან აწარმოებენ.

§XIV.4. თომასის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი

XIV.3 და XIV.4 ცხრილებში მოყვანილია თომასის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსები 1 კგ თუჯის ანგარიშზე 0,5% Si; 1,25% Mn და 0,2% P-ის შემცველობით.

ცხრილი XIV.3

თომასის პროცესის მატერიალური ბალანსი

| დანიარკა | კგ-ობით | მელებულია | კგ-ობით |
|-------------------|---------|--|---------|
| თუჯი | 1,000 | ფოლადი (ვარჯის სხმული, კართი, ამონატურცნი) | 0,9117 |
| კაერი | 0,1081 | წილა | 0,104 |
| კირი | 0,0978 | აირი | 0,4038 |
| აზონავი | 0,0200 | | |
| სულ | 1,5259 | სულ | 1,5259 |

ცხრილი XIV.4

თომასის პროცესის თბური ბალანსი

| შემოვიდა | კალორია | % | დანიარკა | კალორია | % |
|--|---------|-------|---|---------|-------|
| თხვედი თუჯის ფიზიკური სითბო | 252 | 39,2 | ფოლადის ფიზიკური სითბო | 229 | 51 |
| კაერის ფიზიკური სითბო | 5 | 0,7 | წილის | 116 | 18 |
| დაქანგვის და წილის წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციები: | | | H ₂ O და CaCO ₃ -ის დაშლა | 12 | 1,9 |
| ნახშირბადის | 139 | 2,6 | გარემო არეში სითბოს დანაკარგები | 49 | 7,6 |
| სილიციუმის | 39 | 6,1 | | | |
| მანგანუმის | 18 | 2,8 | | | |
| ფოსფორის | 166 | 25,3 | | | |
| რკინის | 24 | 3,7 | | | |
| სულ | 643 | 100,0 | სულ | 643 | 100,0 |

როგორც ამ ცხრილებიდან ჩანს, სითბოს შემოსავლის დიდი ნაწილი მოდის ფოსფორის დაქანგვასა და წილვაზე. სითბოს დანახარჯებში დიდი ადგილი უკავია კონვერტირდნ გამომავალი აირების მიერ სითბოს დანაკარგებს, რომლებიც სხვადასხვა პერიოდში შეიცავენ 60—95% აზოტს. ამ

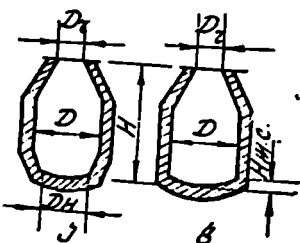
მდგომარეობამ და აგრეთვე ფოლადზე აზოტის მავნე გავლენამ გამოიწვია გა-
საქრევი ჰაერის ეანგბადით გამდიდრება. ჰაერის 30—37% ეანგბადით გამ-
დიდრების შემთხვევაში ოპერაციების ხანგრძლივობა დაახლოებით 30—38%-ით
მცირდება ფოსფორი მცირდება 0,02—0,024%-მდე და გოგირდი კი 0,018—
0,022%-მდე ცლებმა დაგვანახა, რომ ჰაერის გაჰიდრება ეანგბადით შესაძლებე-
ლია მაქსიმუმ 40%-მდე, რადგანაც უკიდურეს შემთხვევაში წარმოებს კონვერ-
ტერის ძროში შოთავსებული ქშენების წყობიდან სწრაფად გამოსვლა. შესაძლებე-
ლია, აგრეთვე, თოქსის პროცესში გასაქრევად გამოყენებულ იქნას ეანგბადისა
დანახშირორენანგის აირების ნარევი (დაახლოებით 50% O₂ და 50% CO₂), ან
წყლის ორთქლისა და ეანგბადის ნარევი. დეფოსფორაციის პერიოდში ასეთი
ნარევებით გაქრევა გვაძლევს ფოლადს 0,002—0,004% N₂-ის შემცველობით.
ანალოგიურ სურათს ეაწვდებით დნობის პროცესის ბოლოს ტემპერატურის
დაწვეისას, რაც მიიღწევა ლითონის ჯართის, რკინის მადნის ან რკინის ხენ-
ჯისა და კირქვის დამატებით. მცირეაზოტიანი ფოლადს მიღებისათვის თო-
ქსის პროცესში დეფოსფორაციის პერიოდის დასაწყისში რკინის მადნის მი-
წოდების ხერხს HPN ხერხი ეწოდება (H—Hamborn—გერმანიაში, რურის
რაიონში, ქალაქი, სადაც განლაგებულია მეტალურგიული ქარხნა, P—ფოს-
ფორი, N—აზოტი).

§XIV.5. უანგბად-კონვერტერების აღნაგობა და თავისებურებანი

თოქსის ფოლადში აზოტის შემცირების მეორე ხერხს ქველში განლა-
გებულ მცირე დიაპეტრის საქშენების საშუალებით ჰაერის მალაღ წნევით
მიწოდება წარმოადგენს. ეს უქანასკნელი ზრდის ჰაერის შოძრაობის სიჩქარე-
სა და ამცირებს ჰაერის ლითონთან შეხების დროს.

ფოლადში აზოტის შემცირების მეტად ეფექტურ ხერხს თოქსის პრო-
ცესში სულთა ეანგბადის შებერვა წარმოადგენს. ეანგბადის მიწოდება ლითონის
აბაზანაში 10 ტ წნევის ქვეშ სპეციალური წყლით გამაციებულ საქშენების
მეშვეობით წარმოებს. ასეთ კონვერტერებს ყოველ ქველები აქვს. ეს ხერხები
საშუალებას გვაძლევს თოქსის პროცესში გამოვიყენოთ ფოსფორის ნების-
მიერი შემცველობის თუჯები.

ამ ხერხით მიღებული ფოლადი გაცილებით მალაღ ხარისხისაა, ვიდრე
მარტენას ფოლადი. 1 ტ თუჯის გადასაკეთებლად ეანგბადს ხარჯი 55—60 კგ
შეადგენს. 40 ტონიან კონვერტერებისათვის პროცესის ხანგრძლივობა დაახ-
ლოებით 20—25 წუთს არ აღემატება. ამ ხერხის შემთხვევაში კონვერტერის
ექსპლუატაცია და დანადგარები ძალზე მარტივდება; აღარაა საჭირო სპეცი-



ნ.ხ. XIV.3. უანგბად-კონვერტერის
პროფილი

ალური ქვედის დამზადება და ჰაერსაბერი
მოწყობილობანი. ამჟამად ეანგბადის კონ-
ვერტერების ტევადობა 400 ტონამდე აღწევს.
გარსაცმის კონფიგურაციის მიხედვით ეანგ-
ბადის კონვერტერები შესაძლოა ორ ტიპად
დაიყოს: პირველი ტიპის კონვერტერი, რომ-
ლის გარსაცმიც შედგება ცილინდრული შუა
ნაწილისაგან და რომელიც ეიწროვდება ხა-
ხისა და ძროსაკენ (ნახ. XIV.3, ა); მეორე ტი-
პის კონვერტერი, რომლის გარსაცმიც ეიწ-
როვდება მხოლოდ ხახისაკენ, ძრო კი უშუა-
ლოდ შუა ნაწილს უერთდება (ნახ. XIV.3, ბ).

კონვერტერის გარსაცმი შთლინად მზადდება შედუღებით 20-დან 110 მმ სისქის ფურცლოვანი ფოლადით. ძრო ძირითად ნაწილს შეედუღება ან მაგრდება კანკიკებით. ხახა მისი ევრტიკალური ლეჩის მიმართ სიმეტრიულადაა მოთავსებული, რაც იძლევა ენგბადის მიმწოდებელი საქშენის ცენტრში მოთავსების საშუალებას. დროთა განმავლობაში ხახა შესაძლებელია გამოიციკლოს. კონვერტერის ძრო სფერული მზადდება, რაც ენგბადის ზემოდან მიწოდების პროცესში აადვილებს ლითონის ცირკულაციას და ამცირებს ამონაგის ცვეთას.

მობრუნების მექანიზმის მეშვეობით ხორციელდება კონვერტერის ბრუნვა 360°-ით 0,1-დან 1 მ/წთ სიჩქარით, რაც აუცილებელია რიგი ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარებისათვის: თუჯის ჩასხმა, ჯართის ჩატვირთვა, ფოლადისა და წილის გადმოსხმა და სხვ. მცირე ტევადობის კონვერტერებს აქვს მობრუნების ერთი მექანიზმი, ხოლო დიდი ტევადობის კონვერტერებს (130 ტ და მეტი) — ორი

კონვერტერის ზომების ოპტიმალური თანაფარდობა ჯერ კიდევ საბოლოოდ დადგენილი არ არის. XIV.5 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ენგბად-კონვერტერების ზომები.

ცხრილი XIV.5

ზოგიერთი ენგბად-კონვერტერის ზომები

| ტევადობა, ტ | მუშა სივრცის სიმაღლე H, მ | მუშა სივრცის დიამეტრი D, მ | H/D | კუთრი მოცულობა, მ ³ /ტ | აბახანის სიღრმე, მ | ხახის დიამეტრი D _ხ , მ |
|-------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 80 | 5,86 | 2,78 | 2,10 | 1,05 | 0,85 | 1,10 |
| 40 | 5,50 | 3,00 | 1,83 | 0,81 | 1,00 | 1,50 |
| 100 | 7,85 | 4,00 | 1,90 | 0,89 | 1,50 | 1,65 |
| 115 | 8,70 | 5,55 | 1,58 | 1,10 | 1,34 | 2,60 |
| 180 | 9,35 | 5,52 | 1,69 | 0,93 | 1,71 | 2,85 |
| 200 | 9,50 | 5,95 | 1,60 | 1,03 | 1,73 | 3,10 |
| 210 | 6,83 | 6,60 | 1,34 | 1,01 | 1,45 | 3,20 |
| 800 | 9,27 | 6,6 | 1,41 | 0,97 | 1,80 | 3,43 |
| 350 | 9,90 | 7,00 | 1,41 | 0,92 | 1,30 | 4,00 |

ენგბადის კონვერტერის ძირითად განმსაზღვრავ ზომებს მისი კუთრი მოცულობა წარმოადგენს (კონვერტერის შიგა ღრუს შეფარდება მის ტევადობასთან, მ³/ტ). არსებული 30-დან 360-ტონიან კონვერტერების კუთრი მოცულობა იცვლება 0,5-დან 1,1 მ³/ტ-მდე და შესაბამისად მცირდება კონვერტერის ტევადობის ზრდასთან ერთად. კონვერტერის კუთრი მოცულობის ძალზე გაზრდა იწვევს კონვერტერის საამქროს ზომებისა და გაბარიტების საგრძნობ ზრდას. გარდა ამისა, იზრდება გარსაცმის სითბოს გალაცმის ფართობი და თბური დანაკარგები.

გარდა აღნიშნულისა, კონვერტერის კუთრი მოცულობა იჭიდროდა დაკავშირებული ბერვის რეჟიმის პარამეტრთან. ბერვის ინტენსივობის საგრძნობი ზრდა იწვევს ამოშხეფების ზრდას, რაც თავისთავად მოითხოვს კონვერტერის კუთრი მოცულობის ზრდას ოპტიმალურზე ზევით

კონვერტერის შინაშენლოვან მახასიათებელს წარმოადგენს მუშა მოცულობის სიმაღლის ფარდობა მის დიამეტრთან (H/D) (ნახ. XIV.3). ეს უკანასკნელი თავისთავად დაკავშირებულია კუთრი ზედაპირთან, რომელიც თანამედ-

როვე კონვერტერებისათვის 0,11—0,18 მ³/ტ ფარგლებში მდებარეობს. დია-მეტრის საგრძნობი ზრდა სასურველი არაა, რადგანაც ამ შემთხვევაში უცე-ლელი მოცულობის დროს მცირდება კონვერტერის სიმაღლე. როგორც პრაქ-ტიკამ დაგვანახა, კონვერტერის არასაკმარისი სიმაღლე იწვევს ლითონის და-ნაკარგების ზრდას ამოშეფილი ლითონის სახით, ხოლო კონვერტერის სიმაღ-ლის გაზრდა ოპტიმალურზე მეტად კი იწვევს საამქროს სიმაღლის არარა-ციონალურ ზრდას.

თანამედროვე კონვერტერების მეშა მოცულობის სიმაღლის მის შიგა დიამეტრთან შეფარდება 2,1—1,17-ის ფარგლებში მდებარეობს და ჩვეულებ-რივ, ტევაღობის ზრდასთან ერთად მცირდება. მეშა მოცულობის სიმაღ-ლესთან მჭიდროდაა დაკავშირებული თვით კონვერტერის თავისუფალი სიერ-ცის სიმაღლე, რომელიც წარმოადგენს ლითონის აბაზანის ზევით მოთავსე-ბულ მოცულობას. თანამედროვე კონვერტერებისათვის ავი იცვლება 6,0 — —8,0 მ-მდე. კონვერტერის აბსოლუტური ზომები—მეშა სიერცის სიმაღლე და დიამეტრი განისაზღვრება კუთრი მოცულობისა და HD ფარდობის შერ-ჩევით. დიდტონაჟიან კონვერტერებისათვის სიმაღლე 9,9 მ მდე აღწევს, ხო-ლო დიამეტრი 7 მ-მდე. 300—350 ტ-ან კონვერტერების გარსაცმის სიმაღლე 12 მ-მდე აღწევს, ხოლო დიამეტრი 9,2 მ-მდე.

I ტიპის კონვერტერებისათვის წაყვეთილი კონუსის კედლების ვერტი-კალთან დახრის კუთხე 20-დან 45°-მდე იცვლება, ხოლო წაყვეთილი კონუსის ფუძის დიამეტრი—0,55—0,9 D-ს შეადგენს (ნახ. XIV.3, ა). II ტიპის კონ-ვერტერებისათვის სფერული ძროს სეგმენტის სიმაღლე მოყვანილია XIV.3, ბ. ნახაზზე.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ლითონის აბაზანის სიღრმე მცირე ტევა-დობიან კონვერტერებისათვის 1 მ-ს უნდა აღემატებოდეს. უკიდურეს შემთხ-ვევაში შესაძლოა ძროს ამონაგის დროზე ადრე წყობიდან გამოსვლა. თანა-მედროვე 100 ტ და მეტი ტევაღობის კონვერტერებისათვის ლითონური აბა-ზანის სიღრმე 1,2—1,9 მ-ს შეადგენს.

კონვერტერის ხახის D_ა დიამეტრი მდებარეობს 0,4—0,6 D ფარგლებში და 1-დან 4-მდე იცვლება ჩვეულებრივ, იგი კონვერტერის ტევაღობის ზრდას-თან ერთად იცვლება. მიუხედავად ამისა, პრაქტიკულად ერთნაირი ტევაღო-ბის კონვერტერების ხახის დიამეტრები და სიღრმე საგრძნობლად განსხვავ-დება ერთმანეთისაგან. ეს განსხვავება დაკავშირებულია მთელ რივ მოთხოვ-ნებზე. ასე მაგალითად, დიდი ზომის ხახები ლითონის ჯართის ჩატვირთვის საშუალებას იძლევა, რაც ამცირებს დნობის ხანგრძლივობას და ზრდის ამო-ნაგის მდგრადობას უკანასკნელი გამოწვეულია მაღალტემპერატურული გამო-მავალი აირების ამონაგზე სუსტი ზემოქმედებით. მეორე მხრივ, დიდია თბუ-რი დანაკარგები. მცირე დიამეტრის ხახის შემთხვევაში მცირდება აზოტის შემკველობა თხევად ფოლაღში. დიდი დახრის კუთხის შემთხვევაში წარმო-იქმნება ამონაგის ჩამონგრევის საშიშროება.

ქანგბადის კონვერტერის ამონაგი შედგება რამდენიმე ფენისაგან—ძირი-თადად ორი ან სამი ფენისაგან. პირველი წარმოადგენს 110—250 მმ სისქის საარმატურო ფენას, რომელიც უშუალოდ გარსაცმს ეხება. იგი ამოიგება მაგ-ნეზიტის ან მაგნეზიტკრომიტული (ან ქრომმაგნეზიტური) აგურებისაგან. ამის შემდეგ ზოდის 50—100 მმ მაგნეზიტის ან დოლომიტის გაფისული დატკეპ-ნილი ფენა, რომელსაც მოსდევს 500—750 მმ საშუალო ფენა. საარმატურო ფე-

ნა დიდი ხნის განმავლობაში არ მოითხოვს შეკეთებას. ამგვარად, კონვერტერის ამონაგის საერთო სისქე 700—1000 მმ-ს აღწევს.

პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ ცანგბადის კონვერტერებში მაღალი მდგრადობით ხასიათდება ფისით გაკლენთილი ცეცხლგამძლე მასალები. მუშა არის ამოგება ძირითადად გაფისული დოლომიტით წარმოებს, რომელიც სხვა ცეცხლგამძლე მასალებთან გაკლენით უფრო იაფია. შედარებით უფრო ძვირი მასალაა გაფისული დოლომიტმაგნეზიტი ან გამოშვარი მაგნეზიტი; ისინი ძირითადად გამოიყენებიან ამონაგის მშენებლის წყობებისათვის, რომლებიც განიცდიან დიდ ცეცხლს. გამოწვარი დოლომიტი შედგება 50—60% CaO, 32—39% MgO, <5—7% SiO₂ და <8—12% სხვა მინარეებისაგან. შექვერვლად გამოიყენება ქვანახშირის ფისი. მათი ერთმანეთში შერევა წარმოებს 80—130°C-ზე, რის შემდეგაც იტვირთება სპეციალურ ფორმებში და აგურებად იწებება. ასეთი მასალების ძირითად უარყოფით მხარეს შეადგენს მათი ჰიდრატაციისაკენ გაზრდილი მიდრეკილება, რაც გამოიხატება დოლომიტში არსებული კალციუმის ქანგის აქმოსფერულ ტენთან რეაგირებით. ყოველივე ამის შედეგად აკური კარგავს თავის სიბტკიცეს და ფუნქციონირებს. შედარებით უფრო მდგრად მასლას წარმოადგენს გაფისული დოლომიტმაგნეზიტის აგური, რომელიც შეიცავს კალციუმის ქანგის ვაცილებით მინიმალურ ოდენობას.

გაფისული ცეცხლგამძლე მასალებით ამოკება ნელ მდგრადობაში წარმოებს. მათ გამოწვას ამონაგის ამოკების დაჰაერების შემდეგ 1100—1200°C-ზე აწარმოებენ. ამ დროს მიმდინარეობს ფისის დაკოქსება, ე. ი. აქროლადი მინარეები ცილდება და რჩება კოქსის მტკიცე ნარჩენება. გამოწვისას ამონაგის სწრაფად ხურდება. უკიდურეს შემთხვევაში ამონაგაში შემავალი ფისი რბილდება, კარგავს თავის სიბტკიცეს და იშლება. წარმოქმნილი კოქსი კარგად კრავს ცეცხლგამძლე მასალების ნაწილაკებს და, რაც მთავარია, მისგან წარმოქმნილი თხელი აფსკი თხევადი წილისაგან არ სველდება. ეს უკანასკნელი საგრძნობლად ამცირებს ამონაგის დროზე აღზე რღვევის ხარისხს.

ამონაგის ძირითადი ცვეთა კონვერტერის წილის სარტყელზე, სამუშაო სივრცის ცილინდრულ ნაწილში, მიმდინარეობს. გარდა ამისა, ინტენსიურ ცვეთას განიცდის გამოსაშვება კრიკა, ხაზის ამონაგის და ძროს ის უბნები, რომლებსაც ვარდნილი კაზნის ნაკრები ეცემა. ამონაგის მდგრადობა ძირითადად დამოკიდებულია თვით ცეცხლგამძლე მასალის ხარისხზე, დნობის ტექნოლოგიასა და საკაზმე მასალების შედგენილობაზე.

ამონაგის მდგრადობაზე დიდ გავლენას ახდენს, აგრეთვე, დნობის წილური და ტემპერატურული რეჟიმები. ლითონისა და წილის გადახურება იწვევს ცეცხლგამძლის გარბილებასა და მის მუშა ფენის ჩამორცხვას. წილა რაც თხელდენადია და დიდი რაოდენობითაა, მით მეტია ამონაგის ცვეთა. გარდა აღნიშნულისა, ამონაგის მდგრადობა განისაზღვრება წილაში რკინის ქანგეულების შემცველობით, რომელთა რეაგირება ცეცხლგამძლე მასალებში არსებული კალციუმისა და მაგნიუმის ქანგეულებთან იძლევა ადვილდნობად შენაერთებს.

აღსანიშნავია, რომ წილაში FeO ს შემცველობა დიდად არის დამოკიდებული საბოლოო ლითონში ნახშირბადის კონცენტრაციაზე; რაც დაბალია ნახშირბადი ლითონში, მით მეტია საბოლოო წილაში რკინის ქვექანგის შემ-

ცველობა. აპგვარად, ამონაგის მდგრადობა დიკად არის დამოკიდებული გა-
შოდნობილი ფოლადის სორტაშენებზე.

ამონაგის მდგრადობაზე უარყოფითად ზოქედებს გადასაკეთებელ თუჯ-
ში სილიციუმის მაღალი შემცველობა, რის შედეგადაც საწყის წიდაში იზრ-
დება SiO_2 -ის კონცენტრაცია და მკირდება ფუძიანობა. წარმოქმნილი SiO_2 -ის
შესაწიდად აუცილებელია კირის ხარჯის ზრდა, რაც თავისთავად წილის რა-
ოდენობის ზრდასა და ამონაგის ცვეთას რწევს.

ამონაგის მდგრადობაზე ცუდ გავლენას ახდენს დნობებს შორის რტერ-
ვალის ხანგრძლივობის ზრდაც. ამ შეზხვევაში კონვერტერში იჭრება ჰაერი
და მასში ქმნის დამანავველ ატმოსფეროს. ეს უქანასკნელი კი, თავის მხრივ,
იწვევს კოქსის აფსკის დაქანავას და აჩქარებს ამონაგის ცვეთას. ამიტომ
დნობებს შორის სასურველია კონვერტერში აღმდგენელი ალით შენარჩუნე-
ბულ იქნეს აღმდგენელი ატმოსფერო.

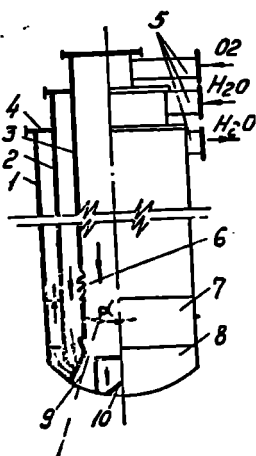
დნობებს შორის ამონაგის შეკეთება წარმოებს ტორკტერიტების მეთო-
დით, რაც მდგომარეობს გაცვეთილი ადგილების შეკეთებით შეკუმშული ჰაე-
რის ქველში ნოტიო ცეცხლგამძელ მასის მიწოდებით.

გაფისული დოლომიტის ან დოლომიტომაგნეზიტის აკურებით ანოგებუ-
ლი კონვერტერის ამონაგის მდგრადობა 400—800 დნობას შეადგენს.

ქანგბად-კონვერტერებში ქანგბადი მიეწოდება 9—14 ატ წნევით წყლით-
გამაციებულ ქშენების შეშევობით, რომლებიც კონვერტერში ხახიდან შეიტა-
ნება. ქშინები მზადდება საში კონცენტრირებულ-

ად განლაგებულ ფოლადის მილებისაგან. ქვევი ღან
იგი აღჭურვილია სპილენძის თაურით. საქშენში
(ნახ. XIV.4) მილებს შორის მოთავსებული არე-
ების მეშევობით წარმოებს გამაციებელი წყლისა
და ქანგბადის მიწოდება. ქშინების საერთო სი-
გრძე 7 მეტრამდე აღწევს. მათში თერმული ძაბვე-
ბის შესამკირებლად (რაც გამოიწვევა გარე და
შიგა მილების სხვადანსხვა თერმული გაფართოე-
ბით) გათვალისწინებულია კომპენსატორები ან მო-
ძრავი შემამკიდროვებლები, რომლებიც შიგა მი-
ლებს უკეთდება. თანამედროვე 100—160 ტონია-
ნი ქანგბად-კონვერტერებში გამოიყენება ქშინები
სამიდან ხუთი საქშენებით. უფრო მეტი ტველო-
ბის კონვერტერებისათვის მათი რიცხვი შეიდამდე
აღწევს. საქშენების დიამეტრები ისეთი ანგარი-
შით აირჩევა, რომ ქანგბადის მიწოდების ინტენ-
სიგობა 2,5—5,0 მ³/ტ. წთ შეადგენდეს. ამ საქშე-
ნებს ლაველის საქშენები ეწოდება და მათი კრი-
ტიკული დიამეტრი 28—80 მმ-ს შეადგენს, ხო-
ლო ერთი საქშენიდან ქანგბადის ხარჯი არ უნდა
აღემატებოდეს დაახლოებით 200 მ³/წთ. ქშინების
მდგრადობა 50—250 დნობას შეადგენს. ქშინები-
დავ გამოზავალი გამაციებელი წყლის ტემპერა-
ტურა 40-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

ქ ა ნ გ ბ ა დ - კ ო ნ ვ ე რ ტ ე რ ი ს ს ა კ ა ზ მ ე



ნახ. XIV 4. მრავალსაქშენიანი
ქანგბადის ნისარლებელი საქშე-
ნების სქემა: 1, 2, 3—ფოლადის
მილები; 4—ნობელური შემკიდ-
როვება; 5—ნობელური და წყლის
ნის-წოდებელი მილები; 6—კომ-
პენსატორი; 7—გარე მილის გა-
შოსაცვლელი ნაქალი; 8—ქშენის
სპილენძის თაური; 9—საქშენი;
10—ნისარლი.

მასალეში. ქანგბად-კონვერტერის პროცესის ძირითად საკაზზე მასალას თხევადი თუჯი წარმოადგენს, რომლის შეუგენილობაც შესაძლოა ნებისმიერი იყოს. მაგრამ მინარეების რაოდენობა სასურველია იყოს რაც შეიძლება ნაკლები. ასე, მაგალითად, თუჯში სილიციუმის მაღალი შემცველობა ზრდის კირის ხარჯს (წარმოქმნილი SiO_2 -ის ასაწიდა); გარდა ამისა, იზრდება წილის რაოდენობა, რაც იწვევს ლითონის დანაკარგებს (წიდასთან და ამონაშხეფების სახით). ამასთან, წიდაში SiO_2 -ის მაღალი შემცველობა იწვევს ამონაგის მდგრადობის შემცველობასა და ლითონის დესულფურაციის გაუარესებას. მიუხედავად ამისა, სილიციუმის არსებობა თუჯში ევზოთერმული რეაქციის ხარჯზე გეძლეუც დამატებით სითბოს, რაც საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ჩატვირთული ლითონის ჯართის რაოდენობა. თანამედროვე დიდი ქარხნები ამუშავებენ 0,6—0,9% სილიციუმის შემცველ თუჯებს.

მანგანუმის მცირე შემცველობა იწვევს კირის გახსნასა და წილის წარმოქმნის სიჩქარის შეცირებას. ეს დაკავშირებულია კირის შენელებულ გახსნასთან. მანგანუმის მაღალი შემცველობის შემთხვევაში მის ამოწვასთან დაკავშირებით მცირდება ვარგისი ფოლადის გამოსაყოლიანობა. პრაქტიკიდან დადგენილია, რომ ქანგბად-კონვერტერებისათვის გადამამუშავებელი თუჯები უნდა შეიცავდეს 0,7—1,1% მანგანუმს.

თუჯში ფოსფორის შემცველობა 0,1%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. სასურველია 0,15%-იანი თუჯების გადაშეშება, რადგანაც ამ დროს პროცესი ერთ წიდაზე მიმდინარეობს. ფოსფორის 0,3%-მდე გაზრდა მოითხოვს ორ წიდაზე მუშაობას, ე. ი. პროცესის იმდინარეობისას წილის შობდა და ახლის შექმნა.

ქანგბად-კონვერტერის თუჯში გოგირდის შემცველობა 0,07%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. სხვა შემთხვევაში დესულფურაციის პროცესი არასრულყოფილად მიმდინარეობს.

გადამამუშავებელი თხევადი თუჯის ტემპერატურა 1250—1400°C შეადგენს.

კაზში ლითონის ჯართის რაოდენობა თხევადი თუჯის მასის 30%-მდე უნდა შეადგენდეს.

წილის ძირითად წარმოქმნელ მასალას კირი წარმოადგენს. წილის გათხევადებისათვის ბოქსიტი ან მლზობი შპატი გამოიყენება. ვაშაცივებლად რკინის მადანი, აგლომერატი, მადან-კირქვიანი ბრიკეტები ან ნაგლინის ზენჯი გამოიყენება. შესაძლოა გამოიყენოთ კირქვაც.

§ XIV. 6. ქანგბად-კონვერტერული პროცესი

როგორც წინა პარაგრაფში აღინიშნა, ქანგბად-კონვერტერში შესაძლებელია როგორც თომასის, ასევე მცირეფოსფორიანი თუჯების გადაამუშავება. მათი მიახლოებითი შედგენილობა მოყვანილია XIV.6 ცხრილში

ცხრილი 71V.6

გადამამუშავებელი თუჯების შედგენილობა

| თუჯი | შემცველობა, % | | | | |
|-----------------|---------------|------|------|------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| თომასის | 3,60 | 0,25 | 0,54 | 1,78 | 0,125 |
| მცირეფოსფორიანი | 3,40 | 0,75 | 0,75 | 0,03 | 0,080 |

ქანგბადით გაქრევისას მიღებული კარბი სითბო გამოიყენება რკინის მად-
ნის აღსადგენად, რომლის ძირითადი ნაწილიც კონვერტერში თუჯის ჩასხმის
წინ იტვირთება.

ქანგბადის მიწოდების რეჟიმი დიდ გავლენას ახდენს როგორც პროცე-
სის ხანგრძლივობაზე, ისე წილის წარმოქმნის მიმდინარეობასა, ფოლადის ხა-
რისხსა და ამონაგის მდგრადობაზე. ქანგბადის წნევა ქმინებში 9—14 ატ შე-
ადგენს, რაც იძლევა კვალის აუცილებელ კინეტიკურ ენერგიას. პროცესის
მიმდინარეობაში ქანგბადის ხარჯი დაუკიდებელია თუჯში შემავალი მინარე-
ვების (C, Si, Mn, P, S და სხვ.) კონცენტრაციაზე. 1 ტ გამოდნობილ ფო-
ლადზე იხარჯება დაახლოებით 50—57 მ³ ქანგბადი. ღრის ერთეულში ქანგ-
ბადის ხარჯი იზრდება კონვერტერის ტეკადობის ზრდასთან ერთად და თანა-
მედროვე ქანგბად-კონვერტერებში 100—2000 მ³ წთ შეადგენს.

ქანგბადის გაქრევის რეგულირებაზე დიდ გავლენას ახდენს თხევადი
ლითონის აბაზანაში ქმინების ჩაყვინთვის სიღრმე. რაც მეტია ეს უქანასკნე-
ლი, შით მეტა წნევაა საკირო ქანგბადის მიწოდებისათვის. ჩაყვინთვის მცირე
სიღრმე და ქანგბადის დაბალი წნევა იწვევს წიდაში მყოფი რკინის ნაწილა-
კების დაქანგვასა და წილის წარმოქმნის დაჩქარებას. ჩაყვინთვის სიღრმის
ზრდა კი იწვევს თხევადი ლითონის აბაზანიდან ნახშირბადის ცენტენსიურ და-
ქანგვას.

წილის წარმოქმნის დაჩქარებისათვის გაქრევას აწარმოებენ მცირე სიღრ-
მით ქმინების ჩაყვინთვით; შემდგომ მას ღრმად ყვინთავენ, რაც ამცირებს
გაქრევის პროცესის ხანგრძლივობას.

გამოდნობილი ფოლადის ხარისხზე დიდ გავლენას ახდენს ქანგბადის
სისუფთავე, რაც გამოისახება ლითონში აზოტის შემცველობით. მაგალითად,
98—98,7% სისუფთავის ქანგბადის გამოყენებით ფოლადი შეიცავს 0,004—
—0,007% აზოტს; ხოლო 99,5% სისუფთავის შემთხვევაში ფოლადში აზო-
ტის შემცველობა 0,002—0,003%-მდე ეცემა.

ქანგბადის კონვერტერში წილის ფორმირება ძირითადად ჩატვირთული
კიზის, თუჯში შემავალი მინარევების დაქანგვითა და ამონაგოდან მასში გა-
დასულა ქანგეულების ხარჯზე მიმდინარეობს. წილის შედგენილობა და ფი-
ზიკურ-ქიმიური თვისებები დიდ გავლენას ახდენს ფოლადის ხარისხსა და
ამონაგის მდგრადობაზე. ასე, მაგალითად, წილის დაბალი ფუძიანობის შემთხ-
ვევაში ფოლადი შეიცავს ფოსფორისა და გოგირდის შედარებით დიდ რაო-
დნობას. გარდა ამისა, ასეთი წილები იწვევს ამონაგის გახსნას.

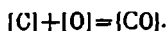
წილის ქანგვისუნარიანობის ზრდა იწვევს ლითონის ამოშხეფვის, განმ-
ქანგველების ამოწვისა და ლითონის დანაკარგების ზრდას. წილის წარმოქმ-
ნელ ძირითად მასალად კირი გვევლინება. მისი სწრაფე ხსნადობა რკინის,
მანგანუმისა და სილიციუმის ქანგეულთან აფორმირებს სასურველი თვისე-
ბების მქონე წიდას.

წილის წარმოქმნის დასაჩქარებლად ხშირად მრავალკომპონენტიანი წილის
წარმოქმნელები შეჰყავთ, რომლებიც შეიცავენ კალციუმისა და რკინის ქან-
გეულებს. ასეთებია აფლესებელი აგლომერატი. მადან-კირიანი ბრიკეტები
და სხვ. კირი და სხვა წილის წარმოქმნელი კომპონენტები დნობის პროცეს-
ში იმ ანგარიშით შეჰყავთ, რომ საბოლოო წილის ფუძიანობა $\text{CaO}:\text{SiO}_2 \geq 2,5$,
წილის საბოლოო შემადგენლობა ქანგბად-კონვერტერის პროცესში შესაძლოა
მათხლოებით იყოს შემდეგი: 40—50% CaO; 12—22% SiO₂; 7—20% FeO.

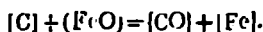
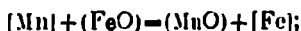
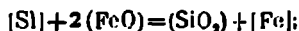
7—15% MnO; $\leq 7\%$ Al₂O₃; $\leq 8\%$ MgO; 0,5—0,7% P და $\leq 1\%$ CaS. წარმოქმნილი წილის რაოდენობა ფოლადის მასის 10—17% შეადგენს.

ქანგბად-კონვერტერის პროცესში თუჯში შემავალი მინარეკების დატანვა მიმდინარეობს როგორც აირადი ქანგბადით, აგრეთვე გაქრევის შედეგად ლითონსა და წიდაში გახსნილი ქანგბადის მეშვეობით.

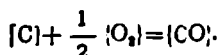
თუჯის მინარეკების დაქანგვა ლითონში გახსნილი ქანგბადით მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციებით:



მინარეკების ნაწილის დაქანგვა მიმდინარეობს ლითონ-წილის გამყოფ ზედაპირზე

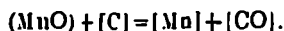


აღნიშნული რეაქციების პარალელურად ლითონის აბაზანიდან ნახშირბადის ამოწვა მიმდინარეობს უშუალოდ აირად ქანგბადთან ურთიერთქმედებით



სილიციუმისა და მანგანუმის თითქმის მთელი რაოდენობა გაქრევის პირველ წუთებში ამოიწება, რაც აიხსნება შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ქანგბადისაქენ მისი მაღალი სწრაფებით. პირველი 3—5 წუთის შემდეგ თხევადი ლითონი სილიციუმს პრაქტიკულად აღარ შეიცავს და წარმოქმნილი SiO₂ ზოლიანად გადადის წიდაში, სადაც იგი კალციუმის ქანგს უერთდება. სილიციუმის დაქანგვის პროცესი არაშექცევადია და ამიტომ მისი შემდგომი აღდგენა აღარ წარმოებს. შედარებით სხვა სურათს გვაძლევს მანგანუმის დაქანგვა: წარმოქმნილი MnO ფაქე წიდაში ე წ. „თავისუფალი სახით“ გვევლინება და შესაძლოა მისი აღდგენა. მანგანუმის დაქანგვის პროცესი მიმდინარეობს დაბალ ტემპერატურაზე წონასწორობის მიღწევამდე. გაქრევის 2—7 წუთის შემდეგ დაახლოებით 70% მანგანუმისა იქანგება და დაქანგვის რეაქცია წონასწორობას უახლოვდება.

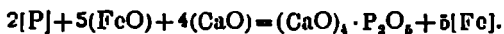
გაქრევის მეორე ნახევარში მაღალი ტემპერატურა და ქანგბადისაქენ ნახშირბადის სწრაფვის ზრდა იწვევს მხოლოდ ნახშირბადის დაქანგვისა და ნახშირბადით წიდიდან მანგანუმის ნაწილობრივ აღდგენას



პროცესის ბოლოს, როდესაც თხევადი ლითონის აბაზანიდან ნახშირბადი თითქმის მთლიანად დაქანგვლია, შეიძლება ლითონში აღდგენილი მანგანუმის მეორეული დაქანგვა და მიღებული ქანგეულის წიდაში გადასვლა.

საბოლოოდ ლითონში მანგანუმის შემცველობა დამოკიდებულია თუჯში მის საწყის შემცველობაზე. პროცესის დასაწყისში, როდესაც შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს სილიციუმისა და მანგანუმის ინტენსიური დაქანგვა, ნახშირბადის დაქანგვის სიჩქარე შედარებით დაბალია და 0,10—

—0,15 % წილ შეადგენს, ხოლო შემდგომ პერიოდში ნახშირბადის დაქანგვის სიჩქარე 0,4 %-ით აღწევს. განახშირბადიანების რეაქციას ქანგბად-კონვერტერულ პროცესში ძირითადი როლი ენიჭება, რადგანაც მასზეა დაშოვი დეზული მთელი დნობის ხანგრძლივობა და წარმოქმნილი CO-ის ნიჟარების მეშვეობით თხევად ლითონიდან აზოტის მოცილება. CO-ის ინტენსიური გამოყოფა იწვევს. აგრეთვე, თხევადი ლითონის აბაზანისა და წილის ინტენსიურ არევის, რაც ხელს უწყობს დეფოსფორაციისათვის ხელსაყრელ პირობებს, რომლებიც წილის ნაადრევად წარმოქმნას, ლითონისა და წილის ინტენსიურ არევის, მაღალდუქიანი და მაღალდამყანგველი წილების წარმოქმნასთანაა დაკავშირებული. ყოველივე ჩამოთვლილი ხელს უწყობს ლითონიდან ფოსფორის შედარებით სრულყოფილად მოცილებას. ეს რეაქცია შესაძლოა შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ:



გაქრევის დაწყების პირველ წუთებში წარმოებს რკინოვანი მაღალდუქიანი წილის სწრაფი ფორმირება. ამასთან, ფოსფორის დაქანგვის რეაქცია მიმდინარეობს გაქრევის პირველ ნახევარში მაღალი თბური ეფექტით, როცა ტემპერატურა შედარებით დაბალია. დეფოსფორაციას ხელს უწყობს წილის დაბალი სიბლანტე. დეფოსფორაციის პროცესი მიმდინარეობს რეაქციის წონასწორობამდე, რის შემდეგაც პრაქტიკულად იგი ერთ დონეზე რჩება. დეფოსფორაციის შემდეგი მიმდინარეობისათვის (როცა გადასამუშაებელ თუჯებში ფოსფორის შემცველობა $> 0,15\%$) აუცილებელია არსებული პირველადი წილის მოცილება და ახლის შექმნა.

ქანგბად-კონვერტერულ პროცესში დესულფურაცია დნობის მთელ პერიოდში მიმდინარეობს, რომელიც გაქრევის პირველ წუთიდან იწყება. მიუხედავად ამისა, როგორც აღინიშნა, დესულფურაციის ხარისხი შედარებით დაბალია და დაახლოებით 10% -ს შეადგენს. წილაში იგი იქანგება გაქრეული ქანგბადით და გამოიყოფა SO აირადის სახით. განგოგირდების ხარისხი ისევე, როგორც თომაის პროცესში, 40% არ აღემატება. ავგვარად, ქანგბადით კონვერტერებში დესულფურაციისათვის აირის ხელსაყრელი პირობები დნობის პროცესში ტემპერატურის გაზრდა და წილის გათხიერება რამდენადაც შრდის დესულფურაციის ხარისხს.

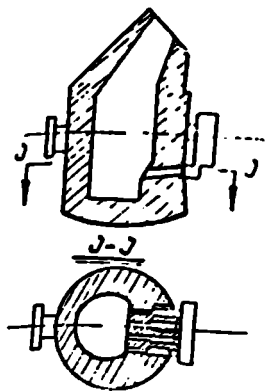
ქანგბად-კონვერტერული ფოლადის გაქანგვა ლითონის გამოშვებისას ცოცხელი წარმებს, რადგანაც უშუალოდ კონვერტერში განმეანგველების შეყვანა იწვევს მათში შემავალი ელემენტების დიდ ამოწვას. ასე, მაგალითად, მშვიდი ფოლადის გამოდნობის შემთხვევაში განმეანგველები ცოცხელი უშუალოდ ლითონის ქველზე შემდეგი თანამიმდევრობით მიეწოდება: დასაწყისში ფერომაგანეში (ან ფეროსილიციუმში), შემდგომ ფეროსილიციუმში და ბოლოა აღუმინი. პრაქტიკულად დაღვენილია, რომ განმეანგვეს ასეთ თანამიმდევრობას შემთხვევაში წარმოებს მანგანუმის $10 - 25\%$ და სილიციუმის $15 - 25\%$ ამოწვა. მდულარე ფოლადის განმეანგვის შემთხვევაში მანგანუმის ამოწვა იზრდება და $20 - 35\%$ აღწევს. აღუმინის ხარჯი დამოკიდებულია გამოშვების წინ ლითონში ნახშირბადის შემცველობაზე და 1 ტ ფოლადზე მიანსლობით $0,15 - 0,8\%$ შეადგენს. ნახშირბადის შემცირებასთან ერთად აღუმინის ხარჯი იზრდება.

§ XIV. 7. გვირდითი გავრავის კონვერტერული პროცესი (მცირე განმეანგვა)

მცირე ბესემერებაში იგულისხმება მცირეტევადობიანი (≤ 3 ტ-მდე) კონვერტერში გვერდითი ბერვით თუჯის გაქრევა (ნახ. XIV.5). ისინი, ჩვეულებით რივ, მთავე ცეცხლგამძლე მასალებით (დინასის ატურით) ამოიგებიან. ზოგ

შემთხვევაში კვადება ნაწილობრივ ან მთლიანად დატკეპნილი ამონაგი, რომელიც მხადლება კვარცის სილია და ცეცხლგამძლე თიხის შერევით.

მცირე ბესემერებისათვის გამოიყენება შეზღუდული ფოსფორისა და გოგირდის შემცველობის თუჯი. თხევადი თუჯი კონვერტერის ბოჭვებისაგან მიეწოდება. ჰაერი მიეწოდება უშუალოდ ლითონის აბაზანის ზედაპირის მახლობლად. საქმენები მოთავსებულია გვერდით (ქვევიდან 0,4 — 0,5 მ-ის სიმაღლეზე). მათი რიცხვი 5—8 შეადგენს, დააქუჩი 30—50 მმ. ჰაერის ქველის მიმართულია აბაზანის ზედაპირის ზემოთ ან აბაზანის ზედაპირის შიგნით შესაძლოა ცეცხლოთ კონვერტერის ერთ ან მეორე მხარის დახრით. როდესაც მიწოდებული თუჯის ტემპერატურა შედარებით დაბალია, ჰაერის მიწოდება აბაზანის ზედაპირის ქვეშ წარმოებს, რისთვისაც კონვერტერს საქმენების მხარეს ვერტიკალიდან 4—7°-ით ხრიან. სილიციუმისა და მანგანუმის ამოწვის შედეგ კონვერტერს ზრან საწინააღმდეგო მიმართულებით 5—15°-ით.



ნახ. I.V.5. გურდით ზრეიანი მცირე ბესემერის კონვერტერის

მცირე ბესემერების შემთხვევაში, ისევე როგორც ქვევიდან გაქრევის კონვერტერებში, შეიმჩნევა ორი არე. სადაც მიქლინარეობს უანგვითი რეაქციები. ესენია: გაქრევისა და ცირკულაციის არე. გაქრევის არეში, სადაც შებერილი ჰაერი უშუალოდ ეხება ლითონს. ჰაერის ქველი ვერ ატანს თხევადი ლითონის მთელ ფენას, შეაღწევს მხოლოდ მის ზედაპირულ ფენებში. ამიტომ წარმოქმნილი რკინის ქვეყანვის საგრძნობი ნაწილი წიდას მიეწოდება, მხოლოდ მცირე ნაწილი კი უშუალოდ თხევად ლითონში იხსნება.

რადგანაც ეანგბადის ზემოდან გაქრევის შემთხვევაში ლითონთანურ. თიერთქმედების ზონაში ეანგბადი ძირითადად რკინისთან შეერთებაზე იხარჯება, გვერდითი გაქრევისას წიდაში არსებული რკინის ქვეყანგი ეანგბადს ენერგიულად შთანთქავს. წიდას მერ შთანთქმული ეანგბადი განუწყვეტლევ ლითონს მიეწოდება, რაც იწვევს მინარეუბის დაეანგვას. აჰეარად, ამ შემთხვევაში მინარეუბის დაეანგვის არეს პრაქტიკულად წარმოადგენს ლითონის აბაზანის თითქმის მთელი მოცულობა.

გაქრევის დასაწყისში თხევად წიდაში ბერევა გამოიყენება ლითონის აბაზანის ინტენსიური არევის ერთგვარ საშუალებად. პროცესის დასაწყისში, როდესაც ლითონი შეიცავს სილიციუმის ჯერ კიდევ მაღალ შემცველობას და ტემპერატურა არასაკმაოა, ნახშირბადის ამოწვა პრაქტიკულად არ წარმოებს. ამიტომ აბაზანა დამშვიდებულია, ლითონში გახსნილი ეანგბადის გავრცელება მთელ მოცულობაში ნელა მოქმედებს, რის შედეგადაც სილიციუმისა და მანგანუმის დაეანგვაც ნელა ხდება.

როდესაც იწყება ლითონში ნახშირბადის დაეანგვა და წარმოქმნილი ნახშირბადის ეანგვის მიერ აბაზანის ინტენსიური არევა, ამ შემთხვევაში შებერილი ეანგბადის მიწოდება მცირდება. აბაზანის ზედაპირზე ნახშირეანგის ნახშირორეანგამდე დარწა წარმოებს უშუალოდ აბაზანის ზედაპირზე თავისუფალი ეანგბადის არსებობით, ამის შედეგად აბაზანის თავზე აირების ტემპე-

რატურა საგრძობლად იზრდება, რაც, თავის მხრივ, ზღვის აბაზანის ტემპერატურას. ამიტომ პროცესის პირველი პერიოდიდან მეორეში გადასვლის დროს კონვერტერს ხაზან ისეთი კუთხით, რომლის დროსაც ქვინებიდან გამოსული ჰაერის ქაელის ნაკადი პიპარეულია აბაზანის ზედაპირზე. ეს უკანასკნელი უზრუნველყოფს აბაზანას თავზე თავისუფალი ენგბადის არსებობას. რეაქციის ტერაპია — დაეანვა და წიღის წარმოქმნა, მინარევევის ეანგვის თანამიმდევრობა, აკრუთე წარმოქმნილი წიღის შედგენილობა თითქმის არ განსხვავდება ქვევიდან გაქრევისაგან.

მცირე კონვერტერებში, დიდი ტევალობის კონვერტერისაგან განსხვავებით, მკვეთრად იზრდება ხეურითი (1 ტ ლითონზე) გარე ზედაპირი, რის შესაბამისადაც გაქრევის პროცესში ლითონის ერთეულზე მოსული სითბოს დანაკარგები იზრდება. ამიტომაც, რომ მცირე ბესემერებისათვის გამოიყენება თუჯები სილიციუმის მაღალი შექცევლობით (1,2—1,6%/), რომლის ეანგვაც (წვა) იქლევა ქიმიურ სითბოს. ხელოვნურად ქიმიური სითბოს ზრდა წარმოებს გაქრევის პროცესში ფეროსილიციუმის დამატებით.

მცირე ბესემერებისათვის შესაძლოა გამოიყენოთ თუჯები სილიციუმის დამალი შემცველობითაც, მხოლოდ იმ პირობით, რომ ჩასხმის პროცესში მათი ტემპერატურა მაღალი უნდა იყოს (1400—1450°C). ამავე დროს ამონაგის ტემპერატურა არ უნდა იყოს 1400—1500°C-ზე დამალი. პროცესის ასეთ ვარიანტს „რუსულს“ უწოდებენ. მის ძირითად დადებით მხარეს წარმოადგენს გაქრევის მცირე ხანგრძლივობა, ფეროსილიციუმის მცირე ხარჯი, ბოვის თუჯების სიძაფე და სხე.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ ჰაერის გვერდითი გაქრევის ფოლადი ხასიათდება აზოტისა და არალითონური ჩანართების დამალი შემცველობით. აზოტის შემცველობა ლითონში გვერდითი გაქრევის შემთხვევაში 0,003%-ს არ აღემატება.

მცირე ბესემერებამ გამოიყენება პოვა მანქანათმშენებლობის, ეავონშემკეთებელ და სხვა ქარხნებში ფოლადის ფასონური ჩამოსხმისათვის.

გვერდითი გაქრევის კონვერტერების საქმენების შიგა დიამეტრის ზომები შეირჩევა კონვერტერის ტევალობის მიხედვით: 0,6—1,0 ტ-ანი კონვერტერებისათვის იგი შეადგენს 8 მმ, ხოლო 2,5—3,0 ტონისათვის—14—16 მმ. ჰაერის წნევა გაქრევის დასაწყისში 2—2 ატ ს აღწევს, ხოლო შემდგომ იზრდება 12—15 ატ-მდე.

ტექნიკურ ეკონომიკური მიჩვენებლების გაუმჯობესების თვალსაზრისით, მცირე ბესემერებისას გასაქრევედ ჰაერის ნაცვლად სუფთა ტექნიკურ ეანგბადს იყენებენ. ეანგბადი მიეწოდება ცეცხლგამძლე ქმენების შემუვობით, რომლის ცენტრალურ ხერელში (არხში) მოთავსებულია სპილენძის მილი. ქმენები მოთავსებულია გვერდით, თხევალი აბაზანის მიმართ 30—45° დახრის კუთხით. ქმენების გამოსავალი ხერელი მოთავსებულია თხევალი ლითონის ზედაპირიდან: 50—100 მმ ით ქვევით. ეანგბადის წნევა (ისევე, როგორც ჰაერით გაქრევის შემთხვევაში) დასაწყისში 2—3 ატმ-ა, ხოლო ბოლოს 12—15 ატმ-ს აღწევს.

ეანგბადის სისუფთავის ხარისხი 96—99,5% ია, ხარჯი 1 ტ ფოლადზე 60—70 მ³ შეადგენს. გაქრევის ხანგრძლივობა: 1 ტ კონვენტერისათვის 8—10 წუთი, 2 ტონისათვის—10—12 წუთი, 3 ტონისათვის—12—16 წუთია.

ქანგბადის კონვერტირების თხრობა ბალანსი. როგორც აღინიშნა, ქანგბად-კონვერტერში ჩასხული თუჯის ტემპერატურა, ჩვეულებრივ, 1250—1300°C-ს შეადგენს. ხოლო ლითონის გამოშვებისა—1600—1650°C. ამგვარად, ტემპერატურის ზრდა ქანგბადის კონვერტირებაში წარმოებს თუჯის შინაწებების დაქანგვის შედეგად, რომლებიც ეგზოთერმულად რეაქციის დიდი ძალები ეფუძნებით მიმდინარეობენ.

XIV.7 ცხრილში მოყვანილია ქანგბადს კონვერტერში ფოლადის დნობის თხრობა ბალანსი, როდესაც კაჟში შედგება 21% ჯართისა და 79% თხევადი თუჯისაგან. მხედველობაში უნდა მივიღოთ პირობა, რომ ნახშირბადის 90% CO-თ იქანგება, ხოლო 10%—CO₂-ად. გაქრევის ბოლოს ლითონის შედგენილობა შემდეგია (%-ობით): 0,16% C; 0,24% Mn და 0,035% P. კირისა და ბოქსიტის ხარჯი 1,3%-ს შეადგენს.

ცხრილი XIV.7

ქანგბად-კონვერტერში დნობის თხრობა ბალანსი (100 კგ ლითონურ კაჟზე)

| სითბოს შემოსავალი | კაჟული | % | სითბოს ხარ.ი | კაჟული | % |
|---|--------|-------|--------------------------------------|--------|-------|
| თუჯის ფოსფორი სითბო | 94030 | 51,1 | დოლდის ფიზიკური სითბო | 131680 | 71,5 |
| ეგზოთერმული რეაქციების სითბო | 85470 | 46,5 | წილის ფიზიკური სითბო | 22570 | 122 |
| წილის წარმოქმნის რეაქციის სითბო | 4570 | 2,5 | გ მოსული აირების სითბო | 15340 | 8,5 |
| | | | ნ-წილაკებით გატანილი სითბო | 270 | 1,8 |
| | | | თხრობის დანაკარგები | 9200 | 5,0 |
| | | | ქარბი სითბო | 2170 | 1,2 |
| სულ | 184010 | 100,0 | სულ | 184040 | 100,0 |

აქვე უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ნახშირბადის დაქანგვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს დაახლოებით ერთი მესამედი გაიტანება კონვერტერიდან ამ რეაქციის შედეგად გამოყოფილი აირადი პროდუქტების მიერ.

დიდი თხრობი ეფექტი გამოიყოფა სილიციუმის დაქანგვის შედეგად.

ისევე როგორც ჩვეულებრივ კონვერტერულ პროცესებში, ქანგბად-კონვერტერულ პროცესშიც გამაციებლად შესაძლოა გამოყენებულ იქნას რკინის მადანი, ლითონის ჯართი, ავლოპერატო, კირქვა, დოლომიტი, კირქვა მადნური ბრიკეტები და სხვ.

§XIV. 8. უხვფოსფორიანი თუჯის გადამუშავების მეთოდები

როგორც აღინიშნეთ, ქანგბადის კონვერტირებაში შესაძლებელია 0,2—0,3% ფოსფორიანი თუჯების გადამუშავება. უფრო უხვფოსფორიანი თუჯების გადამუშავება, ჩვეულებრივ, ქანგბად-კონვერტირებაში ეკონომიურად არახელსაყრელია. საბჭოთა კავშირისა და ევროპის სხვა ქვეყნებს აქეთ ფოსფორიანი მადნების დიდი მარაგი. ამიტომ მეტალურგების წინაშე დადგა პრობლემა ქანგბად-კონვერტირული პროცესის გამოყენებით შემუშავებინათ უხვფოსფორიანი თუჯების გადამუშავების ახალი მეთოდები.

ძირითად სიძნელეს, რომლებსაც უხვფოსფორიანი (1,8—2,0%P) თუჯების გადამუშავების დროს ვაწყდებით, წარმოადგენს დნობის ბოლოს ნახშირბადის მოცემულ კონცენტრაციაზე მცირეფოსფორიანი ფოლადის მიღება.

ფოლადის აპაზანის ქანგბადით შემდგომი გაქრევა ახანგრძლივებს დნობის ხანგრძლივობას, დაბლა სცემს მწარმოებლურობასა და ზრდის რკინის ამოწვას, ე. ო. დაბლა სცემს ფოლადის გამოსავალს. ამიტომ პროცესი უნდა წარმართოს ფოსფორის ამოწვის მაღალი სიჩქარით. აუცილებელია, უზრუნველყოთ წილის ფუქიანობის სწრაფი ზრდა მასში FeO-ს პრაქტიკულად მუდმივი შემცველობის შენარჩუნებით.

ბოლო 15 წლის განმავლობაში შემუშავებულია ქანგბად-კონვერტერული პროცესის რიგი ვარიანტები, სადაც ქანგბადის ქველს მიეწოდება ფენილისებრი კირი. ეს მეთოდები ცნობილია O.III, O.III, MД—AII, კალდო, როტორული და სხვ. სახელწოდებებით. განვიხილოთ მოკლედ ზოგიერთი მათგანის არსი.

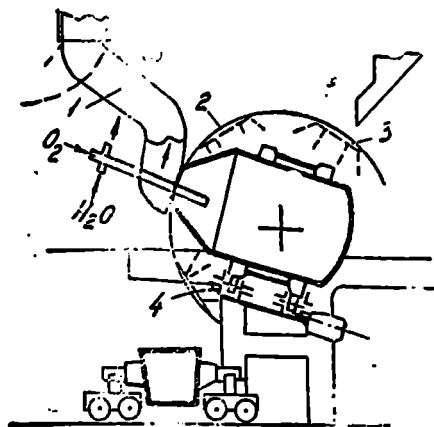
O.III და MД—AII პროცესი. O.III პროცესი შეიქმნა საურანგეთში მეტალურგიულ კვლევით ინსტიტუტში (ИРСИД). ამავე დროს ლუქსემბურგში კონტენ არბელისა და ბელგიაში მეტალურგიულ კვლევით ინსტიტუტში დამუშავდა ანალოგიური პროცესი, რომელიც ცნობილია O.III-ს სახელწოდებით. შემდგომ ამ პროცესებში მიიღო MД—AII-ს სახელწოდება.

ამ მეთოდის არსი ის არის, რომ საქმენების მეშვეობით ქანგბადთან ერთად მიეწოდება კირის ფხენი, რომლის ნაწილაკების ზომები 0,1—2 მმ არ აღემატება. კირის წვრილი ნაწილაკები სწრაფად ხურდება და იხსნება წიდაში. ამის მეშვეობით პროცესის საწყის სტადიაში ფორმირდება კირიან-ჩკინოვანა წიდა, რაც უზრუნველყოფს პროცესის დაწყებისთანავე დეფოსფორაციის რეაქციის განვითარებას, რომლის სიჩქარეც საგრძნობლად აღემატება ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარეს. თვით პროცესი ორი პერიოდისაგან შედგება. პირველი პერიოდის ხანგრძლივობა მთელი დნობის პროცესის 75%-ს შეადგენს. პერიოდის ბოლოს ლითონი შეიცავს მიახლოებით 0,8—1,2‰ C და 0,1—0,3‰ P. ამ დროისათვის გაქრევა წყდება და წარმოებს ფოსფორის შემცველი (20—22% P₂O₅) წილის უმეტესი რაოდენობის (90%-მდე) მოცილება. მოცილებული წიდა სასუქად გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში. მეორე პერიოდის დაწყების წინ კონვერტერში ჯართს ტვირთავენ ან პერიოდულად რკინის მადანი იტვირთება, რის შემდგომაც ნახშირბადის მოციმულ კონცენტრაციასზე დაყვანამდე აწარმოებენ ქანგბადისა და კირის ფხენილით აპაზანის გაქრევის პროცესის ბოლოს გამოდნობილი ფოლადი შეიცავს არა უმეტეს 0,02‰ P; კირის ხარჯი მთელი პროცესის განმავლობაში თუჯის მასის 8—12‰-ს შეადგენს. დესულფურაციის ხარისხი 70%-ს შეადგენს. ჯართის ხარჯი 1 ტ თუჯზე დაახლოებით 25%-ია, ქანგბადისა 55—57 მ³.

MД—AII პროცესი, რომელიც შემუშავებულ იქნა გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში, ანალოგიურია O.III-სი. ძირითადი განსხვავება ის არის, რომ O.III პროცესში კირის დაახლოებით მესამედი რაოდენობა ნატეხების სახით წინასწარ იტვირთება კონვერტერში გაქრევის დაწყებამდე. ეს პროცესი ფართოდ გამოიყენება, გარდა გურ-სა, საფრანგეთში, ინგლისში, ბელგიაში და ლუქსემბურგში.

კალდოს პროცესი შემუშავებულ იქნა პროფ. კალინგის მიერ და პირველად განხორციელდა ღონწარკეტის ქარხანაში (შვეიცია). ამიტომაც ამ პროცესს მათი სახელების დასაწყისი ასოებისაგან შედგენილი სახელი ეწოდა. ამ პროცესის თვისებებზე ის არის, რომ ლითონის დნობა ხორციელდება ბორიზონტთან 17—20% დახრილ კონვერტერში. ასეთი კონსტრუქციის კონ-

ვერტერებს აქვს მობრუნების ორი ლერძი (ნახ. XIV.6). გაქრევის პროცესში კონვერტერი ბრუნავს თავის გრძივი ლერძის ირგვლივ 30—40 ბრ/წთ სიჩქარით. კონვერტერის ბრუნვა იწვევს ფოსფორის სწრაფ და ნაადრევ დაქანევას. ლ. თონის კარგი არევა, სითბოს ინტენსიური მიწოდება და აბაზანის ადგილობრივი გადახურების თავიდან აცილება ხელს უწყობს რკინოვან-კიჩიანი აქტიური წილის ფორმირებას, ლითონისა და წილის კარგ კონტაქტს, ამცირებს რკინის ამოწვას და ზრდის ლითონის გამოსავლიანობას. წარმოქმნილი CO-ს



ნახ. XIV.6. კალდოს კონვერტერი; 1—აირსარიანი; 2, 3, 4—კონვერტერის მდებარეობა, შესაბამისად, თვლის ჩამოსხმის, კარისა და მანძის ჩაქვითვისა და ფოლადის გადმოხმებისას.

CO₂-მდე წყის შედეგად გამოყოფილი სითბო საშუალებას იძლევა გადავამუშაოთ დაახლოებით 50%-მდე ლითონის ჯართი, აკრეთვე როგორც მცირე, ასევე უხვფოსფორიანი თუჯები. ბოლო შემთხვევაში წიდას ორჯერ მოხდაინ: პირველ მოხდას აწარმოებენ, როცა ლითონში ფოსფორის შემცველობა 0,1—0,3%/_ს-ს აღწევს, მეორეს კი 0,05—0,1% P-ს შემთხვევაში. ენგბადის ხარჯი 1 ტ ფოლადზე კალდოს პროცესში 60—70% მ³-ს შეადგენს, ხოლო კირის ხარჯი—ფოლადის მასის 13—14%.

კალდოს პროცესს, ჩვეულებრივ, ენგბად-კონვერტერულ პროცესთან შედარებით გააჩნია თავისი ნაკლოვანებებიც: დნობის დიდი ხანგრძლივობა, ბრუნვის შედეგად ნიშნეკლადი თბური დარტყმების შედეგად ამონაგის დაბალი მდგრადობა, ცეცხლგაქმლე მასალების დიდი ხარჯი და მაღალი კაპიტალური დაბანდებები.

ფოსფორიანი თუჯების გადამუშავების სხვა მეთოდებიც. ჯერ კიდევ 1934 წელს საპკოთა ინჟინერმა მოზგოვოიმ შემოგვთავაზა თუჯიდან ფოლადის მიღების ახალი მეთოდი, სახელდობრ, უშუალოდ ციცხვში ენგბადით თუჯის გაქრევა. ომისშემდგომ პერიოდში პროფ. ვ. კონდაკოვმა ჩაატარა ცდები კონვერტერში თუჯის სუფთა ენგბადით გაქრევით ქვეყიდან. ამ მეთოდის უარყოფითი ენბარეა ციცხლგამძლე ამონაგის დაბალი მდგრადობა, რის გამოც მან ვერ კპოვა ფართო გავრცელება.

სამოციან წლებში კანადაში დამუშავებულ იქნა ქვეყიდან ენგბადის შებერვის მეთოდი, როქელშიაც ენგბადის ქავლი შემოფარგლულია ნახშირწყალბადის ფენით. ამ უქანასქნელმა საგრძნობლად გაზარდა ციცხლგამძლე ამონაგის მდგრადობა.

სამოცდაათიან წლებში ეს მეთოდი პირველად დაინერგა ფტრის ქარხნებში, შემდგომ ფართო გავრცელება პოვა სხვა ქვეყნებშიც. ეს პროცესი შემდგომ OBM-ის სახელწოდებითაა ცნობილი.

საფრანგეთში დამუშავებულ იქნა ქვეყიდან შებერვის მოდერნიზებული პროცესი, რომელსაც LBC ეწოდება. ამ პროცესში ენგბადის ქავლის გამა-

ცივებლად და დამკველად გამოიყენება თხევადი საწვავი. თავდაპირველად OBM პროცესი გამოიყენებოდა თომასის ხეხის ნაცვლად. შემდგომ შემუშავებულ იქნა K_2CO_3 პროცესი, რომლის დროსაც, ქანგბადის ქაელის დაცვის მიზნით, მიეწოდება ბუნებრივი აირი. ეს პროცესი გამოიყენება თუჯების გადასამუშავებლად, სადაც ფოსფორის შემცველობა 0,2%-ზე ნაკლებია. ამ პროცესში შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს 30%-მდე ჯარიმი. აზოტის შემცველობა ლითონში ისეთივეა, როგორც Al პროცესში. ფოლადის გამოსავალი 3%-ით იზრდება. მთელი პროცესის განმავლობაში დეფოსფორაცია თანაბრად მიმდინარეობს.

§XIV 9. კონვერტირებადი პროცესის ავტომატიზაცია და დნობის კონტროლი

ქანგბად-კონვერტირული პროცესის დროს დნობის კონტროლი დიდ სიროთულესთანაა დაკავშირებული, რაც ძირითადად გამოწვეულია თვით პროცესის სწრაფი მიმდინარეობით. ამის გამო სრულადაც არაა გამოსადეგი დნობის პროცესში ლითონის სინჯების ქიმიური ანალიზის მეთოდები. იგივე უნდა ითქვას ტემპერატურის კონტროლზეც, რომელიც შეუძლებელია ლითონში ჩაყენების თერმომეტრების გამოყენების გარეშე.

მრავალი ცდის შედეგად ლითონის ტემპერატურის კონტროლის არსებული მეთოდებიდან შედარებით პერსპექტიულად შეიძლება ჩაითვალოს ოპტიკური პირომეტრების გამოყენება.

ქანგბად-კონვერტირულ პროცესში ლითონში ნახშირბადის შეკველობის კონტროლის რამდენიმე მეთოდი არსებობს: ა) ჩირალდის გაზოსხივების ინტენსივობით, რომელიც დამოკიდებულია ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარეზე; ბ) კონვერტირებიდან გამოსული აირების ტემპერატურით; გ) გამოსულ აირებში CO და CO_2 -ის შემცველობის ანალიზით; დ) კონვერტირებად ხაურის ინტენსივობითა და სხვ. დნობის დამთავრების მომენტი შესაძლოა განსაზღვრულ იქნეს დნობის ოპერაციის დასაწყისიდან ქანგბადის ხარჯით, რომელიც ფიქსირდება ინტეგრატორების მეშვეობით. ეს უკანასკნელები დნობაზე ქანგბადის გარკვეული რაოდენობის გატარების შემდეგ იძლევა სიგნალს. ამასთან, ავტომატურად გამოირთვება ბეჭედი და წარჩინებას ქმენების მძლავრ აწევა.

ბოლო წლებში კონვერტირული პროცესების კონტროლისათვის დაიწყო ელექტრონული გამოთვლიანი მანქანების გამოყენება. ამ მიზნით, თბური და მატერიალური ბალანსის მიხედვით შემუშავებულ იქნა პროცესის მათემატიკური მოდელები. ელექტრულ გამოთვლელ მანქანებში წინასწარ შეიკეთა საწყისი მონაცემები: თუჯის შედგენილობაზე, ფლუსებსა და გამაცივებლებზე, თუჯის ტემპერატურაზე, ქანგბადის სისუფთავეზე, საბოლოო წილის ფუძიანობაზე, მზა ფოლადის შედგენილობასა და ტემპერატურაზე და სხვ. მიღებული ინფორმაციებისა და მათემატიკური მოდელის განტოლების საფუძველზე მანქანა იძლევა დნობის პროცესის პროგნოზს, ჩატვირთვის რაოდენობასა და დროს, ქანგბადის ხარჯს დნობაზე. დნობის დამთავრების მომენტში ითვლის და აწვდის ციხებში განქანგველების გარკვეულ რაოდენობასა და სხვ.

მრავალ თანამედროვე კონვერტირულ საამქროში ავტომატიზებულია რიგი დამხმარე ოპერაციები. სახელდობრ, ფხვიერი მასალების დოზირება და ჩატვირთვა, აირგამწმენდ სისტემებისა და ქვაბ-უტილიზატორების მუშაობის რეჟიმის რეგულირება.

ქანგბად-კონვერტერული პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. თანამედროვე ქანგბად-კონვერტერული საამქროების მუშაობის ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს შეადგენს:

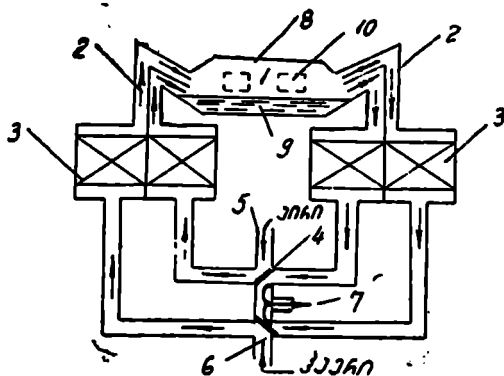
| | |
|---|---------|
| —სამართენ თუჯის გაქრევისას | |
| კონვერტერის ტევალობა, ტ | 100—350 |
| ხანგრძლივობა, წთ: | |
| გაქრევის | 15—24 |
| დნობის ციკლის | 30—50 |
| საამქროს წლიური მწარმოებლურობა, მლ. ტ. ზოდი: | |
| საპი 100 ტ-ანი კონვერტერი | 2,5—3,1 |
| საპი 250 ტ-ანი " | 4,7—5,0 |
| ვარგისის გამოსავალი, %/ო | 89—92 |
| ხარჯი, %/ო: | |
| კირი | 6—10 |
| ჯართი | 18—27 |
| ქანგბადის ხარჯი, მ ³ /ტ ფოლადი | 50—56 |
| კონვერტერის ამონაგზე ცეცხლგამკლე მასალე- | |
| ბის ხარჯი, კგ/ტ. ფოლადი | 2—4 |
| ამონაგრს მდგრადობა, დნობათა რიცხვი | 400—800 |
| ხარჯები გადამუშავებაზე მან/ტ | 5—8 |
| ფოსფორიანი თუჯების გაქრევისას | |
| კონვერტერის ტევალობა, ტ | 20—120 |
| ხანგრძლივობა, წთ: | |
| გაქრევის | 18—28 |
| დნობის ციკლი | 50—65 |
| ვარგისის გამოსაკალი, %/ო | 87—89 |
| ხარჯი, %/ო | |
| კირის | 10—16 |
| ჯართი | 20—35 |
| ქანგბადის ხარჯი, მ ³ /ტ ფოლადი | 60—63 |
| ამონაგის მდგრადობა, დნობათა რიცხვი | 120—450 |

XV თ ა ვ ი

ფოლადის წარმოება მარტენის ლუმელში

§ XV.1. მარტენის ლუმელის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი

მარტენის პროცესი გულისხმობს ლითონის ჯართისა და თუჯისაგან აღქმედ რეგენერატორულ ლუმელში ფოლადის წარმოებას, ე. ო. ფოლადის მიღებას მარტენის ლუმელში, სადაც მიმდინარეობს თხევად ლითონისა, წილასა და აირად ატმოსფეროს შორის მალალტემპერატურული რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები. ამჟამად ეს პროცესი ფართოდ გავრცელებული და სრულყოფილი მეთოდია. ვასულა და მიმდინარე ხელწლედეში საბჭოთა კავშირში ფოლადის მიღების თითქმის 2/3-ზე მეტი მარტენის წარმოებაზე მოდიოდა. ამჟამად კავშირის ქარხნებში მუშაობენ ისეთი დიდტონაჟიანი მარტენის ლუმელები, რომელთა ტევალობაც 900 ტონამდე აღწევს.



ნახ XV.1. მარტენის ღუმლის პრინციპული სქემა.

მარტენის წარმოების ფუძემდებლად ფრანგი მეტალურგი პიერ მარტენი ითვლება, რომელმაც 1865 წელს შემოგვთავაზა რეგენერატორულ აღქმედ ღუმლებში ფოლადის მიღების პრინციპულად ახალი ხერხი: ჯართისა და თუჯის შედნობით ფოლადის მიღება. მან გამოიყენა გერმანელი ინჟინრის ე. სიმენსის

იმ დროისათვის უკვე ცნობილი რეგენერატორული ღუმლის გამოგონება: რეგენერატორის პარაცეპით პროცესში მონაწილე ჰაერისა და აირის წინასწარი გახურება.

თანამედროვე მარტენის ღუმელი შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან შედგება (ნახ. XV.1.): ფოლადის საღნობი სამუშაო არე 1, დახრილი თაურები 2, რომლებიც პერიოდულად გვეკლინებიან სათბობის საწვავ სანთურებად, ნაწივი აირების გამავალ არხებად, ქველი 9, რომელზედაც უშუალოდ მიმდინარეობს ფოლადის დნობა, კამარა 8, რეგენერატორები 3, რომლებიც ახდენენ გამავალი ნაწივი პროდუქტების სითბოს უტილიზებასა და ღუმელში მიწოდებულ აირისა და ჰაერის წინასწარ გახურებას.

გარდა აღნიშნულისა, მარტენის ღუმელს აქვს: საწილურები, გადამრთველი მოწყობილობა—სარქველები 4 (როლითაც წარმოებს ღუმლის სისტემაში ჰაერისა და აირის მიმართულების პერიოდული შეცვლა). საკვამლე 7 და ალიბქეები, საიდანაც ნაწივი პროდუქტები ატმოსფეროში გაიტანება.

სამუშაო სივრცე წარმოადგენს კამერას, რომელიც შედგება ქველისა, წინა და უკანა კედლებისაგან. ამ უკანასკნელთ ეყრდნობა ე. წ. მთავარი კამარა. მარტენი და მარჯენი მხარეს განლაგებულია თაურები. ღუმლის ძირითად ნაწილს სამუშაო სივრცე წარმოადგენს, რომლის მოწყობილობასა, ზომებსა და კონფიგურაციაზე დიდად არის დამოკიდებული ღუმლის მწარმოებლურობა და მისი მუშაობის ხანგრძლივობა. სამუშაო მოცულობის იმ ნაწილს, რომელიც თხევად ფოლადსა და წიდას ეკავია, აბაზანა ეწოდება, ხოლო წიდას ზემოთ მყოფ სივრცეს—კამარას ქვეშა მოცულობა.

განიგვეთის კრილიში ქვედას დახრა ფოლადის გამოსაშვები ხერხისაგან, ჩვეულებრივ, 7° შეადგენს. თანამედროვე ღუმლების ფერდობების დახრა 45°-ია.

ღუმლის წინა კედელი დახრილია 16°-ით. წინა კედელში განლაგებულია ჩასატვირთი ფანჯრები 10. მათი რიცხვი მცირე ღუმლებისათვის 3-ს შეადგენს, ხოლო საშუალო და დიდტონიან ღუმლებისათვის 5-ს. ჩასატვირთი ფანჯრები აღჭურვილია სახურავებით, რომლებიც შიგნიდან აღგებულია ცეცხლგამძლე აგურებით. სახურავის გარსაცმის გატყევა გამდინარე წყლით წარმოებს.

უკანა კედლის დაბრა აადვილებს მის შეკეთებას, რაც ახანგრძლივებს დეკორაციას.

მარტენის ლუქის მთავარი კამარა მაგნეზიტოკრომიტი ან დინასის აგურებისაგან მზადდება. იგი ლითონის კონსტრუქციაზე ჩამოკიდებულია საკიდებით. აგურებს შორის მოთავსებულია 2 მმ-იანი სისქის ფურცლოვანი რკინის ფირფიტები, რომლებიც მიმაგრებულნი არიან საკიდებთან. სამუშაო სივრცის გვერდებზე განლაგებულია თაურების საშუალებით ლუმენს მიეწოდება ჰაერი და საწვავი. თაურების კონსტრუქციაზე დადა აირის დამოკიდებული ჩირალდნის ფორმა, ჰაერისა და საწვავის ქაელების არევის ხარისხი და ჩირალდნის რიგი თვისებები. ჩირალდანი კარგად უნდა ეფინებოდეს აბაჯანის მთელ სიგრძეს. თაურები მიწველურ წინააღმდეგ უნდა შეწყდეს სამუშაო სივრციდან გამავალ ნაწვე პროდუქტებს.

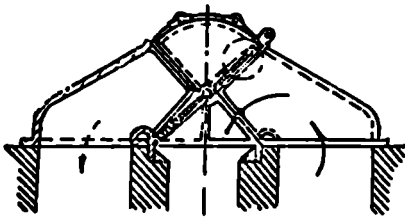
ნაწვე პროდუქტები, რომელთა ტემპერატურა $1650-1700^{\circ}\text{C}$ -ს აღწევს, მიემართება ვერტიკალურ აჩებში 5 და 6. ისინი შეიცავენ სხვადასხვა მყარ გამდნარ და აირად ნივთიერებების ნაწილაკებს, რომელთა დასაქვრადაც გამოიყენება განსაკუთრებული კაქერები—საწილურები, მათი განივკვეთის ფართობი და მოცულობა გაცილებით მეტია, ვიდრე ვერტიკალური არხებისა. ამის შედეგად გამავალი ნაწვე პროდუქტების მოძრაობის სიჩქარე საწილურებში შესუსტდა საგრძობლად ეცემა, რაც საშუალებას იძლევა საწილურების ძირზე შეუფერებელი ნაწილაკების დალექვისა. საწილურებში შესული ნაწვე პროდუქტების ტემპერატურა 1600°C აღწევს. შემდგომ, შედარებით გაწმენდილი ნაწვე პროდუქტები რეგენერატორებსა და საკამურებში მიემართება. რეგენერატორებში წვის პროდუქტების ტემპერატურა დაახლოებით $1500-1550^{\circ}\text{C}$ -მდე აღწევს, ხოლო ფიქური წყობის გავლის ბოლოს $500-700^{\circ}\text{C}$ -მდე ეცემა. როდესაც რეგენერატორის წყობის ტემპერატურა ხურების პროცესში მაქსიმუმს მიაღწევს, გაჩვეული დროის მონაკვეთში სპეციალური გადასართავი სარქვლებით წარმოებს აირისა და ჰაერის მიწოდების მიმართულების შეცვლა, რომლის შედეგადაც მუშაობას იწყებს მეორე რეგენერატორების წყვილი. რეგენერატორის მოცულობა ისეთი უნდა იყოს, რომ სარქვლების გადართვიდან გადართვამდე აირისა და ჰაერის ხურების ხარისხი მცირედ იცვლებოდეს. საწინააღმდეგო შემთხვევაში ლუმენი არათანაბრად მუშაობს და მისი მწარმოებლურობა საგრძობლად ეცემა სარქვლების გადართვებს შორის ხანგრძლივობა, ჩვეულებრივ, 5—15 წუთს არ აღემატება.

რეგენერატორის კედლებისა და კამარას წყობა დინასის აგურებითაა ამოგებული, ხოლო მისი ქვედა ნაწილი—შამოტის. სითბოს დანაკარგების შესამცირებლად კედლები გარედან იზოლირებულია შამოტის მსუბუქი ფორიანი თბოიზოლაციური აგურებით.

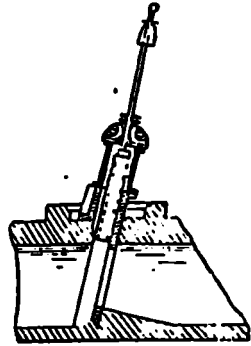
რეგენერატორებში ჰაერისა და აირის მიწოდება ქვემოდან სპეციალური არხებით წარმოებს. ისინი გადაიან სარეგულირებელ და გადასართველ სარქვლებს, რომლებითაც შესაბამისად ხდება ლუმენში მიწოდებული ჰაერისა და აირის რაოდენობის რეგულირება და მათი მოძრაობის მიმართულების შეცვლა. სარქვლების განხის და მასში სერელის სიდიდის რეგულირება სპეციალური დროსელური ან თევზა სარქვლებით წარმოებს; ხშირად მარეგულირებელი სარქვლები გადასართავ სარქვლების ერთობლივ სისტემას უერთდება.

გადამართელი სარქვლის უმარტივესი კონსტრუქცია სქემატურად ნაჩვენებია X V.2 ნახაზე. იგი წარმოადგენს ერთგვარ კოლოფს, რომლის კედლები

ბი მოიცავს სამ აბსს. მათ თავზე მოთავსებულია მარეგულირებელი სარქველები. გადამრთველი სარქველის ღერძზე დამაგრებულია ფოლადის ფარი, რომლის მობრუნებითაც ხდება ჰაერისა (ან აირის) და კვამლის მიმართ



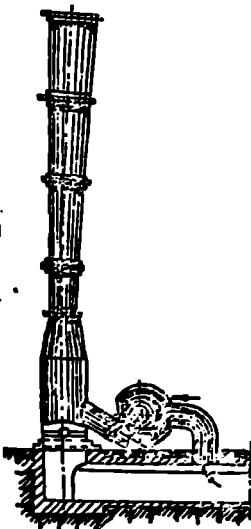
ნახ. XV.2 ფართიანი გადამრთველი სარქველის სქემა.



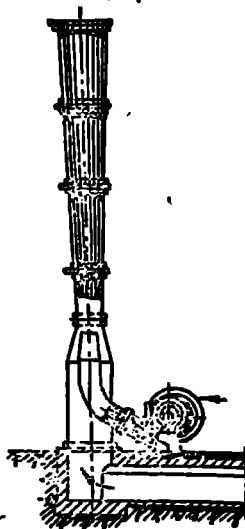
ნახ. XV.3. შიხარი (ფარსაკეტა).

თვლების ცვლილება. შუა არხი საკვამურს უერთდება. ასეთი გადამრთველი სარქველების კონსტრუქციის უარყოფით ნხარეს წარმოადგენს ცუდი პერფექტულობა, რაც საკვამურებში იწვევს ჰაერის შეწოვასა და გამავალი კვამლის მოძრაობის სიჩქარის ვარდნას.

თანამედროვე მარტენის ღუმლებში გადამრთველ ჩამკეტ მოწყობილობებზე და ძირითადად წყლით გამაცივებელი შიხარები—ფარსაკეტები გამოიყენება. ისინი ყოველ ცალკეულ ალიბქებში დახრილად არიან განლაგებულნი. ამგვარ შიხარები მონტაჟდება ხოლოდ ჰაერის მიწოდებულ არხებში, ხოლო აირმიწოდებულ არხებში გამოიყენება თეფში სარქველები (ნახ. XV.3).



ა



ბ

ნახ. XV.4. პირდაპირი (ა) და ირიბი (ბ) ქმუღების კვამლსაწოვი.

ღუმლის სამუშაო. სიერცილიანაწუვი პროდუქტების სრულყოფილად წოცილების მიზნით საკვამლე მილის მეშვეობით ქმნიან ზუნებრივ ან ხელოვნურ გაიშვითებას. ხელოვნური გაიშვითების შემთხვევაში იყენებენ პირდაპირი ან ირიბი ქმუღების კვამლსაწოვებს. XV.4 ნახაზზე მოყვანილია პირდაპირი (ა) და ირიბი (ბ) ქმუღების კვამლსაწოვების დაყენების სქემა. პირველ შემთხვევაში ცენტრიდანული ვენტილატორის შეწოვი მილსა და უშუალოდ უერთდება საკვამურ ალიბქეს, ხოლო გაიშვითების მილის საკვამლე მილის. რადგანაც გა-

მაველი კვამლის ტემპერატურა 200—250°C-ს უნდა აღემატებოდეს, ამიტომ ვენტილატორში მიყვანამდე მათ ცივი ჰაერის ან წყლის შერევით აცივებენ.

ორიბი ქმედების კვამლსაწოვების შემთხვევაში ვენტილატორის მეშვეობით საკვამლეში მიწოდებული ჰაერის ჰაელი საკვამლე მილში ქმნის გაიშვიათებას, როგორც აუცილებელია ღუმლის სამუშაო სურკიდან ნამწვი პროდუქტების მოსაცილებლად.

მარტენის ღუმლის საკვამლე შიგნიდან აგურებით ამოკებულ რკინის გარსაცმისაგან ან მთლიანად აგურისაგან იზადდება. ზაფხულზე ჰაერის სიმკვრივის შემცირების შედეგად, კვამლის წნევა მცირდება, ხოლო ზამთარში—შატულობს.

§ IV.2. მარტენის პროცესის ნედლი მასალები

მარტენის პროცესში ძირითადად გამოიყენება ლითონური და არალითონური კაზმი. ლითონურს მიეკუთვნება მყარი ან თხევადი თუჯი, ფოლადის ჯართი, ფეროშენადნობები (განჯანგველები და მალეგირებლები) და ლითონური დამანგველები. ანალითონურს მიეკუთვნება: ფლუსები, რკინისა და მანგანუმის მადნები, შედუღების წილა და სხვ.

თუჯი. ფოლადის გამოდნობისათვის მარტენის პროცესში შესაძლებელია გამოიყენოთ როგორც თხევადი, ასევე მყარი (შოთის სახით) თუჯი. ბრძმედის საამქროდან უშუალოდ მარტენის ღუმელში თხევადი თუჯის მიწოდება დიდ სიძნელებასა და მოუხერხებლობასთანაა დაკავშირებული. ასე, მაგალითად, ბრძმედიდან თუჯის გამოშვება ყოველთვის არ თანხდება მარტენის ღუმელში მისი ჩასხმის დროს. გარდა ამისა, სხვადასხვა დროს გამოშვებული თხევადი თუჯის ქიმიური შედგენილობა დიდ ზღვრებში იცვლება.

ყოველივე აღნიშნულის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება მიქსერი, საიდანაც მარტენის ღუმელში თხევადი თუჯის მიწოდება ნებისმიერ დროსაა შესაძლებელი. ამასთან, როგორც წინა თავებში იყო აღნიშნული, მასში წარმოებს სხვადასხვა დროს განოხვებული თუჯის ქიმიური შედგენილობის გაერთვაროვნება და ნაწილობრივი დესულფურაცია. თხევადი თუჯის გამოყენება საგრძნობლად ამცირებს ჩატვირთვისა და გადნობის პერიოდების ხანგრძლივობას. რაც მაღალია თხევადი თუჯის ტემპერატურა, მით უფრო სწრაფად წარმოებს ჯართის გადნობა.

ღუმელში ჯართის ჩატვირთვამდე საკაზმე ეზოში წარმოებს მისი დახარისხება და მომზადება, რაც აადვილებს მის ჩატვირთვას. მაგალითად, მსუბუქწონიანი ჯართი, როგორცაა მავთული, თხელი ფურცლები, ლითონის ბურბუშელა და სხვა, წინასწარ პაკეტების სახით იწნებება, ხოლო ჯართის მსხვილი ნაწილები მცირე ზომის ნაწილებად ნაჭროვნდება.

შავი ლითონის ჯართი ქიმიური შედგენილობის, დანიშნულების, ხარისხისა და ზომების მიხედვით იყოფა: ფოლადის, თუჯისა და ბრძმედის ჯართად. ჯართი შესაძლოა იყოს ლევირებული და არალევირებული. გარდა ამისა, რკინის ჯართი მისი ზედაპირის მდგომარეობის, სისუფთავისა და გაბარბელების მიხედვით სამჯგუფად იყოფა. ყველა ჯგუფისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მათში ფერადი ლითონებისა და მავნე მინარევების არარსებობა.

I ჯგუფის ჯართს მიეკუთვნება რკინის ნაკრები, რომელთა ზომებიც არ აღემატება 1200×500×500 მმ-ს. სისარგებლო მინარევების რაოდენობა კი 16. ს. აკომაშვილი

1.5°-ს ცალკეული ნაპრების მინიმალური წონა 1 კგ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

II ჯგუფის ჯართს ზიკუთვნება თხელი ფურცლოვანი რკინის, მეთუ-ლებისა და ბურბუშელის პაქეტები, 4 მმ-ზე მეტი სისქის ფურცლები და ზოდები, 3 მმ-ანი კედლის სისქის მქონე მილები და სხვ. თითოეული ნაპრების ზომა იგივე უნდა იყოს, რაც I კლასის ჯართისა, ხოლო წონა 0,5 კგ ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, ვაკუუციაინება 2%-ზე ნაკლები.

III კლასის ჯართი შედგება არაუმცირეს 2 მმ ლითონის ნაპრებისაგან. თითოეული ნაპრის წონა შესაძლებელია 0,5 კგ-ზე ნაკლები იყოს, ხოლო ვაკუუციაინება—3%-ზე მეტი.

ფოლადის ჯართი დნობის წინ წინასწარ თავისუფლდება ქუქუის, ნაგვის, მიწისა და ქვიშისაგან; სუფთავდება თუთიის, კალის ან ტყვიის დანაფარისაგან. კაზმის გადნობისას თუთია ადვილად ორთქლდება (დუღილის ტემპერატურა 931°C-ს შეადგენს); მისი ორთქლი და ქანგულული იწვევს ცეცხლგამძლე ამონაგის მასალის რღვევას. კალა მარტენის პროცესის პირობებში არ ორთქლდება (დუღილის ტემპერატურა 2218°C-ს შეადგენს) და პრაქტიკულად არ იქანგება. ამიტომ იგი ფოლადში გადადის და მასში იწვევს წითელმეტეზობას. ტყვია ადვილმდნალი (327°C), მაღალი სიმკვრივის ლითონია. იგი გადნობის შემდეგ ლითონში იძირება, თავს იყრის ქველზე და, შეაღწევს რა ქვედის ფენის მიკროფორებსა და ბზარებში, იწვევს მის რღვევასა და ქვევიდან ფოლადის გაუონვას.

დამქანგველები. მარტენის პროცესში დამქანგველებად ძირითადად რკინის (ზოგჯერ მანგანუმის) მადნები, რკინის ხენჯი და ქანგბადი გამოიყენება.

რკინის მადნებიდან ძირითადად გამოიყენება ადვილად აღსადგენი მადნები, რომლებიც შეიცავენ წვრილი ნაწილაკების მინიმალურ რაოდენობას, ასეთებია ჰემატიტური მადნები, რომლებიც ძირითადად რკინის ქანგისაგან (Fe₂O₃) შედგებიან.

რკინას მადნები უნდა ხასიათდებოდეს საკმაო სიმკვრივეთა და ნაპროვობით. ნაპრების ზომები 4"—150 მმ ს ფარგლებში უნდა იყოს.

რკინის ხენჯი ძირითადად რკინის მაგნიტური ქანგისაგან (Fe₃O₄) შედგება. რკინის ქანგთან შედარებით შეიცავს ქანგბადის მცირე რაოდენობას და შედარებით ძნელად აღსადგენია.

შედულების წოდები საგლანავ საამქროს მახურებელ ღუმლებში წარმოიქმნება. მათი შედგენილობა რკინის ხენჯს უახლოვდება. ისინი დაახლოებით 3%-ზე კაჟიწას შეიცავენ. რკინის შემცველობა 60%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, ხოლო ქანგბადისა—20%-ზე ნაკლები.

თუ ლითონის კაზში მანგანუმის რაოდენობა არასაკმაოა ჩატვირთვის დროს წეს სწორად მანგანუმის მადანს უმატებენ. დნობის პროცესში მადნიდან მანგანუმს ნაწილობრივ აღდგება და ლითონშიც გადადის. ძირითადად მანგანუმის მადნები შეიცავენ 25% მდე კაჟიწას. ამიტომ მარტენის ფუძე პროცესში მისი დამატება იწვევს კაზში კირკვის ხარჯის ზრდას, რის შედეგადაც იზრდება დნობის ხანგრძლივობა.

ბოლო რამდენიმე ათეული წლების განმავლობაში მარტენის პროცესში დამქანგველად აირადი ქანგბადი გამოიყენება, რაც ფოლადის დნობის პროცესს აჩქარებს, თხევადი ლითონის აბაზანაში მისი შეყვანა იწვევს ნახშირბადის ინტენსიურ ამოწვასა და ნახშირჟანგის ბუშტულების გამოყოფის შედეგად

გად ლითონის კარგ აკრევას. ამასთან, ეგზოთერმული რეაქციების შედეგად გამოიყოფა დიდი რაოდენობით სითბო, რაც ფოლადის აბაზანის გახურებას აჩქარებს.

ფლუსები. ფლუსების დანიშნულებას შეადგენს თუჯის მინარეგების, დაქანგვის პროდუქტებისა და არალითონური ნივთიერებების შეწიღვა, აგრეთვე გარკვეული ქიმიური შედგენილობისა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მქონე წილის წარმოქმნა. ძირითადად გამოიყენება: კირქვა, შეტალურ-გიული კირი, ბოქსიტი. მლხობი შპატი, შამოტის ნამტვრევი და კვარცის სილა (შეავე მარტენის პროცესში).

კირქვა დნობის პროცესში დისოცირებს და კალციუმის ქანგის სახით უერთდება კაემიწას, ფოსფორისა და რკინის ქანგეულებს და წარმოქმნის შათთან რიგ ქიმიურ ნაერთებს.

შეტალურგიული კირი ღუმელში მყარ კაზთან ერთად ჩაიტვირთება გარდა ამისა, იგი პოლირების პროცესში ახალი წილის შესაქმნელად გამოიყენება. მასში აქროლადების შემცველობა 5—10%-ის ფარგლებში უნდა იყოს.

ბოქსიტი ძირითადად გამოიყენება წილის გასათხვეადებლად და მისი წარმოქმნის გასაიოლებლად. იგი ძირითადად შეიცავს დაახლოებით: 10—20% SiO_2 , 37—50% Al_2O_3 , 12—25% Fe_2O_3 და 20—22% ტენს.

მლხობა შპატის დანიშნულება იგივეა, რაც ბოქსიტის მხოლოდ იმ სხვაობით, რომ მას აწვდიან ღუმელში პროცესის მიმდინარეობის დნობის პერიოდში. მასში წერილმანის რაოდენობა 25% არ უნდა აღემატებოდეს.

შამოტის ნამტვრევი გამოიყენება განსაკუთრებით სუფთა დუღილის პერიოდში ბოქსიტის ნაცვლად, ფუძე წილების წარმოსაქმნელად.

კვარცის სილა შეავე მარტენის პროცესისათვის ფლუსს წარმოადგენს. მას აწვდიან ღუმელში დნობის პროცესის დროს.

ფეროშენადნობები. ისინი გამოიყენებიან თხევადი ლითონის განსაქანგავად ან სალეგირებლად. ამის შესახებ საუბარი წინა თავის ბოლო პარაგრაფებში გვექონდა.

§XV.3. მარტენის ღუმლის სათბობები

თანამედროვე მარტენის ღუმელში ძირითადად გამოიყენება თხევადი ან აირადი სათბობები.

მარტენის ღუმლებისათვის სათბობები იყოფა: ა) ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით: ბუნებრივი და ხელონური; შესაძლოა იყოს თხევადი (მათი) და აირადი (ბრძქედის, გენერატორის, კოქსის, ბუნებრივი აირი) ბ) წვის სითბოს მიხედვით: დაბალკალორიული ბრძქედის აირი (წვის სითბო 3,78—4,2 კჯ/მ³, ანუ 900—1000 კკალ/მ³), გენერატორის (აირი 4,83—6,30 კჯ/მ³, ანუ 1150—1500 კკალ/მ³) და მაღალკალორიული მათუთი (39,9—42 კჯ/კგ, ანუ 9500—10000 კკალ/კგ), კოქსის აირი (16,8—18,0 კჯ/მ³, ანუ 4000—4300 კკალ/მ³).

მარტენის ღუმლისათვის სათბობის შერჩევა წარმოებს ცალკეული შემთხვევისათვის ტექნიკურ-ეკონომიკური მოსაზრებების მიხედვით.

მარტენის ღუმელში გაბრწყინებულ სათბობებს წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები:

ა) ღუმლის სამუშაო არეში წვის შედეგად კაშკაშა, კარგად მანათობელი ალის ჩირაღდნის წარმოქმნა, რომლის ტემპერატურა 1900°C-ზე დაბლა არ უნდა იყოს;

ბ) მასში გოკირდის მინიმალური შემცველობა;

გ) დაბალნაკიანობა;

დ) თხევადი სათბობის შემთხვევაში დაბალი სიბლანტე.

დიდ მქტალურგიულ ქარხნებში, სადაც არსებობს ბრძმედისა და კოქსის საამქროები, მარტენის ლუმელებში სათბობად კოქსისა და ბრძმედის აირების ნარევებს იყენებენ. ისეთ ქარხნებში, რომელთაც არ გააჩნიათ ბრძმედის საამქრო, სათბობად შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს გენერატორისა და კოქსის აირების ნარევი ან თხევადი სათბობი.

სათბობის ძირითად მახასიათებელს მისი თბოუნარი წარმოადგენს, ანუ სითბოს ის რაოდენობა (კალორიებში), რომელიც გამოიყოფა აღებული სათბობის ერთეული მოცულობის ან წონის წვის დროს.

თხევადი სათბობები ხასიათდება რიგი ძვირფასი თვისებებით. მათ აქვთ მაღალი თბოუნარი და ტრანსპორტირების მხრივ ისინი ძალზე მოხერხებულნი არიან. მარტენის პროცესში ხშირად გამოიყენება მათუთი.

მათუთი წარმოადგენს სათბობის ერთ-ერთ კარგ სახეს. მათუთის ზოგიერთი მარკა შეიცავს გოკირდს, რაც უკარგის ზდის მას ფოლადსაღნობ წარმოებაში. მისი შედგენილობა შემდეგია: 85% C, 11% H₂, 0,4 % N₂, 0,6% O₂ და $\leq 0,75\% S$. წვის პროცესში წარმოიქმნება ალის მოკაშკაშე ჩირაღდანი. მათუთის გამოყენების შემთხვევაში იოლდება ფოლადის დნობის პროცესი. წვის წინ წარმოებს მათუთის 65—90°C-მდე გახურება. იგი ღუქელში 10 ატმოსფეროს წნევით მიეწოდება. გაფრქვევა 5—8 ატმოსფეროს წნევის მქონე შეკუმშული ქაერის ან გადახურებული 12—14 ატმოსფეროს მქონე ორთქლის მეშვეობით წარმოებს.

მიუხედავად თავისი მაღალი თბოუნარისა, მარტენის ლუმელში ფისის გამოყენებამ, როგორ სათბობმა, ფართო გავრცელება ვერ პოვა. ფისი შეიცავს 89% C, 5,3% H₂, 1,3% N₂, 1,7% O₂, 0,5% S და 2,2% H₂O. ამჟამად მას იყენებენ, ძირითადად, კოქსისა და ბრძმედის აირების ნარევის ჩირაღდანის ინტენსიფიკაციისათვის.

აირადი სათბობები თხევად და მყარ სათბობებთან შედარებით ხასიათდება რიგი უპირატესობებით. იოლია მათი დიდ მანძილზე აირსადენებით ტრანსპორტირება.

აირადი სათბობების დადებით მხარედ ითვლება მათი (განსაკუთრებით ნარევების) კალორიულობის, ხარჯის, ჩირაღდნის სიგრძისა და ტემპერატურის რეგულირების შესაძლებლობა.

გენერატორის აირი წარმოადგენს ქვანახშირის, მურა ნახშირის, ანტრაციტის, ტორფის, ხის ან სხვა სათბობის წვის პროდუქტს. მათი მიღება სპეციალურ აირგენერატორებში წარმოებს თანამედროვე დიდ მეტალურგიულ ქარხნებში აირგენერატორებისათვის გამოიყენება ქვანახშირი. გენერატორიდან გამოსული აირის ტემპერატურა იცვლება 500—600°C-ის ფარგლებში, რომელიც მარტენის ლუმელამდე მიღწევისას ~50—100°C შეადგენს.

გენერატორის აირი შედგება 28% CO, 3% CH₄, 12 % H₂, 3 % CO₂, 0,2% O₂ და 53,8% N₂-საგან.

აირადი სათბობები ვრცლად იყო განხილული II ნაწილში.

§ 4 მარტენის პროცესის ნაიხასიათება

მარტენის პროცესში შესაძლებელია ისეთი კაზმის გადაშეაყება, რომელშიაც თუჯისა და ფოლადის ჯარათის შემცველობა იცვლება განუსაზღ-

რელ ზღვრებში: 100% თუჯიდან 100% ჯაბითამდე. ამის მიხედვით გადამუშავების ტექნოლოგია ცალკეულ შემთხვევაში ხასიათდება თავისი განსაკუთრებული ხასიათით. ასე, მაგალითად, კანში თუჯის მაღალი შემცველობის შემთხვევაში გამდნარი ფოლადი შეიცავს ყველა იმ ელემენტის მაღალ კონცენტრაციას, რომლებიც თუჯში შედიოდნენ, და პირიქით. ქარხანაში ბრძენდის არსებობის მიხედვით თუჯის მიწოდება მარტენის ლუმელში შესაძლოა თხევადი ან მყარი სახით წარმოებდეს.

კაზმის შედგენილობის მიხედვით მარტენის პროცესი სამ ნაირსახეობად იყოფა: ჯართული, ჯართ-მადნური და მადნური. თანამედროვე პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვა ჯართულმა და ჯართ-მადნურმა პროცესებმა, რომლებსაც უფრო ვრცლად განვიხილავთ.

ლუმლის აბაზანის ამონაგის მიხედვით (მაგნეზიტი—ფუქე და დინასი—მეფე) მარტენის ლუმელში ფოლადის გამოღობის პროცესი იყოფა ფუქე და მეფე პროცესებად.

ამებამდ თითქმის მთელი ფოლადის 50% ფუქე მარტენის ლუმლებში ღებდა. ეს უკანასკნელი იმით აინსება, რომ ფუქე მარტენის პროცესის შემთხვევაში შესაძლოა გადამუშავებულ რქნეს გოგირდისა და ფოსფორის შედარებით მაღალი შემცველობის კაზმი, ვიდრე მათ მზა ფოლადი შეიცავს.

მეფე მარტენის პროცესი უმთავრესად გამოიყენება მანქანათმშენებელ ქარხნებში ფოლადის ფასონური ჩამოსხმისა და საასუბისმეგებლო ფოლადების გამოსადგობად.

ა) ფუქე მარტენის პროცესი

ჯართული პროცესი ეწოდება მარტენის ლუმელში ისეთი კაზმის გადამუშავების პროცესს, რომლის ძირითად შემადგენელ ნაწილს ფოლადის ჯართი (55—75%) და მყარი თუჯი (25—45%) შეადგენს. კაზმის არალითონურ ნაწილს შეადგენს: კირი, კირქვი, ბოქსიტი და რკინის მადანი (აუცილებლობის შემთხვევაში). გაღობის პერიოდში ნახშირბადის ამოწვის ხარისხი დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე: თუჯში სილიციუმისა და მანგანუმის შემცველობაზე, ჯართის დაყვანულბაზე, კაზმის ჩატვირთვის ხანგრძლივობაზე, ლუმლის თბური სიმძლავრის ცვლილებასა და სხვ. ამ ფაქტორების ზეგავლენით კაზმის გაღობის მოქმენტში ნახშირბადის ამოწვის ხარისხი სხვადასხვაა. ამიტომ არის კაზმის გაღობის ე. წ. „მაგარი“ და „ზბილი“ შემთხვევა (ე. ი. ნახშირბადის მაღალი ან დაბალი შემცველობით). ნახშირბადის მაღალი შემცველობის შემთხვევაში ხდება რკინის მადნის დამატება, რასაც მიყვავართ დაყვანის პერიოდის ხანგრძლივობის ზრდისა და ლუმლის მწარმოებლურობის შემცირებისაკენ. ნახშირბადის ძალზე დაბალი შემცველობის შემთხვევაში დნობა, ჩვეულებრივ, აბაზანის დანახშირბადიანებით მიმდინარეობს. ამისათვის აბაზანაში დამატებით შეაქვთ თუჯის გარკვეული რაოდენობა. ეს თავისთავად იწვევს თუჯის დამატებით ხატჯსა და ფოლადის თვითღირებულების ზრდას.

ლითონის დანახშირბადიანების მიზნით აბაზანაში გრაფიტის, კოქსის ანტრაციტისა და სხვ. შეტანა ცუდ მოვლენებთანაა დაკავშირებული; სახელდობრ: ღნობის პერიოდში წილის ძლიერი აქაფება, ლითონის გაბურების სიჩქარის შენელება და ლუმლის მწარმოებლურობის ეარდნა (თხევადი ლითონის მიერ ჩამოთვლილ ნივთიერებათა დაბალი შემთვისებლობის გამო).

თანამედროვე პრაქტიკაში ზოგიერთ ქარხნებში დანერგილია თხევადი ლითონის დანახირბადანების შედარებით ეფექტური და იაფი ხერხი, რომელიც მდგომარეობს დაწნეხილი ჰაერის ქაელის მეშვეობით უშუალოდ ლითონში გრაფიტის ფხვნილის შეტანაში. ამ შემთხვევაში ნახირბადის შემცველობა ლითონის აბაზანაში 3—5 წუთის განმავლობაში 0,20-დან 0,35-მდე იზრდება. თხევადი ლითონის მიერ გრაფიტის შემთვისებლობა 50—60%/-ს აღწევს.

აბაზანიდან ნახირბადისა და სხვა მინარეების ინტენსიურ ამოწვისათვის ბოლო წლებში გამოიყენება თხევადი ლითონის ეანგზადით გაქრევა.

მარტენის წარმოების დნობის პროცესი შედგება შემდეგი ძირითადი თანამომდევრობითი პერიოდებისაგან: 1) ლუმლის გაწყობა (შეკეთება), 2) კაზმის ჩატვირთვა, 3) დნობა, 4) დაყვანა და 5) გამოშვება. დაყვანა თავისთავად სამი ნაწილისაგან შედგება: მადნური დუღილი, სუფთა დუღილი და გაფანგვა. თხევად თუჯზე მუშაობის შემთხვევაში ამ ოპერაციებს ემატება, აგრეთვე, თუჯის ჩასხმის პერიოდი, რომელიც კაზმის ჩატვირთვის ოპერაციას მოსდევს. ლუმლის გაწყობა (შეკეთება) წარმოადგენს პირველ ოპერაციას, რომელიც დიდ გავლენას ახდენს მთელი დნობის ხანგრძლივობასა და ლუმლის მდგრადობაზე. ლუმლის გაცივების თავიდან ასაცილებლად მის გაწყობას იწყებენ ლითონის გამომშვებისთანავე, როდესაც ლითონისა და წილის დონე დაბლა იწევს. შესაკეთებელი მასალები, ჯერ კიდევ მაღალ ტემპერატურამდე გახურებულ უკანა დახრილ კედელსა და ფერდობებს კარგად ადუღდნება. ამ პერიოდში ლუმლის თითქმის ოცივე თბურ რეჟიმს ინარჩუნებენ, რაც დაყვანის პერიოდში იყო, ე. ი. მაქსიმალური თბური დატვირთვის 70—80%/-ს. ლუმლის გაწყობისათვის გამოიყენება გამომწვარი, დაფხვნილი და გაცირილი დოლომიტის ან მაგნეზიტის ფხვნილი.

მთავრად იყენებენ, ჩვეულებრივ, ნედლ დამსხვრეულ დოლომიტს. ლუმლის გაწყობის პერიოდი შეიცავს ლითონის გამოშვებიდან ჩატვირთვის დაწყებამდე დროის მონაკვეთს. ლუმლის ტევადობისა, ქვედისა და ფერდობების მდგომარეობის მიხედვით ლუმლის შეკეთების ხანგრძლივობა 15—25 წუთს შეადგენს.

ლუმლის გაწყობა სპეციალური გამწვობი მანქანით წარმოებს, რომელიც ლენტური ტრანსპორტიორისა და მბრუნავი დოლისაგან შედგება. ბუნკერებიდან დოლომიტის ან მაგნეზიტის ნაწილაკები ეცემა სწრაფად მბრუნავ დოლს, რომელზედაც უსასრულო ლენტის შემოხვეული. ლენტის მიერ წატაცებული ნაწილაკები დიდ სისწრაფით გაიტყორცნება ლუმლის სივრცეში. არსებობს გამწვობი მანქანების კიდევ რამდენიმე კონსტრუქცია. ასე, მაგალითად, როტორული ტიპის, პულვერიზაციის ტიპისა და სხვა.

ლითონის მთლიანად გამომშვებისთანავე საპირობისამებრ ქვედს შეაკეთებენ. ქვედის დაზიანების შემთხვევაში (დრამულების წარმოქმნა) წარმოებს მათი ამოწმენდა ლითონისა და წილის ნარჩენებისაგან შეკუმშული ჰაერის ან ეანგზადის კვლის მეშვეობით.

კაზმის ჩატვირთვა. მარტენის ლუმელში კაზმს ჩატვირთავენ გამოსაშვები ხერხის დახურვამდე. ამავე დროს კაზმის ჩატვირთვისა და გახურების პროცესში აწარმოებენ წინა კედლების მოწყობას. ჩატვირთვის პერიოდად მიიღება დრო, რომელიც ეხარება ლუმელში მთელი მყარი კაზმის ჩატვირთვაზე.

კაზმი მყარი თუჯის გამოყენების შემთხვევაში სათბობად ძირითადად

მაზეთი გამოიყენება, რომელსაც სხვა სათბობებთან შედარებით მაღალი კალორიულობა აქვს. კაზმში მყარი თუჯის რაოდენობა იმდენი უნდა იყოს, რომ მისი გაღნობის შემდეგ ნახშირბადის შემცველობა თხევად ლითონში $0,4 - 0,8\%$ -ით მეტი უნდა იყოს, ვიდრე განეანგვის წინ ფოლადში.

ჯართ-პროცესში კირქვის რაოდენობა განისაზღვრება თუჯში სილიციუმის შემცველობითა და ჯართის სისუფთავით.

უფრო ეკონომიურია კირქვის მაგივრად კირის გამოყენება, რომლის დროსაც დნობის ხანგრძლივობა საგრძნობლად მცირდება;

ჯართ-პროცესის შემთხვევაში კარგად გაწყობილ და შეკეთებულ ქველზე უპირველესად იტვირთება მთელი ლითონური კაზმის $10 - 20\%$ -მდე რკინის მსუბუქი ჯართი, შემდგომ მთელი ლითონური კაზმის $6 - 7\%$ -მდე წინასწარ გახურებული კირქვა ან კირი. ასეთი თანამიმდევრობა საშუალებას იძლევა თავიდან ავიცილოთ ქველზე კირქვის დღეღება და ქველს სისქის ზრდა. ჩატვირთულ კირს ან კირქვას $10 - 15$ წუთის განმავლობაში ახურებენ. გახურების შემდეგ სპეციალურ სამარჯვებით (რომლებიც დამაგრებულია ჩამტვირთავი მანქანის ბორთუმზე) ლუმელში კირქვას გაშლიან. ეს უკანასკნელი აჩქარებს წილის წარმოქმნასა და მისი გახურების პროცესს.

არეულ და გახურებულ კირქვაზე იტვირთება ლითონური კაზმის $10 - 15\%$ გადასამუშავებელი მყარი თუჯი, შემდგომ ლითონის ბურბუშელა, რომელზედაც იტვირთება მძიმე ჯართი. ამასთან მძიმე ჯართის ძირითადი ნაწილი თაურებთან და ჯკანა კედელთან ახლოს ჩაიტვირთება. კაზმის ლითონური ნაწილის კარგად გახურების შემდეგ ჩატვირთავენ მყარი თუჯის დარჩენილ ნაწილს.

ჯართ-პროცესზე მომუშავე ლუმლების დნობის პერიოდი მიმდინარეობს პირობითად კაზმის ჩატვირთვის დამთავრებიდან მის მთლიანად გაღნობამდე. გაღნობის პერიოდში ლუმელი მთელი თბური დატვირთვით მუშაობს, რადგანაც ამ პერიოდის ხანგრძლივობაზე დიდადაა დამოკიდებული მთელი დნობის ხანგრძლივობა.

ჯართ-პროცესში კაზმის დნობა ყველაზე ადვილმდნად შედგენილობის დნობით იწყება, ისეთებისა, როგორცაა თუჯი და თუჯის ნაკეთობების ჯართი. თუჯის დნობის შედეგად ლუმლის ქველზე წარმოიქმნება თხევადი ლითონის აბაზანა, რომლის დონეც განუწყვეტლივ იზრდება კაზმის ლითონური ნაწილის მთლიანად დაფარვამდე. ლითონური ჯართის გაუმდნარი ნაწილი მთლიანად გაღნობამდე თხევადი ლითონის აბაზანაში იყვინთება. თხევადი თუჯის ხარჯზე ჯართის მთლიანად გაღნობას წინ უსწრებს მისი ზედაპირის დანახშირბადიანება და დნობის ტემპერატურის შემცირება. დნობასთან ერთად იფანგება მინარევები. განსაკუთრებით იფანგება სილიციუმი, მანგანუმი, ფოსფორი და რკინა, რომლის ეანკეულებმაც იოლად იხსნება ჩატვირთული კირი და წარმოიქმნება წილა. ამგვარად, დნობის შედეგად უკვე წარმოიქმნება ორი ფაზა: ლითონი და წილა.

ჯართ-პროცესში ჩატვირთვისა და დნობის პერიოდები მთელი დნობის ხანგრძლივობის $65 - 75\%$ -ს შეადგენს.

ცალკეულ შემთხვევაში კაზმის დნობის დაჩქარების მიზნით ეანგბადს იყენებენ. ამ შემთხვევაში მიმდინარეობს როგორც მინარევების, ასევე რკინის ინტენსიური დაუანგვა და ეგზოთერმული რეაქციების მიერ გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე აბაზანის ტემპერატურის მკვეთრი აწევი. ამ ზეთოდის გამო-

ყენებით მთელი დნობის პროცესის ხანგრძლივობა 20—30%-ით მცირდება. მიუხედავად ამისა, ამ მეთოდმა ვერ პოვა ფართო გავრცელება, რადგანაც გამოიყოფა დიდი რაოდენობით წყვი კვამლი, რომელიც აქტიურად რეაგირებს ლუმის ცეცხლგამქლე მასალებზე. ეს მოვლენა ნაწილობრივ მცირდება განვადის მაკიერად ჰაერის კვლის მიწოდებით.

გაღნობის პერიოდის დამთავრებას მოსდევს და ყვანის პერიოდი, რომელიც წარმოქმნილი პირველადი წილის შოკილებით იწყება. მოხდის წილასთან მიჰყვება ფოსფორის ~80—90% და გოგირდის ~15—20%, აგრეთვე სილაციუმის ოქსიდის დიდი რაოდენობა. წილის შოკილებამდე ლუმელში იტვირთება რკინის მადნის მცირე რაოდენობა (1 ტ-ზე დაახლოებით 8 კგ მადანი). ეს უკანასკნელი ზრდაში წილაში რკინის ეანგეულების რაოდენობას და უზრუნველყოფს ლითონიდან წილაში ფოსფორის სრულყოფილად გადაყვანას; გარდა ამისა, ლუმის ჩასატვირთ ფანჯრების ზღერბლებიდან მის თვითნებურად გადმოღვრას. გადმოღვრილი წილა ლუმის ქვეშ საწიდე ციხეში გროვდება და ავსების შემდეგ გაიტანება. ჩვეულებრივ, ცილდება ლუმელში არსებული მთელი წილის 50%.

წილის მოხდის შემდეგ კირისა და ბოქსიტის შეტანით ქმნიან ახალ მალაფუჭიანობის წილას. წილაში არ უნდა იყოს 40% ზე ნაკლები CaO და 20%-ზე მეტი SiO_2 . ახალი წილის ფუძიანობა 1,5—2,0 უნდა აღწევდეს. წილაში, რაც მეტია რკინის ქვეანგი და კალციუმის ეანგი, მით უკეთ მიმდინარეობს ლითონის დეფოსფორაცია. აბაზანაში რკინის მადნის შეტანა იწვევს აბაზანის ინტენსიურ დუღილს, ლითონისა და წილის კარგ არევასა და მათი შეხების ზედაპირის საგრძობ ზრდას. რკინის მადნის შეტანით გამოწვეულ აბაზანის დუღილს მადნური დუღილი ეწოდება. ამ დროს ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარე 0,4—0,7% C/სა შეადგენს. მადნის მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ იწყება სუფთა დუღილის პერიოდი, რომელიც 30—50 წუთს გრძელდება.

დუღილის პერიოდი ენერგიულად ზომინარეობს თანაბარი ბუშტულების გამოყოფით. ამ პერიოდში თხევადი ფოლადი თავისუფლდება მასში გახსნილი აირების და არალითონურ ჩანარებისაგან და გამოსაშვებ ტემპერატურამდე ხურდება.

სუფთა დუღილის პერიოდში აბაზანაში რკინის მადნისა და ბოქსიტის შეტანა პრაქტიკულად სრულიად წყდება. სუფთა დუღილის პერიოდის დასაწყისში წილის ფუძიანობა უნდა შეადგენდეს: მდულარე მარკის ფოლადები. სათვის 1,8—3,2; მშვიდისათვის—2,0—3,3; ხოლო სუფთა დუღილის პერიოდის ბოლოს, შესაბამისად, 2,0—3,5 და 2,2—3,5.

განეანგვის წინ—სუფთა დუღილის პერიოდის ბოლოს წილაში რკინის ეანგეულების ჯამი FeO -ზე გადაანგარიშებული უნდა შეადგენდეს: ნახშირბად-მცირე მარკებისათვის $\leq 14\%$ და საშუალო და ნახშირბადუნევი მარკებისათვის $< 12\%$. მდულარე მარკის ფოლადებისათვის წილაში FeO -ს შემცველობა უნდა იყოს; ფოლადები 2; 3 და 4 სათვის არაუმცირეს 8%-სა და ნახშირბად-მცირესათვის— $\geq 12\%$.

როდესაც თხევადი ფოლადის აბაზანაში ნახშირბადის შემცველობა აღწევს მზა ფოლადში მისი შემცველობის ქვედა ზღვარს, აწარმოებენ ლუმელში ლითონის წინასწარ განეანგვას (მშვიდი ფოლადებისათვის) წინასწარი და საბოლოო განეანგვის ოპერაციებს შორის საკმაო დროის ხანგრძლივობის გამო არალითონური ჩანარები (განეანგვის პროდუქტები) ასწრებს ლითონის აბა-

ზანიდან ამოტივტივებას და წიდაში გადასვლას. ამასთან საგრძნობლად მცირდება მაღლგირებული ელემენტების ამოწვა. წინასწარ განეხილვისათვის ძირითადად იხმარება ფეროშინგანში, ბრძმედის ფეროსილიციუმში და სილიკომანგანუმში. ფეროშინგანში ლითონის აბაზანას წინასწარ განეხილვავენ გამოშვებამდე 5 წუთით ადრე. ბრძმედის ფეროსილიციუმით განეხილვის შემთხვევაში საერთო დნობის ხანგრძლივობა მიახლოებით 15—20 წუთით იზრდება; ამასთან იზრდება განეხილვის ღირებულებაც, რის შედეგადაც ბრძმედის ფეროსილიციუმის გასუფთავება აქამდე აღარ წარმოებს.

თხევადი ფოლადის განეხილვის შემდეგ იწყება ჰამოშეკების პერიოდი. გამოშვებისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ლითონისა და წილის როგორც გამოდინების ხასიათს, ისე გამოშვების ხანგრძლივობას. ლითონისა და წილის გამოშვება მიმდინარეობს თანამიმდევრულად. ჰაერის ეხებადის მიერ თხევადი ლითონის ქაველის დაქანგვის თავიდან აცილების მიზნით, მისი ჩამოსმა უნდა მიმდინარეობდეს რაც შეიძლება დროის მცირე მონაკვეთში.

თხევად ფოლადს საბოლოოდ განეხილვავენ ციციხეში, რომ თავიდან იქნეს აცილებული ისეთი ძლიერი და ძვირფასი ფეროშინგანობების ელემენტების ამოწვა, როგორცაა სილიციუმი, ვანადიუმი, ტიტანი, ალუმინი და სხვ. თუ ციციხეში ერთდროულად აწვდიან ორ განმეხილველს (მაგალითად, 45% FeSi და SiAln), მაშინ წინასწარ ციციხეში ტვირთავენ 45%-იან FeSi (როგორც შედარებით მცირე ენერგიულ განმეხილველს), ხოლო შემდეგ სილიკომანგანუმს. ანალოგიურად აწვდიან ფეროსილიციუმსა და ალუმინს, ფეროსილიციუმსა და ფეროვანადიუმს და ა. შ. ამით მიიღწევა ლითონის კარგი განეხილვა და ძვირფასი ელემენტების ფოლადში შენარჩუნება.

ჯართ-მადნურ პროცესთან შედარებით ჯართ-პროცესი რამდენიმე დაბალი მაჩვენებლებით ხასიათდება. ასე, მაგალითად, თუ ჯართ-მადნურ პროცესში 1 ტ ფოლადზე 90-დან 150 კგ-ი სათბობი იხარჯება, ჯართ-პროცესის შემთხვევაში (იგივე ტევადობის ლუმლისათვის) იხარჯვის 170-დან 250 კგ სათბობი. ამასთან ჯართ-მადნურ პროცესით მიიღება 92—96% ვარჯის ლითონი, ხოლო ჯართ-პროცესით — 89—92%. გარდა აღნიშნულისა, ჯართ-პროცესის შემთხვევაში ლუმლის მწარმოებლურობა შედარებით ნაკლებია, ვიდრე ჯართ-მადნურის დროს. მიუხედავად აღნიშნული დაბალი მაჩვენებლებისა და, აგრეთვე, ჩვენს სახელმწიფოში ჯართის უკმარისობისა, ჯართ-პროცესის გამოყენების სფერო მაინც ფართო რჩება. ეს გამოწვეულია მსხვილი მანქანათმშენებლობის ქარხნების მშენებლობით, რომელთა მოთხოვნილებაც ლევირებულ ფოლადის ფასონურ სხმულებსა, მსხვილ ზოდებსა და ნაშაბდებზე საკმაოდ დიდია. გარდა ამისა, ეს ფაქტი დაკავშირებულია ამ ქარხნების მშენებლობასთან ისეთ რაიონებში, რომლებიც საკმარის მანძილზე არიან დაშორებული მეტალურგიულ ქარხნებიდან და ესპეკირებათ არაძლიერი მეტალურგიული ბაზა.

ჯართ-მადნური პროცესი თანამედროვე პრაქტიკაში დიდი გავრცელება პირველად ჯართ-მადნურმა პროცესმა, რომელიც ხასიათდება კაზმში თხევადი თუჯის (50—75%) მკარი დამეხილველებს, კირქვისა და კირის გაზრდილი შემცველობით.

ჯართ-პროცესთან შედარებით, სადაც თუჯის მცირე ხარჯის გამო ლითონში შინარეების დაქანგვისათვის აუცილებელი ეხებადის რაოდენობა მიეწოდება აბაზანას ლუმლის ატმოსფეროდან, ჯართ-მადნური პროცესის შემთხვევაში ლუმლის ატმოსფეროს ეხილვით უნარი ამ მიზნისათვის სრულიად

არაა საკმარისი. ამიტომ ლითონის თხევად აბაზანაში შეაქვთ ჟანგბადის წყარო, რომელსაც ძირითადად მყარი დამჟანგველები (რკინის მადანი, ხენჯი, რკინა-მადნური აგლომერატი ან ბრიკეტები) წარმოადგენს.

ჯართ-მადნურ პროცესში ჩატვირთულ კაზში რკინის მადნის რაოდენობა ჩანატივით ლითონური ნაწილის 20%-მდე შეადგენს. ამიტომაც ამ პროცესს ჯართ-მადნური ეწოდება.

ლუმლის მწარმოებლურობაზე დიდ გავლენას ახდენს ჩასახმელი თუჯის ტემპერატურა (თუჯის ჩასხვის ტემპერატურა $\geq 1350^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს). 100°C -ით ტემპერატურის აწევა იწვევს ღნობის პერიოდის საგრძნობლად შემცირებას. თხევადი თუჯისათვის მალალი ტემპერატურის შენარჩუნებისა, მისი შენახვისა და ქიმიური შედგენილობის გაერთვავაროვნობის მიზნით, გამოიყენება სპეციალური აგრეგატები, ე. წ. მიქსერები.

მარტენის ჯართ-მადნურ პროცესში გამოყენებულ თხევად თუჯებს ქიმიური შედგენილობის თვალსაზრისით რიგი მოთხოვნები წაყენებათ. ასე, მაგალითად, სილიციუმის მალალი შემცველობა იწვევს რკინის მადნის ხარჯსა და ღნობის ხანგრძლივობის ზრდას. გარდა ამისა, წიდაში SiO_2 ის რაოდენობის ზრდა იწვევს კირქვის ხარჯისა და წილის რაოდენობის საკმაოდ გაზრდას; ამცირებს ვარგისი ფოლადის გამოსავალს. მიუხედავად ამისა, თუჯში სილიციუმის ძალზე მცირე შემცველობა მოწმობს ბრძმედული პროცესის ე. წ. ცივ სვლას, რასაც თან სდევს მასში გოგირდის მალალი შემცველობა. ჯართ-მადნური პროცესისათვის თხევად თუჯში სილიციუმის შემცველობა 0,5—0,8% ფარგლებში უნდა იყოს.

თუჯში მანგანუმის მალალი შემცველობა სასურველია. მიქსერსა და მარტენის პროცესში იგი ნაწილობრივ ხელს უწყობს თუჯის განგოგირდებას. მიუხედავად ამისა, პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ ჯართ-მადნური პროცესის შემთხვევაში 80—92% მანგანუმისა გადადის პირველად წიდაში, რომელთანაც ერთად მოხდის შედეგად მისი 60—70% მიყვება წიდას. ამიტომ თხევად თუჯში მანგანუმის შემცველობა 0,15—0,8% უნდა იყოს.

განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა თუჯში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობას, რადგანაც მათი მოცილებისათვის მარტენის ლუმელში საჭიროა წილის რაოდენობის მკვეთრი ზრდა, მისი მოხდა და ახალი წილის შექმნა. ამიტომ მათი შემცველობა თხევად თუჯში უნდა იყოს რაც შეიძლება მინიმალური და არ უნდა აღემატებოდეს 0,05% S (IV კატეგორია) და 0,15% P (V კლასი).

განეიხილეთ მოკლედ ფუძე ჯართ-მადნური პროცესის ღნობის ტექნოლოგიური თავისებურებანი.

ზოგიერთ ქარხნებში ფუძე ჯართ-მადნური პროცესით მარტენის ლუმელში ფოლადების წარმოებისას ღნობის დასაწყისად ფოლადის გამოშვების დასასრული ითვლება, სხვა ქარხნებში კი — ფოლადის გამოშვების დასაწყისი (ლუმლის გაწყობის დროის ჩათვლით).

ღნობა შემდეგი პერიოდებისა და ქვეპერიოდებისაგან შედგება: 1. ლუმლის გაწყობა (შეკეთება); 2) მყარი კაზმის ჩატვირთვა (ლითონური და არალითონური შედგენილობის ჩატვირთვა); 3) კაზმის გახურება (რომელიც შეიცავს, აგრეთვე, ფანჯრის ზღურძლების მომზადებას — ამალდებას თუჯის ჩასახმელად); 4) თუჯის ჩასხმა; 5) გაღნობა; 6) დაყვანა: ა) მადნური დუღილი (პოლირება) და ბ) სუფთა (უმადნო) დუღილი; 7) წინასწარი განეანგვა და 8) გამოშვება.

განვიხილოთ თითოეული პერიოდები ცალ-ცალკე.

1) ღუმლის გაწყობა (შეკეთება) იგივე დანიშნულება და ტექნოლოგიაა, რაც ჯართ-პროცესის შემთხვევაში. ამ პერიოდის შემცირების თვალსაზრისით, ღუმლის შეკეთებას იწყებენ უკვე სუფთა დუღილის პერიოდის ბოლოს (ძირითადად წილის ზედაპირს ზემოთ მოთავსებულ უკანა კედლებისა და ფერლოების დაზიანებულ ადგილების) და გამოშვების პერიოდში წილის ფენის ქვემოთ მდებარე უბნების მთელი პერიოდის ხანგრძლივობა 10—15 წუთს შეადგენს. კაზმის პირველი ფენის ჩატვირთვის შემდეგ წმინდნი ფოლადის გამოსაშვებ ხვრელს და ხურავენ. ღუმელში არსებული მაღალი ტემპერატურა ხელს უწყობს გასაწყობი მასალების კარგად შეღბობას.

2) კაზმის ჩატვირთვა. თანამედროვე მაღალწარმოებულურ მარტენის საამქროებში ღუმელში კაზმს ჩატვირთავენ იატაკზე მოსიარულე სპეციალური მანქანებით. პათი ტვირთაშვობა 10—15 ტ-ს აღწევს. კაზმს ღუმლის წინა ჩასატვირთი ფანჯრების გასწვრივ არსებული რკინიგზის შემადგენლობით აწვდიან. ყოველი შემადგენლობა 7—12 ურდისაგან შედგება, რომელზედაც მოთავსებულია კაზმით დატვირთული 4—4 რთვი. თანამედროვე თითოეული მულდის მოცულობა 2,2 მ³-ს შეადგენს.

ჯართ-მადნური პროცესის ტექნოლოგია ითვალისწინებს თხევადი ლითონის დეფოსფორაციასა და დესულფურაციას, რაც მოითხოვს ღუმელში თხევადი თუჯის ჩასხნამდე წინასწარ რკინის მადნისა და კირქვის ჩატვირთვას და გახურებას.

დეფოსფორაციისათვის აქტიური წილებს მისაღებად და ღუმლის ქველის დაზიანების თავიდან აცილებისათვის დიდ როლს თამაშობს მყარი კაზმის ჩატვირთვის თანამიმდევრობა. ასე, მაგალითად, საბჭოთა კავშირის მოწინავე ქარხნებში ძირითადად მიღებულია კაზმის რაციონალური ჩატვირთვის შემდეგი სქემა: თავდაპირველად რკინის მადანი იტვირთება, შემდგომ კირქვა. ეს თანამიმდევრობა რამდენიმეჯერ მეორდება და კირქვის ბოლო ფენაზე მთელი რკინის მადნის დარჩენილი ნაწილი იტვირთება. ამის შემდგომ ჩატვირთავენ კაზმის ლითონურ ნაწილს შემდეგი მიმდევრობით: მსუბუქი ჯართი—საშუალო ჯართი—ძიმე ჯართი. ეს უკანასკნელი იტვირთება ღუმლის უკანა კედლისაკენ, სადაც მაღალი ტემპერატურაა და ჯართის გახურებაც ინტენსიურად მიმდინარეობს.

ღნობის ხანგრძლივობაზე დიდ გავლენას ახდენს დრო ღუმელში მყარი კაზმის ჩატვირთვიდან თხევადი თუჯის ჩასხნამდე.

3) კაზმის გახურება. კაზმის ბოლო ულუფის ჩატვირთვიდან იწყება კაზმის გახურების პერიოდი. ჯართის კარგი გახურების მომასწავლებელია ღუმელში მისი მთლიანი ჩაჯდომა და ზედაპირის გაღბობა. ჯართის ზედმისწევნით გადახურება არასასურველია, რადგანაც გამდნარი ლითონი ქვემოთ ჩამოიღვენთება და დაფარავს ქვემოთ მდებარე კაზმის ფენას ე. წ. კონგლომერატის წარმოქმნით. ეს უკანასკნელი ანელებს შემდგომში მადანზე თხევადი თუჯის ზემოქმედებას, ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარესა და აბაზანის ინტენსიურ არევას. ყოველივე ეს ზრდის გაღნობის პერიოდის ხანგრძლივობას. დიდტონაჟიანი ღუმლებისათვის, ჩვეულებრივ, კაზმის გახურების ხანგრძლივობა საშუალოდ 0,5—1,5 საათს შეადგენს. გახურების პერიოდში აწარმოებენ შემდეგ ოპერაციებს: ნედლი დოლომიტით ან წვრილი კირქვით ცრუ ზღურბლების დაყრას, თუჯის ჩასახხმელი ღარის დადგმასა და მოსახლელი წილის-

თვის ღუმლის სამუშაო აივნის ქვემოთ, წინა შუა ფანჯრის ქვეშ წილის ციხვის დადგმას.

4) თუჯის ჩასხმა. თუჯის ჩასხმის მომენტში ღუმელში ჩატვირთული ჯართის ტემპერატურა 1300—1400°C უნდა აღწევდეს. თუჯის ჩასხმის დროს ლითონის აბაზანაში მიმდინარეობს რიგი პროცესები, როგორცაა: მყარ კაზმთან ურთიერთქმედება, მათი შეხების ფართობის ზრდა და აბაზანაში ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის სიჩქარის ზრდა, ჯართის გახსნა და თბოგადაცემის პროცესები.

თუჯის ჩასხმისთანავე ენერგიულად წარმოიქმნება მეტად აქტიური ე. წ. პირველადი წილა, რომელშიც გახსნილია ფოსფორის დიდი რაოდენობა. ამიტომ აუცილებელია მისი რაც შეიძლება სწრაფი მოხდა. გარდა ამისა, წილის ფენის სისქის შემცირებაც საშუალებას იძლევა ლითონური აბაზანა სწრაფად გახურდეს. გაღობის პერიოდში აუცილებელია წილის კონტროლი (ფუძია-ნობა, სიბლანტე, ქიმიური შედგენილობა).

წარმოქმნილი ბლანტი წილის შემთხვევაში ბოქსიტის ან მლხობი შპატის დამატებით აახვეადებენ მას. მაგალითისათვის მოსახდელი წილის შედგენილობა მიახლოებით შემდეგია: 20—25 % SiO₂, 3—5 % Al₂O₃, 25—35 % FeO, 3—5 % Fe₂O₃, 12—20 % CaO, 5—9 % MgO, 15—35 % MnO და 2—4 % P₂O₅.

წილის მოხდისა და აბაზანის გახურების შემდეგ წარმოიქმნება მალალ ფუძიანი წილა. ამის შემდეგ იწყება გაღობის პერიოდი.

5) გაღობის პერიოდი წარმოადგენს ფოლადის გაღობის ყველაზე ხანგრძლივ პროცესს. ამ პერიოდში მიმდინარეობს შემდეგი ძირითადი პროცესები:

ა) უხვნახშირბადოვან ლითონში ფოლადის ჯართის გახსნა-გაღობა; ბ) კირქვის დაშლა; გ) თხევად წილაში რკინის ეანგეულესისა და ფუჭი ქანების გახსნა; დ) ღუმლის ატმოსფეროთი და მყარ დამაჯანგველებით ლითონური კაზმის ელემენტების დაქანგვა; ე) ნახშირბადის დაქანგვისა და კირქვის დაშლის შედეგად გამოყოფილი CO და CO₂ ის ბუშტულების შეშეობით აბაზანის ამოშადრევენება; ეს უკანასკნელი ენერგიულად მიმდინარეობს მყარი კაზმის ნაჩრუნებთან, სადაც აირის გამოყოფის შედარებით ხელსაყრელი პირობებია; 3) ლითონური კაზმის მინარეების დაქანგვით წილის რაოდენობის განუწყვეტელი ზრდა; მასში მყარი CaO-სა და ქველის MgO-ს ნაწილაკების გახსნა და სხვ.

გაღობის პერიოდში ენოთერმული პროცესებისათვის სითბოს დიდი რაოდენობა იხარჯება, რითაც აიხსნება ღობის პერიოდის დიდი ხანგრძლივობა: იგი შეადგენს ფოლადის ღობის მთელი დროის 30—40%/ს. ამ პერიოდში ღუმლის თბური დატვირთვა 10—20%/ით დაბალია ჩატვირთვისა და გახურების პერიოდზე. ეს უკანასკნელი ძირითადად აბაზანიდან ნახშირბადის ინტენსიური დაქანგვითა და წილის საგრძნობი აქაფებითაა გამოწვეული.

გაღობის პერიოდის დამთავრება შეიძლება აბაზანიდან ლითონის ამოშადრევენების შეწყვეტით. ამ დროისათვის ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა 0,3—0,5%/ით მეტრ უნდა იყოს, ვიდრე დაყვანის პერიოდის ბოლოს. გაღობის პერიოდის ბოლოს ლითონის აბაზანის ტემპერატურა 1520—1550°C-ს უნდა აღწევდეს.

გაღობის პერიოდის ბოლოს წილის შედგენილობა მიახლოებით შემ-

დეგია: 40—45% CaO; 6—8% MnO; 8—10% FeO; 1,5—3,0% Fe₂O₃; 18—25% SiO₂; 4—7% Al₂O₃; 0,05—0,12% S; 8—12% MgO; 1—2% P₂O₅; CaO : (SiO₂ + P₂O₅) = 1,6 ÷ 2,0.

გადნობის პერიოდის დამთავრების შემდეგ არის ყველაზე საპასუხის-მგებლო დაყვანის პერიოდი.

6) დაყვანის პერიოდი. დაყვანისა და განჯანგვის რეჟიმები არსებითად გვლენას ახდენს მზა ფოლადის ხარისხზე ამ პერიოდის დაწყების წინ ლითონი შეიცავს ნახშირბადის, ფოსფორისა და გოგირდის რამდენადღე კარბ რაოდენობას, ხოლო აბაზანის ტემპერატურა განჯანგვის პერიოდის დასაწყისისაზე 60—100°C-ით დაბალია. როგორც აღვნიშნეთ, დაყვანის პერიოდი ორქვეპერიოდებად იყოფა: პოლირების (მადნური დუღილი) და სუფთა (უმადნო) დუღილის

ა) პოლირება. ამ პერიოდში ნახშირბადის დაჯანგვის სიჩქარე მაღალია. ჩვეულებრივ, პოლირების დასაწყისში აბაზანაში რკინის მადნის გარკვეულ რაოდენობას ტვირთავენ. თუ პერიოდის დასაწყისში ფოსფორისა და გოგირდის შემცველობა დაბალია და წილს ფუძიანობა 2,2—2,5 ზღვრებში იმყოფება, მაშინ შესაძლოა პროცესი წილის მოუხდელად და ახლის შეუქმნელად წარიმართოს. ამ შემთხვევაში წარიმართება მხოლოდ ნახშირბადის დაჯანგვის პროცესი.

თუ პერიოდის დასაწყისში ფოსფორისა და გოგირდის შემცველობა ლითონში მეტი აღმოჩნდება, ვიდრე მზა ფოლადში უნდა იყოს, მაშინ პოლირების პერიოდში აუცილებელია წილის შეცვლა. ამ შემთხვევაში რკინის მადნის ძირითადი მასის ჩატვირთვის შემდეგ ლუმლის შუა ფანჯრიდან აწარმოებენ წილის მოხდასა და კიარის, ბოქსიტის ან მლზობი შპატის დამატებით ახალი წილის წარმოქმნას, რომლის ფუძიანობა 2,5-ზე მეტია.

წილაში FeO-ს შემცველობისა და წილის ფუძიანობის ზრდა უზრუნველყოფს 0,01%-მდე ფოსფორის მოცილებას. პოლირების პერიოდში ლითონის დესულფურაციის ხარისხი დაბალია. აბაზანაში მადნისა და ქანებადის მიწოდების ინტენსიურობის მიხედვით ნახშირბადის დაჯანგვის სიჩქარე დიდ მნიშვნელობებს აღწევს და ~0,7% C/სთ-ს შეადგენს.

როდესაც აბაზანაში ნახშირბადის შემცველობა სასურველ კონცენტრაციას მიაღწევს, მასში რკინის მადნისა და სხვა დამეჯანგველების მიწოდება სრულიად წყდება და იწყება დაყვანის პერიოდის მეორე ქვეპერიოდი—აბაზანის სუფთა დუღილი.

ბ) აბაზანის სუფთა დუღილი. ამ ქვეპერიოდის მთავარ დანიშნულებას შეადგენს—განჯანგვის წინ ლითონის აბაზანის იმ ტემპერატურამდე გახურება, რომლის დროსაც განჯანგვის გამო ტემპერატურის ვარდნა არ გამოიწვევს ლითონის ჩამოსხმის ნორმალური პირობების გაუარესებას. ამ პერიოდის ხანგრძლივობა 40 წუთიდან 2,5 საათამდე გრძელდება. ამ პერიოდში აბაზანის ენერგიული დუღილი იწვევს მის კარგ არევის, ტემპერატურის გათანაბრებას, არალითონური ჩანართებისა და გახსნილი აირების სრულყოფილ მოცილებას

უმადნო დუღილის პერიოდში დაჯანგული ნახშირბადის რაოდენობისა და თვით პერიოდის ხანგრძლივობის ზრდა არაა მიზანშეწონილი, რადგანაც ამ დროს მიმდინარეობს ნახშირბადის დაჯანგვის პროცესის საგრძნობი შენელება და თხევად ლითონში აირების ხსნალობა.

სუფთა დუღილის პერიოდში ლითონის მინარევების დაცანგვისათვის ჟანგბადის წყაროს ლუმლის ატმოსფერო წარმოადგენს. ნაწილობრივ აბაზანაში ჟანგბადის გადაცემა წიდაში არსებული FeO-ს საშუალებით ხორციელდება. ამ პერიოდში ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარე საშუალოდ $\sim 0,3\%$ C/სთ შეადგენს.

აბაზანაში ფოსფორისა და მანგანუმის კონცენტრაციები სუფთა დუღილის პირველ ნახევარში პრაქტიკულად არ იცვლება, ხოლო მეორე ნახევარში ტემპერატურა FeO-ს დაჟანგვის პროცესის წონასწორობის მუდმივასა და აქტიურობის კოეფიციენტის f_{FeO} -ს შემცირების გამო რამდენაღმე იზრდება.

მიუხედავად ამისა, თუ პოლირების პერიოდში საკმაოდ სრულყოფილად იქნება მოხდილი წიდა და აბაზანაში დარჩენილი ფოსფორის ჯამური რაოდენობა $0,06\%$ -ს არ აღემატება, მაშინ სუფთა დუღილის ბოლოს ფოსფორის აღდგენა შეუძინეველია.

მცირენახშირბადიანი ფოლადის გამოღობისას სუფთა დუღილის ბოლოს წიდაში FeO-ს კონცენტრაციის ზრდა ყველა შემთხვევაში იწვევს ლითონში ფოსფორისა და მანგანუმის კონცენტრაციების შემცირებას.

ლითონიდან გოგირდის მოცილება მიმდინარეობს სუფთა დუღილის მთელ პერიოდში. ეს აიხსნება წიდის ფუქიანობის განუწყვეტელი ზრდითა და წიდაში FeO-ს შემცირებით, რაც მთავარია წიდის გაერთვებაროვნობით. დეფოსფორაციის პროცესის თერმოდინამიკა და კინეტიკა ვრცლად განვიხილეთ წინა თავში, ამიტომ აქ მის განხილვას არ შევუდგებით.

ბ) მუავე მარტენის პროცესი

ფუქე პროცესისაგან მუავე მარტენის პროცესი განსხვავდება ამონაგით რომელიც მზადდება მუავე თვისებების მქონე ცეცხლგამძლე მასალებით—ღინასის აკურიითა და მდინარის სუფთა კვარცის სილით ან კვარციტებით. ქვედის ამოსაგებად კვარცის სილის ან კვარციტების შელხობის ტემპერატურის დაბლა დასაწევად მუავე მარტენის პროცესის წიდას ხმარობენ. ამგვარად, მაღალ ტემპერატურაზე გახურებით აწარმოებენ ქვედის ე. წ. დადუღებას. კვარცის ქიმიური შედგენილობა მიახლოებით შემდეგია: $97,5\%$ SiO₂, $0,22\%$ Fe₂O₃, $1,24\%$ Al₂O₃, $0,8\%$ CaO, $0,14\%$ MgO, $0,42\%$ გარეშე მინარევები. მდინარის სუფთა კვარცის სილაში SiO₂-ის შემცველობა $95-96\%$ -ზე დაბლა არ უნდა იყოს.

ლუმლის ქვედისა და რეგენერატორების კარგად გახურების შემდეგ ლუმელში ყრთან მუავე მარტენის პროცესის წიდას, რომელიც დნება და ამონაგის წყობებს ეღენთავს. შეუთვისებელ წიდას უკან კედელში მოთავსებული გამოსაშვები ხერელის მეშვეობით აცილებენ. შემდეგ ქვედზე თანაბრად აფენენ ცალკეულ ფენებს, რომელიც ცეცხლგამძლე მასისაგან შედგება. ამ მასის შედგენილობა ცალკეული ფენებისათვის სხვადასხვაა. თვითოეული ფენის დაფენის შემდეგ $3-3,5$ საათის განმავლობაში აწარმოებენ მის დადუღებას. ცეცხლგამძლე მასის შედგენილობა სხვადასხვა ფენებისათვის მოცემულია XV.1 ცხრილში.

ენების რიცხვი 24-მდე აღწევს. ყოველ 10—12 დნობის შემდეგ სასურველია ქვედის მუშა ფენა ახალი დადუღებით განვაახლოთ. ამისათვის ქვედზე წინასწარ ტვირთავენ ზენჯსა და კირს, რომლებიც ქვედის ზედა ფენებთან

ქვედა დახაფულბელო ცალკეული ფენების მახას შედგენილობა

| ფენებს № | შეკვერლობა, % | | |
|----------|---------------|------|------|
| | კვარცი | სილა | წილა |
| 1 და 2 | 50 | 50 | — |
| 8-11 | 45 | 45 | 10 |
| 14-20 | 25 | 60 | 10 |
| 21 | — | 98.5 | 6.5 |
| 22-24 | — | 100 | — |

წარმოქმნიან შედარებით ადვილმდნად წილას. წილის მოცილებების შემდეგ თანაბრად ჩატვირთავენ მდინარის სილას.

ეკონომიკური თვალსაზრისით, მკავე მარტენის პროცესით ძირითადად აღნობენ მაღალხარისხოვან ფოლალებს. ნედლი მასალები აუცილებლად

უნდა იყოს მკავე და სხვა გარეშე მინარეებისაგან—განსაკუთრებით ფოსფორისაგან გასუფთავებული. ამ უკანასკნელას არსებობა იწვევს წილაში არამდგრადი ნაერთის (FeO)₃·P₂O₅-ის წარმოქმნას, რომლიდანაც შესაძლებელია ნახშირბადით, სილიციუმით ან მანგანუმით ფოსფორის აღდგენა და ლითონში გადასვლა. კაზში შეუძლებელია გოგირდის ისეთი კონცენტრაციის არსებობა, რომელიც ნა ლითონში დაშვებულის ზღვარზე მეტი იქნება. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ გოგირდის მოცილება და წილაში გადასვლა (CaS-ის სახით) შესაძლებელია მხოლოდ ფუძე მარტენის პროცესში. გოგირდი ლითონში შესაძლებელია იყოს FeS ან MnS-ის სახით. მათი ხსნალობა მკავე წილებში არასაკმარისია, რათა მიღწეულ იქნეს ლითონსა და წილას შორის გოგირდის განაწილების სასურველი კოეფიციენტი. გოგირდი შესაძლოა გადავიდეს ლითონში ლუმლის ატმოსფეროდან, სადაც იგი H₂S ან SO₂-ის სახითაა. იგი შთაინთქმება ჯართის დნობის პერიოდში წარმოქმნილი ლითონის ხენჯის მიერ.

როგორც ცნობილია, წარმოებაში მკავე მინარეების წყაროს თუჯი წარმოადგენს. საბჭოთა კავშირში მკავე მარტენის პროცესისათვის თავდაპირველად გამოიყენებოდა ხის ნახშირზე გამოდნარი ურალის თუჯი. ამ თუჯის წარმოება მეტად ძვირია და მას მხოლოდ და მხოლოდ საპასუხისმგებლო მაღალხარისხოვანი ფოლალების გამოსაღობად იყენებდნენ. ამჟამად მარტენის მკავე პროცესისათვის ძირითადად კოქსზე გამოდნობილ თუჯს იყენებენ. გოგირდის კონცენტრაციის შეეცირების მიზნით, ასეთი თუჯის შედგენილობაში აუცილებელია მანგანუმის მაღალი კონცენტრაცია.

ფუძე პროცესთან განსხვავებით, მკავე პროცესის დროს მყარი კაზმის შედგენილობაში მათლუსებელი მასალები არ შეაქვთ. ამის შედეგად გამდნარი ლითონის ზედაპირი თავდაპირველად არ არის მთლიანად წილით დაფარული, გაღნობის შემდეგ ლითონის ზედაპირის წილით დაფარვისათვის ლუმელში შეაქვთ ნაბრუნი წილა ან სილა.

პრაქტიკაში მკავე მარტენის პროცესის ორი სახეობა გვხვდება: ა) „პასიური“, ანუ სილიციუმალმდგენელი, ბ) „აქტიური“, ანუ სილიციუმის შეზღუდული აღდგენით.

პასიური პროცესის შემთხვევაში სილიციუმს აღადგენენ მზა ფოლადისათვის დაშვებულ ზღვარამდე. კაზში მანგანუმის საკმაო კონცენტრაციის არსებობის შემთხვევაში სილიციუმის აღდგენის პარალელურად მიმდინარეობს

მანგანუმის აღდგენა. ამ შემთხვევაში პროცესს სილიციუმ-მანგანუმ-ალმდგენელი ეწოდება.

სილიციუმის აღდგენაზე დიდ გავლენას ახდენს წილის თხელდენადობა, რომელიც თავისთავად დამოკიდებულია მასში SiO_2 -ის კონცენტრაციაზე: 60 %-ზე მეტი SiO_2 -ის არსებობა იწვევს წილის მაღალ სიბლანტეს, მისი აქტივობის დაცემასა და რეაქციის უნარის შემცირებას. ასეთი წილების მეშვეობით უანგბადის გადაცემა თხევადი ლითონისადმი ძალზე მცირეა. მეავე პროცესის ბოლოს წილა გაჯერებულია SiO_2 -ით ($\leq 60\%$). ამასთან, SiO_2 -ით გაჯერების ხარისხზე დიდ გავლენას ახდენს წილაში FeO და MnO -ს შემცველობა.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, წილაში SiO_2 -ის რაოდენობის ზრდა იწვევს ლითონში სილიციუმის კონცენტრაციის ზრდას (ცხრ. XV.2). წილის ეანგვიით უნარს არეგულირებენ რკინის მადნით.

ცხრილი XV.2

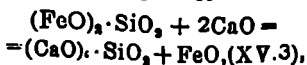
Si-ის აღდგენის პროცესზე წილაში SiO_2 -ის შემცველობის გავლენა

| წილის შედგენილობა, % | | | ფოლადის შედგენილობა, % | |
|----------------------|-------------------------|----------------|------------------------|------|
| FeO | Fe_2O_3 | SiO_2 | C | Si |
| 20 | — | 58 | 0,22 | 0,28 |
| 19 | 5 | 56 | 0,36 | 0,14 |
| 22 | 4 | 54 | 0,29 | 0,10 |
| 21 | — | 54 | 0,29 | 0,03 |
| 28 | 1,6 | 52 | 0,28 | 0,06 |

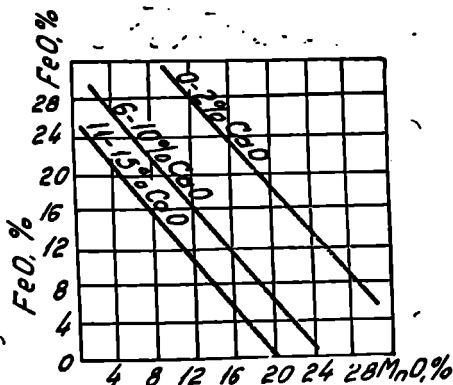
სილიციუმის აღდგენის ინტენსივობა იგრძნობა დუღილის პერიოდში, როდესაც აბაზანის ტემპერატურა მაღალია და ნახშირბადის აქტიურობა მაქსიმუმს აღწევს.

აქტიური ვარიანტის შემთხვევაში სილიციუმის აღდგენა დაშვებულია დაღვნილ ზღვრებამდე (0,10—0,12 %). აღდგენის რეაქციის შეზღუდვის მიზნით, აბაზანას მიეწოდება გარკვეული რაოდენობის რკინის მადანი ან ხენჯი,

ე. ი. იზრდება წილის ეანგვიითი უნარი. იგივე როლს თამაშობს კირქვის მიწოდებაც, რომელიც იერთებს SiO_2 -ს ქიმიურად მდგრად ნაერთის სახით. ამის შედეგად წილაში მცირდება თავისუფალი SiO_2 -ის კონცენტრაცია და შიშვინარეობს რეაქცია სილიკატიდან FeO -ს აღდგენისაკენ



რომლის დროსაც წილის ეანგვიითი უნარი საგრძნობ-

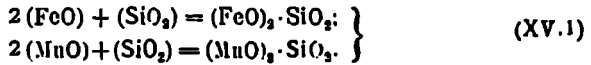


ნახ XV.5. მეავე წილაში FeO და MnO -ს შემცველობის დამოკიდებულება CaO -ზე.

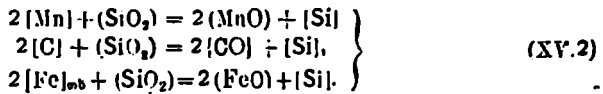
ლად იზრდება. ამასთან წილა ლარიალება რკინით და მანგანუმით. წილა ში MnO -ს ზრდა იწვევს მასში FeO -ს შემცირებას. ყოველივე ეს კარგად გადმო-
 იცემა XV.5-ე ნახაზზე მოყვანილი გრაფიკის საშუალებით.

ამგვარად, აქტიური პროცესის წილა პასიური პროცესის წილისაგან
 განსხვავდება მასში FeO და MnO -ს დაბალი შემცველობით.

მეავე პროცესის დროს წილაში გადადის ქვედის ამონაგის გარკვეული
 რაოდენობა. დრობის პროცესში წარმოქმნილი ფუქე ენგეულები— FeO და
 MnO რეაგირობს ამონაგის SiO_2 -თან



ამის შედეგად წარმოიქმნება შედარებით ადვილმდნადი სილიკატები
 როგორც აღნიშნეთ, სილიციუმის აღდგენა შესაძლოა მიმდინარეობდეს ნახ-
 შირბალითა და მანგანუმით

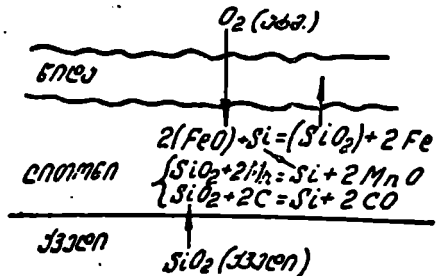


გარდა ამისა, ღუმლის სამუშაო სივრცეში არსებული დამეანგველი ატ-
 მოსფეროს ზემოქმედების შედეგად აბაზანას განუწყვეტლივ მიეწოდება ეანგ-
 ბადი. ამის შედეგად, ეანგბადი გაივლის რა წილის ფენას, წილა-ლითონის
 გამყოფ ზედაპირზე, ზემოთმოყვანილ რეაქციების პარალელურად, იწვევს
 ლითონის აბაზანიდან ელემენტების დაეანგვას. მაგალითად, სილიციუმის,
 ნახშირბადის, მანგანუმის და სხვ.

მეავე მარტენის პროცესში მიმდინარეობს ორი ურთიერთსაწინააღმდე-
 გო პროცესი: ა) სილიციუმის დაეანგვა წილაში არსებული რკინის ზეეანგით
 და ბ) წილიდან და ქვედიდან სილიციუმის აღდგენა. ამგვარად, სილიციუმის
 შემცველობა აბაზანაში განისაზღვრება ამ ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო
 რეაქციების მიმდინარეობის სიჩქარეების ფარდობით (ნახ. XV.6). როგორც
 ჩანს, ქვედიდან სილიციუმის აღდგენის სიჩქარე პრაქტიკულად მუდმივია, ბო-
 ლო დაეანგვა ძირითადად დამოკიდებულია წილის შედგენილობასა და თხელ-
 დენადობაზე. წილაში FeO და MnO -ს შემცველობის ზრდა იწვევს წილის აქ-
 ტივობისა და თხელდენადობის ზრდას, ბოლო ყოველივე ეს—სილიციუმის
 და სხვა ელემენტების დაეანგვის სიჩქარის ინტენსიფიკირებას.

დაეანგვის რეაქციების სიჩ-
 ქარის ცვლილება შესაძლოა ღუმ-
 ლის ატმოსფეროში მიწოდებული
 ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის
 ცვლილებით. მისი შემცირება იწ-
 ვებს აიარად ატმოსფეროს დამეან-
 გველ შეზადგენელი ელემენტების
 (O_2 , H_2O , CO_2) პარციალური
 წნევის შემცირებას, რის შედეგა-
 დაც ეანგბადის მიწოდება და აბა-
 ზანაში მისი გადასვლა მცირდება.

მეავე პროცესით გამოდნო-
 ბილი ფოლადა შეიცავს გაცილე-
 17. ს. იაკობაშვილი.



ნახ XV.6. მეავე მარტენის პროცესში სილიციუმის
 აღდგენის სქემა.

ბით მკი რე რაოდენობით აირებს, ვიდრე ფუძე, ელექტრო ან კონვერტერული ფოლადები. ეს გამოწვეულია წილის შედარებით მაღალი სიბლანტის გამო, რაც საგრძნობლად აფერხებს მასში აირგანვლადობას. სილიციუმის დაქანგვის რეაქციის მიმდინარეობასთან ერთად, რომელიც გვევლინება როგორც განქანგვის პროცესი, მამდინარეობს აკრეთვე ლითონში გახსნილი რკინის ქვეანგსა, ამონაგსა და წილის სილიციუმს შორის ურთიერთქმედება, რაც ამცირებს აბაზანაში ქანგბადის შემცველობას. ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარე შეავე პროცესში განმქანგველების ხარჯი მცირეა. ხშირ შემთხვევაში ლითონი ისეთი გაქანგული მიიღება, რომ განმქანგველების შეტანის საჭიროებას არ მოითხოვს. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მქავე ფოლადი შეიქავს არალითონური ჩანართების მინიმალურ რაოდენობას.

ჩვეულებრივ, მქავე მარტენის ფოლადში შესაძლოა არსებობდეს ~0,006—0,010% ქანგბადი, ~0,0010—0,0015% აზოტი და ~2—4 სმ³ წყალბადი 100 გ ლითონზე. გოგირდის მცირე შემცველი კანმისა და სიბლანტის გამოყენება ჭანაპირობებს ლითონში გოგირდისა და სულფიდების მინიმალურ რაოდენობას. ისევე როგორც ფუძე ფოლადში, მქავე ფოლადში განქანგვის, გამოშვებისა და ჩამოღების შემდეგ არალითონური ჩანართების რაოდენობა რამდენადვე მატულობს, რაც გამოწვეულია აბაზანაში განმქანგველების მიერ შეტანილი ქანგბადისა, თხევადი ლითონის ჰაერთან ურთიერთქმედებისა და ღირის, ციხვის ან ლუმლის სხვა ელემენტებიდან ამონაგის ნაწილაკების მოხვედრით. მქავე ფოლადის დამახასიათებელია მასში არსებული არალითონური ჩანართების მომრგვალებული ფორმა, რომელსაც ინარჩუნებს გაგლინვის შემდეგაც. ამიტომ, ფუძე ფოლადისაგან განსხვავებით, მქავე ფოლადს ახასიათებს მექანიკური თვისებების ნაკლები ანიზოტროპია.

§XV.5 ქანგბადით მარტენის პროცესის ინტენსიფიკაცია

ქანგბადით მარტენის პროცესის ინტენსიფიკაციის პირველი ცდები ჩატარდა 30-იან წლებში, სადაც შებერილ ან მაზუთის გასაფრქვევ პერს ქანგბადით ამჟღირებენ. ეს წინადადება 1926 წელს პირველად წამოაყენა სიმპკონთა მეცნიერმა კ. ტრუბინმა. 1933 წლებში ინე. ნ. მოზგოვის მიერ წამოყენებულ იქნა მარტენის ღუმელში ქანგბადის გაციუნების ახალი ხერხი, სახელად: ღონის პროცესის ინტენსიფიკაცია ქანგბადის უშუალოდ თხევად ლითონში შეტანით ან წილის ზედაპირზე მაღალი წნევით მიწოდებით. აშან გამოიწვია ქანგბადის ხვედრითი ხარჯის საგრძნობი შემცირება და ნანშირბადისა და სხვა ელემენტების ამოწვის სიჩქარის სწრაფი ზრდა (დაახლოებით 0,08% C წუთში). უშუალოდ თხევადი ლითონის აბაზანაში ქანგბადის მიწოდება პირველად ჩვენს ქვეანაში 50-იან წლებში აკად. ი. ბარდინის ხელმძღვანელობით იქნა დანერგილი.

მარტენის პროცესში ქანგბადის გამოყენების ძირითად უპირატესობას შეადგენს ღუმლის წარმოებლურობის საგრძნობი ზრდა, ტონა ფოლადზე სიბლანტის ხარჯისა და წვის პროდუქტების შემცირება, აკრეთვე თბოშემცველობის ზრდის შედეგად ტემპერატურული პოტენციალის ზრდა.

მარტენის პროცესის ინტენსიფიკაცია შესაძლოა: ქანგბადით გამდიდრებულ პერსის შებერვით; ქანგბადის კველით ღუმელში ჩატვირთული ჯართის ინტენსიური გაღნობით და ქანგბადის გაქრევით აბაზანიდან მინარეგების უშუალო დაქანგვით.

ქანგბადით ჰაერის გამდიდრება შესაძლოა უშუალოდ მარტენის თიურებში ქანგბადის მიწროვებითაც. თხევადი სათბობით მუშაობის შემთხვევაში ქანგბადი გამოიყენება მახუთის გასაფრქვევად, ხოლო აირით მომუშავე ლუმლებში ქანგბადი მიიყვანება აირის ქაელთან მისი არხიდან გამოსვლისთანავე. ქანგბადით ჰაერს ამდიდრებენ უმთავრესად ჩატვირთვისა და გაღრობის პერიოდებში, რის შედეგადაც ლუმლის მწარმოებლურობა 10—12% ით იზრდება.

თხევად სათბობზე მომუშავე ლუმლებში შებერილი ჰაერის განდიდრების შემთხვევაში ქანგბადის ხარჯი 15—25 მ³/ტ შეადგენს, ხოლო აირით მომუშავე ლუმლებში—35 მ³/ტ.

თხევადი ლითონის აბაზანის ქანგბადით გაქრევის შედეგად მყარდება ხელსაყრელი პირობები ფოსფორისა და გოკირდის მოცილებისათვის. ქანგბადი თხევად ლითონში სპეციალური მიღების ან საქმენების მეშვეობით დიდი სიჩქარით მიეწოდება. აბაზანაში ქანგბადის პირდაპირი მიწროვების შემთხვევაში მისი ხარჯი 2,5—5,0 მ³/ტ შეადგენს.

თხევადი ლითონის აბაზანის ქანგბადით გაქრევის თან ახლავს ე. წ. დნობის მტერის რაოდენობის საგრძნობი ზრდა, როგორც ლუმლიდან ნაშენ პროდუქტებთან ერთად გაიტანება. ყოველივე ეს წარმოიქმნება თხევად ლითონთან შებერილი ქანგბადის ურთიერთქმედების შედეგად მაღალი ტემპერატურის განვითარებითა (2200—2400°C) და ლითონის აორთქლებით, აგრეთვე თხევადი ლითონის ნაწილაკების გაშეფვით. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ რაც შეტია ლითონში ნახშირბადის შემცველობა, მით მეტი დნობის მტერი გამოიყოფა. ამის შედეგად გამოსული თხევაში ფოლადის რაოდენობა რამდენადმე მცირდება; ამასთან შეიმჩნევა ლუმლის კამარის მდგრადობის მკვეთრი შემცირება, რეგენერატორების წყობურების მტერით დაზოზობა და საწიდეების სწრაფი ავსება. ამიტომ ქანგბადით გაქრევის შემთხვევაში საჭიროა საწიდეებისა და რეგენერატორის წყობურების ხშირი გაწმენდა.

დნობის მტერის შემციოებისათვის იყენებენ სხვადასხვა ხერხებს. ასე, მაგალითად, შებერილი ქანგბადის ქაელში გარკვეული რაოდენობით წყლის დამატება, რაც საგრძნობლად ამცირებს მტერის წარმოქმნას.

§XV.6. თხური რეჟიმის ავტომატური რეგულირება

მარტენის ლუმლის თხური პროცესის ავტომატური რეგულირება ითვალისწინებს შემდეგი პერიოდების ავტომატურ შესრულებას: ა) სათბობის წვის პროცესის რეგულირებას ბ) ლუმლის საქმუშაო სივრცეში აირის წნევის რეგულირებას, გ) სარქველების ავტომატურ გადართვისა და დ) თხური დიტირთვების რეგულირებას. პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ ერთ-ერთი აღნიშნული პერიოდების ავტომატიზაცია საგრძნობლად ზრდის ლუმლის მწარმოებლურობასა და მდგრადობას და ამცირებს სათბობის ხარჯს.

როგორც წინა პარაგრაფში აღინიშნა, მარტენის ლუმელი დნობის სხვადასხვა პერიოდში ხარჯავს სათბობის სხვადასხვა რაოდენობას.

იმისათვის, რომ ლუმლის სივრცე არ იქნეს გადატვირთული გამავალი ნაშენი პროდუქტების დიდი რაოდენობით, მიზანშეწონილია, მაქსიმალური თხური დატვირთვის პერიოდებში ლუმელი ვამუშაოთ აირების მაღალკალორიული ნარევი, ხოლო დაბალი თხური დატვირთვის შემთხვევაში -- აირების და-

ბოლოკალიური ნარევი. ამგვარად, ძირითადად წარმოებს ჰაერის, ბრძმე დისა და კოქსის აირების ხარჯის რეგულირება. ამ სამი რეგულატორის შემსრულებელი მექანიზმები ერთ სისტემაშია მოყვანილი. გარდა ამისა, წარმოებს ჰაერისა და კოქსის რაოდენობის ფარდობის რეგულირება.

ლუმის საშუალო სივრცეში აირების წნევის რეგულირება მიზნად ისახავს ცივი ჰაერის შეწოვის თავიდან აცილებას ან მინიმუმამდე დაყვანას. ჰაერის შეწოვა დაბლა წევს ალის ჩირალდნის ტემპერატურას, ზრდის დნობის ხანგრძლივობასა და სათბობის ხარჯს. გარდა ამისა, წნევის ოპტიმალური მნიშვნელობის რეგულირების შემთხვევაში არ წარმოებს ლუმლიდან ალის გამოტყორცნა, რაც ზრდის წინა კედლების მდგრადობასა და იძლევა პროცესის ვიზუალური დაკვირვების საშუალებას. ჩვეულებრივ, მთელი დნობის ხანგრძლივობის პერიოდში ლუმლის შუა ფანჯრის ზემოთ თაღში მოთავსებულია ლითონის მილი, რომელიც მარეგულირებელ ხელსაწყოთაა მიერთებული.

სარქველების ავტომატური გადართვის დრო განისაზღვრება რეგენერატორის ზედა და ქვედა ნაწილის წყობურების ტემპერატურათა სხვაობის მიხედვით. ამჟამად სარქველების ავტომატური გადართვა წარმოებს წყობურების ზეპო ნაწილების ტემპერატურის მიხედვით. ცდებმა დაგვანახეს, რომ ამ მეთოდის შემთხვევაში სრულყოფილად გამოირიცხება არა მარტო რეგენერატორების კამერების, არამედ თვით ლუმლის მთავარი თაღის გადახურება. ყოველივე ეს ზრდის ლუმლის კოშხანისა და ამცირებს დნობაზე სათბობის ხარჯს.

თაღის ტემპერატურის რეგულირება პოტენციომეტრით ხორციელდება, რომელიც მიერთებულია კოქსის აირის მიწოდების რეგულატორის შემსრულებელ მექანიზმთან. კოქსის ან ბუნებრივი აირი წარმოადგენს „სათბობი ჰაერის“ სისტემის ძირითად შემადგენელ ნაწილს. რეგულირებისათვის პირველად იმპულსს იძლევა რადიაციული პირომეტრი, რომელიც ზომავე უკანა კედლის მახლობლად თაღის ტემპერატურას. როდესაც თაღის ტემპერატურა აღწევს ზღვრულ დაშვებულ სიდიდეს, რეგულატორი ავტომატურად ამცირებს ლუმელში აირის მიწოდებას. თუ ამ უკანასკნელს არ მიეყვავართ თაღის ტემპერატურის შემცირებისაკენ, რეგულატორი აძლევს იმპულსს სარქველების დროზე ადრე გადართვის შესახებ.

რეგენერატორებსა და არხებში ნამწვი პოდუქტების თანაბარი განაწილება წარმოებს მარეგულირებელი ფარებით, რომლის მართვაც მარეგულირებელი პოტენციომეტრის ან კონტაქტური გალვანომეტრის შემსრულებელ მექანიზმებით ხორციელდება. ეს უკანასკნელი კი დაკავშირებულია რადიაციულ პირომეტრებთან, რომლებიც მოთავსებულნი არიან ჰაერის წყობურების ზემო ნაწილში.

თხევადი სათბობის გამოყენების შემთხვევაში „მაზუთ-ჰაერის“ მიწოდების რეგულირება მწვემატიკური სისტემით ხორციელდება. იგი შედგება მაზუთის ხარჯსაზომის, პნემატიკური რეგულატორისა და შემსრულებელი მექანიზმის შემბრანისაგან. შემსრულებელი მექანიზმის შემბრანაზე ჰაერის წნევის ცვლილების ზემოქმედება იწვევს აირმიმყვანებში ჰაერის დროსელური ფარების მდებარეობის შეცვლას. აქედან იცვლება ვენტილატორში ჰაერის რაოდენობა, რომელიც მაზუთის ხარჯის პროპორციულია.

ჩაყვანთვის თერმოწყვილები გამოიყენება ლუმლისა და ციცხვში თხევადი ფოლადის ტემპერატურის გასაზომად. თერმოელექტროდებად მათში გამოყენებულია პლატინა-პლატინაროდუქტის ან ვოლფრამ-ვოლფრამოლიბდენის შენადნობებისაგან დამზადებული მავთულები. ეს უკანასკნელნი იზოლირებულია

ნი და მოთავსებულნი არიან ლითონის გარსაკუმში, ხოლო მირჩილული ბოლოები მოთავსებულია კვარცის ბუნიკში, რომელიც იყვინთება უშუალოდ თხევადი ფოლადის აბაზანაში. საზომ ხელსაწყოდ გამოიყენება თვითმწერი ელექტრონული პოტენციომეტრები.

თხევად ლითონში კვარცის ბუნიკის ჩაყვინთვის დაყოვნების ხანგრძლივობა 10—15 სექუნდს შეადგენს. კვარცის ბუნიკები ყოველი ხმარების შემდეგ იცვლება. ტემპერატურა იზომება ხელით თერმორწყვილის ბოლოს ჩაყვინთვით.

§XV.7. შარტენის პროცესის მატერიალური და თეორიული ბალანსი

მარტენის პროცესის მატერიალური ბალანსის შესადგენად საჭიროა კაზმის გაანგარიშება, რისთვისაც წილის წარმოქმნაში მონაწილე კირქვის გარდა აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული აგრეთვე კირი და რკინის მადანი (რომელთა რაოდენობაც გაანგარიშებით განისაზღვრება), ლულის ამონაგი, გაქუქვიანებული ჯართი და სხვ. კაზმის გაანგარიშება მოსახერხებელია 100 კგ ლითონური კაზმის ნაწილზე. ამ დროს თუჯისა და ჯართის ხარჯს 100%-ად იღებენ, ხოლო სხვა მასალების ხარჯსა და მიღებული პროდუქტების რაოდენობას განოსახავენ პროცენტებში კაზმის ლითონური ნაწილიდან ან კილოგრამებში 100 კგ ლითონზე. მაგალითად, მარტენის ფუჟე ჯართ-მადნურ პროცესში იხარჯება 70% თხევადი თუჯი და 30% ჯართი. ფოლადის გამოღობისათვის გამოიყენება ლითონური და არალითონური შედგენილობის კაზმი.

შესაკეთებელი მასალების ხარჯი აიღება აბაზანის დადლებული ქველისა და სამუშაო კედლების ამონაგის რღვევის ტოლი. გარდა ამისა, წილში გადადის და იხსნება ე. წ. ცრუ ზღვრბლების მასალის—დოლომიტის 20—30%, რის დაპამტკიებელია წილში MgO-ს კონცენტრაციის ზრდა.

კაშარის ცვეთა ერთ დნობაზე შესაძლებელია მივიღოთ საშუალოდ 0,2% ლითონის ჯართის გაქუქვიანება პირობითად 1—3% შეადგენს. მიხალოებით მისი შედგენილობა შესაძლოა მივიღოთ 75% SiO₂ და 25% Al₂O₃. გარდა ამისა, იგი შეიცავს ტუნის გარკვეულ რაოდენობას. მაგალითად, მჟავე პროცესისათვის, როდესაც წარმოებს მედნეგი შემადგენლობის ფოლადის გამოღობა: 0,3—0,4% C; 0,2—0,3% Si; 0,32—0,50% Mn; < 0,030% P; < 0,020% S; 0,3—0,4% Ni; 0,8—1,0% Cr, 0,3—0,4% Mo, მთელი დნობის საბოლოო მატერიალური და სამუშაო სივრცის თბური ბალანსი მოყვანილია XV.3. ცხრილში.

ცხრილი XV.3.

მჟავე მარტენის ჯართული პროცესისათვის მატერიალური და თბური ბალანსი (100 კგ ლითონურ კაზმზე)

| შემოსავალი | % | გამოსავალი | % |
|-----------------------------|--------|------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| მატერიალური ბალანსი | | | |
| თუჯი | 31,500 | ფოლადი | 99,929 |
| ჯართი | 68,100 | წილი | 4,580 |
| ფერომანგანუმი | 0,400 | CC | 2,212 |
| ამონაგი | 2,200 | ტენი | 0,018 |
| მინგანუმის მადანი | 0,500 | | |
| ფერომოლბდენი | 0,600 | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------------|-----------------|---|-----------------|
| ფეროკრომი | 1,750 | | |
| კობალტი | 0,109 | | |
| უანგბადი | 1,878 | შუესაბამობა | 0,001 |
| სულ | 10,7,035 | | 10,7,035 |
| სამუშაო სივრცის თბური ბალანსი | | | |
| ეგზოთერმული რეაქციების სითბო | 9,62 | ფიზიკური სითბო: | |
| წილის წარმოქმნის სითბო | 0,10 | ფოლადის გახახურებლად | 17,48 |
| | | წილის გახახურებლად | 2,80 |
| მ. ზუთის წყის კიბურა — — | 63,113 | მდნობიდან და კარბონიდან ტენის მო- | |
| გახურებული კარბონის ფიზიკური | | ცილება და ორთქლის გახურება | 0,92 |
| სითბო | 28,95 | კარბონის დაწვლა | 0,90 |
| | | გარემოს, გამაცივებელი წყლის, | |
| | | ნემწევი პროდუქტებით, დისოციაცი- | |
| | | ისებრი და სხვ. დანაკარგები | 75,68 |
| | | CO ₂ და CO-ს გახურებაზე რკინის | |
| | | აღდგენა | 0,18 |
| სულ | 10,0 | | 100,0 |

მაგალითისათვის XV.4 ცხრილში მოყვანილია ფუძე მარტენის ჯართ-მადნური პროცესის ფოლადის მარტენის გამოდნობის მატერიალური და თბური ბალანსი. ფოლადის კიბურა შედგენილობა შემდეგ ზღვრებშია: 0,14 — 0,22 % C; 0,35 — 0,55 % Mn; < 0,055 % P და < 0,55 % S. კაზმში იხარჯება 70% თხევადი თუჯი და 30% ჯართი.

ფუძე მარტენის ჯართ-მადნური პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი

| შემოსავალი | % | გამოსავალი | % |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| მატერიალური ბალანსი | | | |
| თხევადი თუჯი | 70,000 | ფოლადი | 105,297 |
| ჯართი | 30,000 | ბოლო წილა | 8,810 |
| რკინის მადანი ჩანტვირთში | 17,500 | დნობის პერიოდში მოხდილი წილა | 6,059 |
| რკინის მადანი დაუანსის (გაკრი- | | დაუანსის პერიოდის წილა | 3,000 |
| აღმასის) | 1,800 | ლითონის ნ.წილაკები საბოლოო | |
| კარბონი | 4,500 | წილაკში | 0,033 |
| კობალტი | 0,100 | იგივე, მახდელ წილაკში | 0,729 |
| ნელის დოლომიტი | 0,150 | აქროლიდები: CO | 6,540 |
| გამომწერი დოლომიტი | 1,460 | CO ₂ | 2,519 |
| მაგნეზიტი | 0,800 | H ₂ O | 0,457 |
| თილის მ.სალა | 0,200 | O ₂ | 0,380 |
| იტმოსფეროვან უანგბადი | 0,774 | შუესაბამობა | 0,002 |
| ფერომინგანში | 0,700 | | |
| სულ | 128,874 | სულ | 128,674 |
| სამუშაო სივრცის თბური ბალანსი | | | |
| ფიზიკური სითბო: | | ფიზიკური სითბო: | |
| თუჯის | 11,3 | ფოლადის | 21,00 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------|--------|--|--------|
| იბრის | 8,74 | წილის | 8,85 |
| ჰაერის | 18,10 | რკინის აღდგენა | 8,45 |
| რეაქციის სითბო: | | ტენის ორთქლბა და ორთქლის | |
| ვგზოთერმულის | 15,70 | გახსნება | 0,34 |
| წილის წარმოქმნის | 0,59 | კირქვის დაშლა | 1,06 |
| იბრის ქიმიური სითბო | 46,57 | გახსნება: CO_2 | 0,48 |
| | | CO | 1,77 |
| | | გახურება: ზე. გინოსი, ე. ბ. ზე. და სუ- | |
| | | ციაციანი. ნამწვი იბრებით და | |
| | | სხვა დანაკარგები | 63,47 |
| სულ | 100,00 | სულ | 100,00 |

XV.5 ცხრილში მოყვანილია ფუძე მარტენის ჯართული პროცესის მატერიალური და სამუშაო სიერკის მატერიალური ბალანსი.

ფუძე მარტენის ჯართული პროცესის მატერიალური და სამუშაო სიერკის მატერიალური ბალანსი

| შ.შოსავალი | % | გამოსავალი | % |
|--------------------------|---------|-------------------------------------|---------|
| | | მატერიალური ბალანსი | |
| შოთისებრი თუჯი | 31,000 | ფოლადი | 86,402 |
| ქართი | 88,000 | წილის ლითონის ნაწილები | 0,650 |
| ფერომაგნიტები | 0,838 | მოსხლე წილა | 5,349 |
| ფეროილიციები | 1,250 | გამოშვების წინაპროლო წილა | 6,019 |
| კირქვი | 4,597 | სი-ს წარმოქმნაზე ნახშირბადის | |
| რკინის მადანი | 2,600 | დაწვებით | 3,051 |
| კამარის მასალა | 0,200 | CO_2 -ის წარმოქმნა კირქვისა და | |
| | | კირქვის მადნიდან ტე- | |
| | | კირქვისა და რკინის მადნიდან ტე- | |
| | | ნა | 0,080 |
| სულ | 115,446 | სულ | 115,446 |

სამუშაო სიერკის მატერიალური ბალანსი

| | | | |
|--|--------|--------------------------------|--------|
| შინარეების ამოწვის ვგზოთერმული რეაქციები | 8,40 | ფოლადის გახურებაზე | 15,49 |
| წილის წარმოქმნის სითბო | 0,48 | წილის გახსნებაზე | 3,14 |
| სითბოს წვის სითბო | 61,67 | კირქვის და მადნიდან ტენის ორ- | |
| ჰაერის ფიზიკური სითბო | 27,55 | თქლბაზე | 0,06 |
| | | კირქვის დაშლაზე | 0,85 |
| | | ნამწვი პროდუქტებით გატანილი . | 63,39 |
| | | გარემოსა და გამ-ცივებულ წყალზე | |
| | | დახარჯული | 18,36 |
| სულ | 100,00 | სულ | 100,00 |

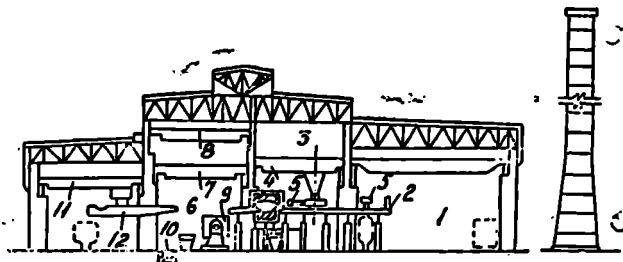
ამ ცხრილებიდან ჩანს, რომ ჯართ მადნურ პროცესში ფოლადის გამო-სავალი გაცილებით მეტია, ვიდრე ჯართული პროცესის შემთხვევაში, რაც განპირობებულია ლუმელში ჩატვირთული რკინის მადნის აღდგენით.

თბური ბალანსის შედარებებით ვხედავთ, რომ მთელი შემოსული სითბოს მცირე რაოდენობა იხარჯება სასარგებლო—წილისა და ლითონის გასა-

ხ ურებლად, მისი ძირითადი ნაწილი გაიტანება საკვამურებში და ატმოსფეროში აქარგება. სითბოს ნაწილი, რომელიც ხმარდება რეგენერატორების გახურებას, გახურებული აირითა და პაერით ლუმლის სამუშაო სივრცეს უკან უბრუნდება. აღსანიშნავია, რომ მარტენის პროცესში სითბოს შემოსავალ ძირითად წყაროს სათბობის წყის სითბო (60%) წარმოადგენს და არა მინარევების დაქანვის ქიმიური ეგზოთერმული რეაქციები, როგორც ეს ხდება კონვერტერულ პროცესში. ამგვარად, სითბოს ხარჯი შესაძლოა დაიყოს სამ ნაწილად: 1) ლითონისა და წილის გახურებაზე, 2) ამონაკის, გამაცივებელი წყლისა და სხვ. მიერ დანაკარგები, 3) ნაშვვი პროდუქტებით გატანილი სითბო. ლუმლის სამუშაო სივრციდან გამავალი ნაშვვი პროდუქტების ტემპერატურა 1700°C მდე აღწევს. შემდგომ საკვამლე არხებსა და საწილურებში მისი ტემპერატურა ეცემა და რეგენერატორების შესასვლელთან 1500—1550°C შეადგენს. რეგენერატორის ქვედა წყობურებიდან გამომავალი ნაშვვი პროდუქტების ტემპერატურა 500—800°C-მდე ეცემა. აღიბეებისა და გადამრთველ სარქველებიდან გასვლის შემდეგ პაერის შეწოვის შედეგად მათი ტემპერატურა 100—200°C-ით ეცემა და საკვამლე მილში იგი 400—600°C-ს შეადგენს. ამიტომ ამ სითბოს უტილიზაციას ღიდი ურადლება ეთმობა. ამ მიზნით, უშუალოდ საკვამლე მილის წინ ათავსებენ ქვებ-უტილიზატორებს, სადაც გამოიყენება გამავალი ნაშვვი პროდუქტების სითბოს 60—70%. ამის შედეგად 1 ტ გამოდნობილ ფოლადზე გამოშვადდება 350—450 კგ ორთქლი. ქვებ-უტილიზატორებიდან გამავალი კვამლის ტემპერატურა 150—230°C-ით ეცემა. გარდა ამისა, ქვებ-უტილიზატორები იძლევა დნობის მტერისაგან კვამლის გაწმენდის საშუალებას, რომელთა რაოდენობაც მარტენის სივრციდან გატანილი მთელი დნობის მტერის რაოდენობის დაახლოებით 10—20%/ს შეადგენს. ამისათვის ქვებ-უტილიზატორებსა და საკვამლე მილს შორის ათავსებენ ელექტროსტატიკურ აირგამწმენდებს. დაჭერილი მტერი შემდგომ ბრძმელის კაზში გამოიყენება.

§XV.8. მარტენის ხანძარი ალფირილობა

თანამედროვე მარტენის საამქრო წარმოადგენს მრავალპალიან გრძელ შენობას, სადაც ერთ მჭკრივში განლაგებულია რამდენიმე მარტენის ლუმელი, რომელთაც უშუალოდ ესაზღვრება სამსხმელო მალი. საწარმოო ოპერაციების შესასრულებლად თანამედროვე მსხვილი მარტენის საამქროები შედგება შემდეგი განყოფილებებისაგან: 1) საკაზმე ეზო, სადაც ინახება და მულდებში იტვირთება საკაზმე მასალები; 2) საკაზმე მალი, სადაც სპეციალური ურიკებით რკინიგზის შემადგენლობით საკაზმე ეზოდან მიეწოდება კაზმით დატვირთული მულდები; 3) სალუმელე მალი, სადაც თავისი დამზარე მოწყობილობებით განლაგებულია მარტენის ღუმელები და წარმოებს მათში მყარი კაზისა და თხევადი თუჯის ჩატვირთვა; 4) სამსხმელო მალი, სადაც ფოლადი ჩამოიხსნება ციკვებსა და შემდგომ ბოყებში; 5) სტრიპერის (ზოსაგდების) განყოფილება, სადაც სასტრაპერო ამწეებით ზოდებს აკლიან ბოყებებს; 6) ბოყების ეზო, სადაც ბოყები იწმინდება, იწყობა ურიკებზე დადგმულ ქველებზე; 7) სამიქსერო განყოფილება (თხევად თუჯზე მომუშავე ღუმელების შემთხვევაში), სადაც დაყენებულია მიქსერი თხევადი თუჯის შესანახად; 8) საწილე ეზო, სადაც აგროვებენ მარტენის წილას და მას აკლიან ლითონურ ნაწილებს; 9) საურნალე ეზო, სადაც მსხვილი ლითონის ჯართს ანაკროვებენ; 10) აირგენერატორული სადგური.

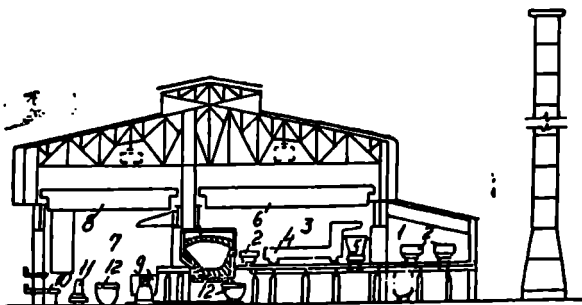


ნახ. XV.7. პირველი ტიპის მარტენის სააშქროს განივი პრილი: 1—საკაზმე მალი; 2—სამუშაო მოედნის აივნანი; 3—ხალხმეღე მალი; 4—ჩამტვირთავი ხიდური აშქვი; 5—მულდები; 6—სამსხმელო მალი; 7—სამსხმელო ხიდური აშქვი; 8—საღებო ხიდური აშქვი; 9—ფოლადსამსხმელო ციხები; 10—სამსხმელო არხი; 11—გასაწვავი მალი; 12—ხაბრუნისრიანი ჩამტვირთავი აშქვი.

როგორც აღენიშნეთ, არსებობს ორი ტიპის მარტენის სააშქრო:

1) პირველი ტიპის—როცა ღუმელში კაზმის ჩატვირთვა ამწეების საშუალებით წარმოებს (ნახ. XV.7); 2) მეორე ტიპის—როცა ღუმელში კაზმის ჩატვირთვა იატაკზემავალ ჩამტვირთავი მანქანებით (ნახ. XV.8). ამჟამად ყველა მარტენის სააშქრო მეორე ტიპს შეეკუთვნება.

პირველი ტიპის სააშქროებს აშენებენ მცირე და საშუალო მეტალურგიულ და მანქანასაშენებელ ქარხნებში. საკაზმე მასალები, რომლებიც რკინიგზის ვაგონებით საკაზმე მალში 1 შემოიზიდება, გადმოიტვირთება და აქედან ელექტრომაგნიტებიანი ხიდური და გრეიდერული ამწეებით ჩაიტვირთება მულდებში. დატვირთული მულდები ხიდური ამწეებით მიეწოდება სამუშაო მოედნის აივნებს 2. სალუმეღე მალი 3 აღქურვილია: ჩამტვირთავი ხიდური აშქვებით 4, რომლებიც კაზმით დატვირთულ მულდებს 5 აწვდიან მარ-



ნახ. XV.8. მეორე ტიპის მარტენის სააშქროს განივი პრილი: 1—საკაზმე მალი; 2—მულდებიანი რკინიგზის შემადგენლობა; 3—სალუმეღე მალი; 4—იატაკზე მოსიარულე ჩამტვირთავი მანქანა; 5—თუქსაზიდი ციხები; 6—ხიდური თუქსაზმელო აშქვი; 7—სამსხმელო მალი; 8—ხიდური სამსხმელო აშქვი; 9—ფოლადსამსხმელო ციხები; 10—სამსხმელო მოედანი; 11—ურაკებზე დადგმული ბოყეხები; 12—საწიდე ციხეები.

ტენის ღუმელებს და ჩატვირთავენ. სამსხველო მალი 6 ალკურვილია ერთი ან ორ იარუსად განლაგებული ხილური ამწეებით: სამსხველო 7 ციცხვების 9 გადასატანად სამსხველო არხისაკენ 10 ბოყეებში ჩამოსასხმელად (ქვემო იარუსი), და მსუბუქი (გასაწყობი) ამწე—არხებში ბოყეებისა და ქველების დასაყენებლად, მოსხსნელად და სხვ. მოსაწყობი მალი 11 ალკურვილია ჩვეულებრივ ხილური და მბრუნავისრიანი სპეციალური ამწეებით 12, რომელთა საშუალებითაც გადააქვთ სამსხველო არხებიდან სხპელები (ზოდები) გასაწყობ მალში. ამ მალში ამოწმებენ ზოდებს და საქიროების შემთხვევაში ამ. ა. კვეთენ დეფექტებსა და ბზარებს. თხევადი თუჯი მარტენის ღუმლის ჩვეულებრივ სამსხველო მალიდან მიეწოდება.

მეორე ტიპის საამქროების აშენება საშუალო და მსხვილ მეტალურგიულ და მანქანათსაშენებელ ქარხნებში წარმოებს. საკაზე მასალები მიწოდება ხორციელდება ცალკე განლაგებულ საკაზე ეზოდან, რომელიც საღუმელე მალთან და ძირითად საამქროსთან ესტაკადით ორის დაკავშირებული. მუღლებში ჩატვირთული კაზმი რკინიგზის შემადგენლობით მიეწოდება საკაზე მალს (1), ხოლო შემდგომ საღუმელე მალს (3). იტაკზე მოძრავი ჩამტვირთი მანქანებით (4) მყარი კაზმი მუღლებიდან ღუმელებში ჩაიტვირთება თხევადი თუჯი მიქსურებს ღუმელებს მიეწოდება ციცხვების (5) საშუალებით. მათ ღუმელში ჩასხმა საღუმელო ფანჯრებიდან სპეციალურ სამსხმო ამწეებით (6) ხორციელდება. საჩაპოსხმო მალი (7) ალკურვილია სამსხველო ამწეებით (8), რომელთა საშუალებითაც ხდება ლითონით სავსე ციცხვების (9) ღუმელებიდან სამსხველო მალეზისაკენ (10) მიწოდება. აქ წარმოებს თხევადი ლითონის ჩამოსხმა რკინიგზის ურიკებზე მოთავსებულ ბოყეებში. ლითონჩასხმული ბოყეებით დატვირთული ურიკების შემადგენლობა მიეწოდება სასტრიაერო განყოფილებას, სადაც ხდება მათი სტრიაერირება.

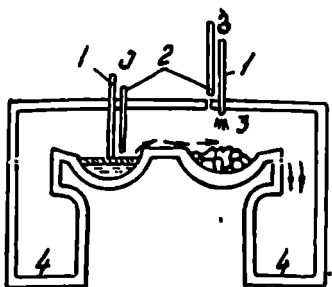
გახურებული გახდილი სხმულების შემადგენლობა მიეწოდება საგლინავი საამქროს გამახურებელ ქებს.

ღუმელიდან გამოსული წიდა საწიდე ციცხვებში (12) გროვდება, რომლებიც მოთავსებულნი არიან სამსხველო მალში. ისინი თავსდებათ სპეციალურ ციცხეში ზურკებზე და ე. წ. საწიდე ლიანდაგებით გააქვთ საამქროდან.

მარტენის საამქროები მიეკუთვნება ცხელ საამქროებს, რადგანაც ერთ საათში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა შეადგენს 200—225 კკალ/მ² საამქროს მოცულობაზე, საამქროში ნახშირგანის რაოდენობა პაერნი არ უნდა აღემატებოდეს 0,01—0,02—ზაფხულსა და 0,02—0,03 მგ/ლ ზამთარში. პაერის საერთო მტვერიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 10 მგ/მ³. უშუალოდ ჩამტვირთვ მ.ქანასთან პაერის მტვერიანობა 30—50 მგ/მ³ აღწევს. შრომის ჰიგიენის გასაუმჯობესებლად ახორციელებენ შემდეგ ღონისძიებებს: 1) ღუმლის რემონტის მექანიზაციას და ფოლადის ღნობის პროცესების ავტომატიზაციას 2) აირაციის სწორ და ეფექტურ ორგანიზაციას; 3) სპეციალურ სანიტარიულ-ტექნიკურ მოწყობილობების გამოყენებას; 4) პირადი ჰიგიენისა და ინდივიდუალური დაცვის საშუალებათა გამოყენებას და სხვ.

§ IV. 9. სსრ კავშირში მარტენის პროცესის პარამეტრები

სტკოთა კავშირში ფოლადის წარმოების თითქმის 2/3 მოდის მარტენის პროცესით გამოდნობილ ფოლადზე. ჩვენს ქვეყანაში თანამედროვე მარტენული წარმოება ხასიათდება მსხველ საამქროებში წარმოების სიმძლავრეების მაღალი კონცენტრაციით, როლებიც აღ



ნახ. XV.9. ორბაზანიანი ღუმლის სქემა:
 1—აირ-უანგბადის ქსინები; 2—უანგბადს
 ქსინები; 3—აირ-უანგბადის ჩირაღდანი;
 4—საწილურები; ა—დაყვანის პერიოდში
 ქსინების მღებარეობა; ბ—უანგბადის
 რეჟიმის პერიოდში ქსინების მღებარეობა,

ლის ქვემო ნაგებობებზე, უბარგულეს ყოველსა,
 რეგენერატორების წყობურებზე (რომლებიც
 სწრაფად გამოდინან წყობიდან). იმისთანაა აღსა-
 ნიშნავია, რომ მარტენის ლუმელი უმთავრესად
 განუთვნილია ჩირაღდნის სითბოთი ლითონის
 გასახურებლად (ნახშირბადის ამოწვევის დაბალ
 სიჩქარეებზე). ამიტომ უანგბადით მარტენის აბა-
 ზანის ინტენსიური გაქრევა მზანწეწინილი არაა.

ყოველზე ამან გამოიწვია ახალი ფოლად-
 სადნობი აგრეგატის შექმნა, სადაც შესაძლებე-
 ლია უანგბადით თხევადი ლითონის ინტენსიური
 გაქრევა და ამისთან გამოყოფილი CO-ის სრული
 წეით მიღებული სითბოს მაქსიმალური გამოყენე-
 ბა. თავისი გაბარებების მიხედვით აღნიშნული
 აგრეგატი უნდა თანხელეს მარტენის ღუმელს.
 სწორედ ამ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს ორბაზა-
 ნიანი ღუმელი, რომლის სქემატური გამოსახუ-
 ნებაც ნაჩვენებია XV.9 ნახაზზე (ისევეთონ ნახუ-
 ნებშია ნამწევი აირების მოძრაობის მიმართული-
 ბა). აგრეგატს აქვს ორი აბაზანი, ორი თაური,
 ორი ვერტიკალური არსი, ორი საწილური და

კვანდადენებისა და გადასართულ სარქველების სისტემა. მაშინ, როდესაც ერთ აბაზანში
 მიმდინარეობს უანგბადით ლითონის გაქრევა, მეორეში მყარი კაზმა სურდება პირველ
 აბაზანიდან გამოსული აირების (CO-ს CO₂-ად სრული წვის შედეგად) მიერ გამოყოფილ
 სითბოთი. ორივე აბაზანში დნობის მიმდინარეობა ისეა რეგლამენტებული, რომ ერთ აბა-
 ზანში დნობის ბოლო ეთანადება მეორეში შუა დნობას.

პირველ აბაზანში, რომელშიცაც პროცესი დამთავრებულია, მიმდინარეობს დნობის
 გ.წინშეება, აბაზანის შეუთება, მყარი კაზმის ჩატვირთვა და მათი გახურება როგორც მეორე
 აბაზანიდან გამოძვალაი აირებით, ისე ნაწილობრივ კამარადან ნაშეებული აირ-უანგბა-
 დის ქსინების ჩირაღდნის სითბოთი. ამ დროს მეორე აბაზანში მიმდინარეობს უანგბადით
 გაქრევა. მთელი დნობის პროცესში აირების ამართულების შეცვლა მხოლოდ ერთხელ
 ხორციელდება. აირები ღუმლის სივრცლიდან იმ აბაზანის მხრიდან გაიტანება, სადაც მიმდინარე-
 ბობს დნობის პირველი ნახევარი, რომელსაც სწორად „ცივი პერიოდს“ უწოდებენ.

ორბაზანიანი ღუმლის მუშაობის რეგლამენტური რეჟიმი (ძირითადი მარტივების თან-
 ხედვითა და სანგრილეობის მიხედვით) ნაჩვენებია XV. 10 ნახაზზე (მაგნიტოგრაფიის მე-
 ტალურგული კომბინატის მაგალითზე). თითოეული აბაზანის ტეადობა 280—300 ტ-ს
 შეადგენს. ციკლის სურთო ხანგრძლივობა 3—4 საათია, ე. ი. თითოეული აბაზანიდან დნო-
 ბის გამოშვება ყოველ 1,5—2 საათში წარმოებს. ამჟამად საბჭოთა კავშირში უკვე მუშაობს
 თსუთებზე მეტი ორბაზანიანი ფოლადსადნობი ღუმლები. „სტალპროექტის“ საპროექტო

| | | | | | | | | |
|----|-------------------|-----------|--------------|-----------------|-------------------|--------------|---------|---------|
| | 50 | | | | 50 | | | |
| I | შუა- მარტენი | ჩირაღდანი | განგა- ბე | მარტენი | საბაზანის გაქრევა | | | მარტენი |
| II | საბაზანის გაქრევა | | | შუა- მარტენი | ჩირაღდანი | განგა- ბე | მარტენი | მარტენი |
| | 45-48 | | | 2-3 | 13-15 | 15-17 | 14-16 | 4-7 |

ნ.ხ. XV 10. ორბაზანიანი ფოლადსადნობი ღუმლის მუშაობის რეგლამენტებული
 რეჟიმის კარტი (ციკლებით ნაჩვენებია პერიოდების ხანგრძლივობის პროცენტები
 მთელი დნობის ხანგრძლივობიდან).

ამ მიზეზების გამო ფოლადის ელექტრომეტალურგია თავიდანვე ვითარდებოდა, როგორც ხარისხოვანი ფოლადების წარმოების მეტალურგია.

თუ დიდი ოქტომბრის რევოლუციამდე რუსეთში ითვლებოდა დაახლოებით 12 ელექტროლუმელი, რომელთა ტევადობაც 26 ტონას არ აღემატებოდა, 1980 წელს მათმა რიცხვმა 600 გადააჭარბა.

მეორე სამამულო ომის შემდეგ თანდათან ვითარდებოდა დიდრონაჟიანი ლუმლების შექმნა. 1958 წელს ჩვენს ქვეყანაში პირველად ჩაღდა მწყობრში 80—100-ტონიანი ელექტროლუმელები, მხოლოდ 1971 წელს გაშვებულ იქნა 200 ტონიანი ელექტროლუმელი. მწყობრში დგება მაღალტონიანი ლუმლები აქამდე მსოფლიოში გამოდნობილი ფოლადების მთელი მოცულობის 17%-ს ელექტროფოლადი შეიღვენს.

§XVI.2. ფოლადსადნოა ელემენტარულმაღების კონსტრუქცია და კანაწმენი

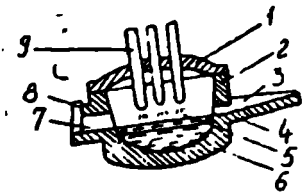
ამჟამად საბჭოთა კავშირში სერიულად მზადდება მცირე (0,5; 1,5; 3,0; 4,0; 5,0 ტ.), საშუალო (6; 12; 25; 50 ტ) და დიდი ტევადობის (100 და 200 ტ) ელექტროლუმელები. ამ ბოლო წლებში დაპროექტებულია და მწყობრში დგება 300 და 400 ტ-ანი ელექტროლუმელები.

ჩვეულებრივ, ელექტროლუმლების ტიპის აღნიშვნა და ნიშანდება რუსული ასოებითა და ციფრებით წარმოებს. ასე, მაგალითად: პირველი ასო Д გვიჩვენებს ხურების მეთოდს (дуговой—რკალური); მეორე ასო С—ლუმლის დანიშნულებას (стационарная—ფოლადსადნობი); მესამე ასო—ძირითად კონსტრუქციას; მაგალითად, П—საბრუნე (поворотная). ასოების შემდგომ მომდევნო ციფრი გვიჩვენებს ლუმლის ტევადობას ტონობით; შემდეგი ასო—დამპროექტებული და დამუშავებული წარმოების შიფრს და ბოლოს, შიფრის მომდევნო ციფრი—დამკვეთის მოთხოვნილებით დამზადების ვარიანტს. მაგალითად, ДСП—6Н1 ნიშნავს: რკალურ-ფოლადსადნომ-საბრუნავ 6 ტონიან ელექტროლუმელს, Н1—წარმოებაში დამზადებულ პირველ ვარიანტს. ხშირად ტევადობის შემდეგ აღნიშვნებში წარმოების შიფრსა და დამზადების ვარიანტს არ წერენ (მაგალითად ДСП—200).

წარტენის ლუმლის მსგავსად, ელექტროლუმელები შესაძლოა ამოგებულ იყოს ფუძე ან მუჯე ამონაგით. ფუძე ლუმელები, ჩვეულებრივ, ამოგებულია მაგნეზიტის ან დოლომიტის შემცველი მასალებით; მუჯე ლუმელები—კაჟმიწა-შემცველი მასალებით, როგორცაა დინასი, კვარციტი, კვარცის სილა და სხვ.

XVI.1 ნახაზზე ნაჩვენებია რკალური ელექტროლუმლის სქემატური გამოსახულება. თანამედროვე ელექტროლუმელები შეიცავს სამუშაო არეს (ელექტროდებითა და ღენმიწყვანებით), ელექტროდების დამკერ და გადასაადგილებელ მექანიზმს, ლუმლის საბრუნავ მექანიზმსა და კაზმის ჩასატვირთ მოწყობილობას.

ელექტროლუმლის სამუშაო სივრცე შემოფარგლულია: ზემოდან კამარით, გვერდებიდან—კედლებითა და ფერდობით და ქვემოდან—ქვედით. ქვედის ცეცხლგამსლე ამონავი მოთავსებულია ლითონის გარსაცმში



ნახ. XVI.1. ფოლადსადნობი ელექტრორკალური ლუმლის სქემა: 1—თალი; 2—კედლები; 3—ღარი; 4—ფოლადის გამოსაშვები ხვრელი; 5—ელექტროდები; 6—ქვედა; 7—სამუშაო ფანჯარა; 8—ფარი; 9—ელექტროდი.

მოსახსნელი თალი აწყობილია ცეცხლგამძლე აგურებისაგან, რომლებიც დაყრდნობილია თალის საყრდენ რგოლზე. თალი არსებულ სიჭრტიულად განლაგებული სამი ხერხელის მეშვეობით ლუმლის მუშა არეში შეყვანილია დენგამტარი ელექტროდები (9), რომლებიც სპეციალური მექანიზმით გადაადგილდება ზემოთ ან ქვემოთ. ლითონისა და წილის გამოშვებისათვის გათვალისწინებულია სპეციალური ხერხელები. დნობის პროცესის თვალყურის დევნებისა, კონტროლისა, ფერდობებისა და ქვედის შეკეთებისა და დამატებითი მასალების ჩატვირთვისათვის ლუმელს წინა გვერდიდან აქვს ფანჯარა, რომელიც ცეცხლგამძლე მასალით ამოგებულ ფარით არის დახურული.

ლუმელში საკაზმე მასალების თანაბრად დნობისათვის გათვალისწინებულია მისი ბრუნვა ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ $\pm 40^\circ$ კუთხით. ლუმლის გარსაცმი რგოლური რელსებით დაყრდნობილია საყრდენ და საბრჯენ გორგოლაკებზე. ბრუნვა სპეციალურ მექანიზმებითა და ელექტროამბრავით ხორციელდება.

მთლიანად ლუმელი დაყრდნობილია ნალოზე (საკიდელაზე), რომლის მეშვეობითაც ლუმელი იხრება სამუშაო ფანჯრის ან გამოსაშვებ ღარის მხარეს, შესაბამისად, $10-15$ და $40-45^\circ$ -ით. ლუმლის კვება სამუშაო დენის ტრანსფორმატორით ხორციელდება.

ლუმელში კაზმი ჩაიტვირთება უშუალოდ ქველზე. კაზმის გადნობის შედეგად წარმოიქმნება ლითონი და წილა. საკაზმე მასალების ვახურება და დნობა ელექტრორკალის მიერ გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე ხორციელდება. იგი ანთია ელექტროდსა და საკაზმე მასალას ან თხველ ლითონს შორის.

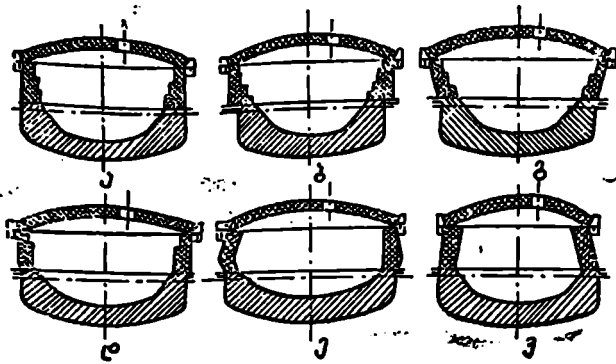
ელექტროდებზე ტრანსფორმატორიდან დენის მოყვანა მოქნილი კაბელების, წყლით გამაცივებელი მილებისა და გრაფიტის ელექტროდის დამკვრების საშუალებით ხორციელდება.

დიდტევადობის ლუმლებში თხველად ლითონის შედგენილობის გათანაბრების მიზნით, ქვედის ქვეშ მოთავსებულია ელექტრომაგნიტური არევის სპეციალური მოწყობილობა. ლუმლის რიგი ელემენტები წყლით ცივდება, რომლის ტემპერატურაც გამომავალ კოლექტორში 55°C არ უნდა აღემატებოდეს.

თანამედროვე ლუმლებში ძირითადი საკაზმი მასალები ზემოდან ჩაიტვირთება. ამისათვის სპეციალური ბადეები (კალათები) გამოიყენება. მათი ძირითადი ჩატვირთვის პროცესში იხსნება და კაზმი ლუმლის სამუშაო არეში ჩაიტვირთება.

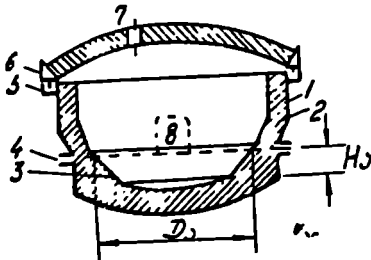
ზემოდან ჩატვირთვისათვის აუცილებელია ლუმლის თალისა და ქვედის განცალკევება, ანუ გახსნა. ამ მხრე გამოირჩევა რამდენიმე კონსტრუქციულად განსხვავებული ტიპის ლუმლები: ა) მბრუნავთალიანი (ДСП სერიის); ბ) ქვედის გამოგორებით (ДСВ სერიის) და გ) თალის გადაგორებით. ჩვენს ქვეყანაში ძირითადად მზადდება მბრუნავთალიანი ელექტროლუმლები.

ელექტროლუმლის გარსაცმი, კამარის კარკასი და სამუშაო არე. ლუმლის გარსაცმის ფორმა ლუმლის სამუშაო არის ფორმას განსაზღვრავს. ამიტომ ძირითადად ირჩევენ გარსაცმის ისეთ ფორმას, რომელიც უზრუნველყოფს ცეცხლგამძლე ამონაგის კარგ მდგრადობას და მისი შეკეთების მოხერხებულობას ცეცხლგამძლე მასალების მინიშალური ხარჯით. XVI.2 ნახაზზე ნაჩვენებია თანამედროვე ფოლადსაღნობ ელექტროლუმლის გარსაცმისა და სამუშაო არის ფორმები. XVI.3 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტროლუმლის გარსაცმისა და სამუშაო არის ზომები.



ნახ. XVI.2. ელექტროკალური ღუმლების გარსაცმისა და სამუშაო არის ფორმები: ა) ცილინდრული; ბ) საღებურებიანი; გ) ცილინდრულ-კონუსური ს.ღამფელი; დ) კასრისებრი; ე) შებრუნებულ-კონუსური.

ღუმლის ცილინდრული ფორმა (ნახ. XVI.2, ა) ნაკლებად რაციონალურ კონსტრუქციას წარმოადგენს, რადგანაც ამ შემთხვევაში ძნელდება მისი კედლების შეკეთების პირობები და ?ცირება მათი მანძილი ელექტროკალამდე, რაც იწვევს ამონაგის მდგრადობის საგრძნობლად შემცირებას. შედარებით მეტი მდგრადობით ხასიათდება ღუმლები საღებურიანი ფორმის გარსაცმით (ბ). ბოლო წლებში დიდი გამოყენება პოვა ცილინდრულ-კონუსურგარსაცმიანმა რკალურმა ღუმლებმა (გ, დ), სადაც ამონაგის მდგრადობა ორნახევარჯერ მეტია. ამიტომ თანამედროვე სერიული რკალური ღუმლები მზადდება ცილინდრულ-კონუსური კონსტრუქციის გარსაცმით. კონუსური ნაწილის დაბარის კუთხე 15—20° შეადგენს. უფრო დიდი კუთხის შემთხვევაში აბაზანის ზომები (დიამეტრი D_0 და სიღრმე H_0) უნდა ითვალისწინებდეს მისთვის ლითონისა და წილის გარკვეულ ტევადობას. ამ უკანასკნელის მასა ლითონის მასის დაახლოებით 15%-ს შეადგენს. ოპტიმალურ ფარდობად $D_0 : H_0$ მიღებულია 5:1. აბაზანის სიმაღლესა და ტევადობას (m) შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება: $H_0 = 0,24 \sqrt{m}$. ფერდობების დონე სამუშაო ფანჯრის ზღვრის



ნ.ხ. XVI.3. ელექტროკალური ღუმლის გარსაცმისა და სამუშაო არის ზომები: 1—გარსაცმა; 2—ამონაგი; 3—ფერდობები; 4—გარსაცმის გარსით; 5—რკალური ღარი; 6—თაღის რგოლი; 7—ელექტროდისათვის სერული; 8—სამუშაო ფანჯარა.

დონიდან 100—150 მმ-ით ზემოთ მდებარეობს. თავისუფალი არის მცირე სიმაღლის შემთხვევაში კამარის მდგრადობა მცირდება, რაც გამოწვეულია რკალთან მისი სიახლოვეთ, ამასთან სიმაღლის ზრდა ელექტროენერჯის დიდ ხარჯს იწვევს.

მუშაობის პროცესში ღუმლის გარსაცმი გახურებასთან ერთად განიცდის ამონაგის, ლითონისა და წილის წონით გამოწვეულ წნევას (გარდა იმისა, ამონაგის წყობის გაფართოებით გამოწვეულ წნევას). ამიტომ ღუმლის გარსაცმი უნდა იყოს საკმაოდ მტკიცე. იგი მზადდება 10-დან 40 მმ-იანი სის-

ქის ფურცლოვანი ფოლადისაგან. სიხისტის კაზრდისათვის გარსაცემის ზემო ნაწილს სიხისტის რგოლს შიადლებენ, რომელიც ერთდროულად სილის საკეტს წარმოადგენს. გარსაცემის გვერდითი ზედაპირი გაძლიერებულია სიხისტის წიბოთი. ქვედის სფერული ფორმის შემთხვევაში შეიმჩნევა ცეცხლგამძლე მასალების მინიმალური ხარჯი. ამიტომ თანამედროვე ელექტროდუმლებში მზადდება სფერული ან წაკვეთილი კონუსის ფორმის. ტრანსპორტირების მოხერხებულობისათვის გარსაცმი მზადდება რამდენიმე ელემენტისაგან, რომლებსაც მონტაჟის დროს ერთმანეთს უერთებენ შედუღებით ან კანკიკებით

კამარა მის ძირითად ელემენტს—კამარის რგოლს ეყრდნობა, რომელიც წყლით ცივდება. რგოლის ქვედა სიბრტყეზე სილის საკეტის დანაა მიდუღებული.

ელექტროდსაკერი. უკანასკნელ წლებში თანამედროვე რკალური ელექტროდუმლები აღქურცილია ზამბარიან-მნივრეობიერი საკერებით, რომლებიც მოძრავ ურიახზე დამონტაჟებული. ამ უკანასკნელს აქვს დგარზე ზევით და ქვევით მოძრაობის საშუალება. ელექტროდის განთავისუფლებისათვის ზამბარა პნევმოცილინდრის დგუშის მეშვეობით იკუმშება. დგუშის კოკი ბერკეტების სისტემებით ელექტროდსაკერის თავთანაა შეერთებული. ელექტროდებთან დენის მიყვანა მოქნილ სალტეებით ან მილსალტეებით ხორციელდება, რომლებიც იზოლირებულნი არიან ელექტროდსაკერის სახელოსაგან. ელექტროდსაკერის თავი შესაძლოა იყოს სპილენძის, ბრინჯაოს ან თითბარის, რომელიც ჩამოსხმით ან შედუღებით მზადდება.

ელექტროდსაკერის თავი სახელოსთან მაგრდება, რომელიც საიზოლაცო (აზბოცემენტი ან მკანატი) შესაღებით მიერთებულია ვერტიკალურად მოძრავ დგიმთამწესთან ან მოძრავ ტელესკოპურ I-ს მაგვარ დგართან.

დიდი ტევადობის ელექტროდუმლებში სახელოები გასაშლელი მზადდება, მისი ის ნაწილი, რომელიც უშუალოდ თავს ეხება, წყლით ცივდება.

დგიმთამწე მიმართული გორაკოლაქებით გადაადგილება მართლმთხა ან მრგვალი კვეთის მქონე უძრავ დგარზე. დეიმთამწის გადაადგილების სიმაღლე უნდა უზრუნველყოფდეს ელექტროდის ბოლოს გადაადგილებას ქვევიდან კამარაში მოთავსებულ ხერხელის ზემო სიბრტყემდე. ტელესკოპური დგარის მოძრავი ნაწილი მზადდება სქელკედლიანი მილისაგან, რომლის ზემო ბოლოზე ქუროს მეშვეობით ელექტროდსაკერის სახელო მაგრდება. ასეთი კონსტრუქციის დგარებს დგიმთამწესთან შედარებით აქვს გადაადგილების მკირე სიმაღლე, საკუთოდ დიდი წონა და ღუმლის დახრის შემთხვევაში—დიდი შექანეკური დამბულობანი.

დნობის პროცესში კაზმის ჩამოზვავებისას ელექტროდების გადაადგილების მექანიზმი უნდა უზრუნველყოფდეს ელექტროდების სწრაფ აწევას, რათა მოკლე ჩართვა და ზეთის ამოშრთველის ამოშრთვა თავიდან იქნეს აცილებული. გარდა ამისა, უნდა იძლეოდეს საშუალებას ელექტროდების მდორედ დაბლა დაშვებისა და ავტომატურ რევიში რკალის მდგარადობისა. ამასთან ელექტროდების გადაადგილების მექანიზმი უნდა იყოს საიმედო, იაფი და რემონტების დროს ადვილად მისადგომი. თანამედროვე ღუმლებში ელექტროდების აწვეის სიჩქარე 6 მ/წთ შეადგენს, ხოლო დაშვებისა—1÷1,5 მ/წთ.

განახნავებენ ელექტროდების გადაადგილების ორი სახის მექანიზმს: 1) ელექტრომექანიკურს და 2) ჰიდრაულიკურს.

ელექტროდების გადაადგილების ელექტრომექანიკური მექანიზმი შედგე.

ბა უძრავი დგარისაგან, რომელზედაც ურიკა მოძრაობს. ამ უკანასკნელზე დამაგრებულია ელექტროდის დამკვირვებელი მქალაქი. ურიკის გადაადგილება შესაძლოა დრეკადი გვარლის, დგარზე მიმაგრებული კბილანური ლარტის, რელექტორების ან კბილანების მეშვეობით.

ჰიდრაულიკური მექანიზმის შემთხვევაში მუშა სითხის წნევით წარმოებს Γ-ის მაგვარი დგარის გადაადგილება.

ლუმლის დახრის მექანიზმი თანამედროვე ელექტროლუმლების დახრის მექანიზმს წაიყენება შემდეგი მოთხოვნები: 1) ფოლადამოსაშენები და წილის განმოსაშენები ლარებისა და ჩასატვირთი ფანჯრის მხარეს ლუმლის მჯოვრედ დახრა და მისი სიჩქარის რეგულირება; 2) ციციხეში ლითონის ჭავლის ვერტიკალური მიმართულებით ჩასხმა (რაც ამკვირებს ციციხის ამონაგის ჩარეცხვას); 3) შემადგენელი ნაწილებისა და კვანძების არადეფორმირება და სიიაფე; 4) მინიმალური გაბარიტები; 5) მუშაობის საიმედოობა და სხვ.

ლუმლის დახრის მექანიზმი შესაძლოა განლაგებულ იყოს ლუმლის გარსაქმის გვერდით ან ქვემოთ. გვერდითი განლაგების შემთხვევაში დახრის მექანიზმი უფრო მარტივია. აქვს მცირე გაბარიტები, პრაქტიკულად გამორიცხულია მასზე თხევადი ლითონისა და წილის შეხვევის მოხვედრა. მიუხედავად ამისა, ლუმლის დახრის შემთხვევაში გარსაქმი განიცდის საგრძნობ შეკუმშვის ძალას, რაც იწვევს მის დეფორმაციასა და ცეცხლგამძლე ამონაგის რღვევას. ამიტომ დახრის მექანიზმის გვერდულ განლაგებას იშვიათად იყენებენ.

დახრის მექანიზმის ამქრავი შესაძლოა იყოს ჰიდრაულიკური ან ელექტროლური. დახრის მექანიზმი აღჭურვილია ავტომატური მუხრუჭებით. 45°-ით დახრის მინიმალურ დრო 1,5 წუთს შეადგენს.

შემაჰვიდრობელი რგოლები, სამუშაო სარკმელი, გამოსაშვები ხერელი და ლარი. ლუმლის გახურებისა და მუშაობის პროცესში კამარის დეფორმაციის შედეგად ელექტროდების გატეხვის თავიდან აცილების მიზნით, მასში ხერელები მზადდება 30—50 მმ-ით მეტი, ვიდრე ელექტროდის დიამეტრი. არსებულ ღრეჩობიდან ნამწვი აირებისა და აღის ამოსვლის თავიდან აცილების მიზნით, სპეციალური შემაჰვიდრობელი რგოლები იხმარება, რომელსაც ეკონომიხერები ეწოდება. არსებობს სამი კონსტრუქციის ეკონომიხერი: თაღზე დაყრდნობილი, ბერკეტზე დაკიდებული და თაღში შეჰვიდრობელი. აღნიშნული შემაჰვიდრობელი რგოლების გაციეება წყლით წარმოებს. ეკონომიხერსა და ელექტროდს შორის დარჩენილ მცირე ღრეჩოს ავსებენ ცეცხლგამძლე ბეტონით ან მინის ბაშბით.

ამჟამად დიდი მოცულობის ლუმლებზე ძირითადად აირდინამიკური შემაჰვიდრობელი რგოლები იხმარება. ჰერის ჭავლი, რომელიც რგოლს მალაღი წნევით მიეწოდება, ნამწვი აირებს ან ალა არსებულ ღრეჩოში გარეთ გამოსვლის საშუალებას არ აძლევს.

თანამედროვე ელექტროლუმლებში სამუშაო სარკმელი მზადდება წყლით გაბაცივებელი. დიდი ტევადობის ლუმლებს სარკმლები თალიანია. ფარის კარგად მიბჯენს მიზნით, სარკმლის წინა ნაწილი ვერტიკალურ სიბრტყესთან 2—8°-ით დახრილი მზადდება. სარკმლის ფარები შესაძლოა დამზადდეს ცეცხლგამძლეამონაგიანი, წყლით გაბაცივებელი ან კომბინირებული. სითბოს შეღარებით მცირე დანაკარგებია ამონაგიანი და კომბინირებული ფარების შემთხვევაში. ამასთან მათ შეღარებით დიდი წინა აქვთ, რაც იწვევს მძლავრი ამქრავის გამაუქნების აუცილებლობას. ამიტომ უფრო ხშირად წყლით

გამაცივებელი ფარები იხზარება. ფარის ასაწევი მექანიზმი შესაძლოა იყოს პნევმატიკური, ჰიდრაულიკური ან ელექტრომექანიკური. ასაწევი მექანიზმის ამძრავის სიმძლავრის შესამოქმედებლად ძირითადად საპირწონეს ხმარობენ.

სამუშაო სარკმლის მოპირდაპირე უკანა მხარეს (ლუმის ძროსა და გარსაცმზე) ცეცხლგამძლეაქონაგიაანი (შპოტის აგურით) საჩამოსხმო ღარი მაგრდება.

ელექტრომაგნიტური არევის მოწყობილობა. დიდი ტევა-დობის ელექტროლუმენებში თხევადი ლითონის არევა გაჩნელებულია. ამიტომ აბაზანის არევის ტუმბოჯოჯესებისათვის, რაც იწვევს მინარეგების თანაბარ ვანაწილებასა და ტემპერატურის გათანაბრებას. ვამოიყენება ელექტრომაგნიტური მოწყობილობა. ამ უკანასკნელის მოქმედების პრინციპი ის არის, რომ თხევად ლითონზე მოქრავი მაგნატური ნაკადის ზეგავლენას აბაზანა მოქრავაში მოჰყავს. ეს უკანასკნელი სტატორის მეშეობით იქნება, რომელიც ლუმის ძირშია მოთავსებული. სტატორი შედგება ორი გრავნილისაგან, ერთი მათგანი გაყოფილია ორ ნაწილად. თითოეული მათგანი ცალ-ცალკე იკვებება დაბალი სიხშირის ერთფაზიანი ცვლადი დენის ორი ვენერატორიდან. გაყოფილი გრავნილის ორივე ნაწილი სტატორის ნაპირებშია მოთავსებული, ხოლო გაყოფილი ნაწილი — მათ შორის. მათში დენის გატარება იწვევს მორბენალი მაგნიტური ნაკადის წარმოქმნასა და თხევადი ლითონის გარკვეული მიმართულებით მოწესრიგებულ მოქრავას. თანაჰედროვე 100 ტონიანი ლუმების სტატორის სიმძლავრე 560 კვა-ს აღწევს, 200 ტონიანი ლუმებისათვის 1100 კვა-ს.

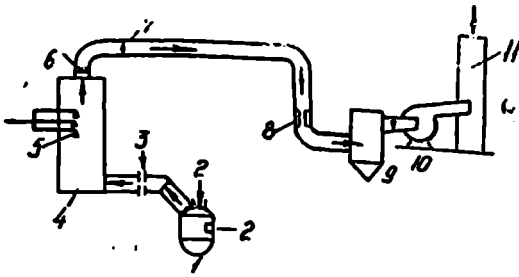
კაზმის ჩასატვირთი ბადია. არსებობს კაზმის ჩატვირთვის ორი სქემა: 1) ჩასატვირთი ფანჯრიდან მულდებით ჩამტვირთავ მანქანებისა და 2) ზემოდან სპეციალური ბადიების მეშეობით, ჩატვირთვის პროცესში ამონაკი გაცილებით მცირედ ცივდება, რადგანაც ჩატვირთვა ერთ ან ორი ოპერაციით მიმდინარეობს. ეს კი თავისთავად იწვევს დნობის ხანგრძლივობის შემცირებას, ლუმის მოცულობის ეფექტურ გამოყენებასა და ელექტროენერგიის ეკონომიას.

ზემოდან ჩატვირთვის პროცესში ლუმის თალი მაღლა იწვეს და პორიზონტალურ სიბრტყეში ელექტროდებთან ერთად გარკვეული კუთხით ბრუნდება ამგვარად, ლუმის სამუშაო სივრცე ზემოდან სრულიად ღიაა, სადაც კაზმით დატვირთული ბადია მიიტანება.

ბადია წარმოადგენს ფოლადის ცილინდრს, რომლის ძირში მოთავსებულია მოქნილი სექტორები. ეს უკანასკნელი ერთმანეთთან ბაგირით ან გრეიდერულ საკეტის მეშეობით არიან შეკავშირებულნი. ლუმელში ჩაშვებული ბადიას ძირი იხსნება და კაზმი ჩაიტვირთება იმ თანამიმდევრობით, როგორც თვით ბადიაში იყო განლაგებული.

გამავალი აირების გაწმენდის სისტემა. ელექტროლუმენებში ფოლადის დნობის პროცესში დიდი რაოდენობით გამოიყოფა ნაშვვი აირი და მტვერი. ამასთან დაკავშირებით აირის დამტვერიანება 70 - 100 გ/მ³ აღწევს, მაშინ როცა სანიტარიული ნორმების მიხედვით ეს სიდიდე 100 მგ/მ³-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ამიტომ აუცილებელია გამავალი აირების გასუფთავება. ბოლო წლებში ყველაზე დიდი გავრცელება აირების გაწმენდის სისტემის სველმა ხერხმა პოვა (ნ.ხ. XVI. 4).

ლუმლიდან ნაწვეი აირები თაღში მოთავსებული სპეციალური ხერხის



ნახ. XVI.4. აირის გასაწმენდი სისტემის სქემა: 1—ელექტროლუმენა 2—აირის შემოქოვი; 3—აირის შუქვის სარეგულირებელი ფარი; 4—აორთქლების კამერა; 5—წყლის მიწოდებელი; 6—ოფრო-მოწყველები; 7—სარეგულირებელი ფარი; 8—ვენტური მილი; 9—სარტყი; 10—კვამლგამწოვი; 11—საკვამური მილი.

დენობა თერაოწყვილების ჩვენების მიხედვით რეგულირდება. გაცივებული აირი ვენტურის მილის გავლით მტერისაგან წყლით სუფთავდება და წყალნარევი აირი სკრუბერებისაყენ (სარეცისაყენ) მიემართება. ეს უკანასკნელი კერამიკის წყობურებითაა ამოგებული. წყობურების გავლისას აირი სუფთავდება სველი მტერის ნაწილისაგან და გასუფთავებული სახით საკვამური მილისაყენ მიემართება.

ლუმენის ამონაგო ძირითადად შედგება: ქვედის, კედლებისა და კამარისაგან. შესაძლოა ღუმელი ამოგებულ იქნეს ფუძე ან მთავე ამონაგით.

ლუმენის ამონაგო განიცდის ელექტროკალის გამოსხივების ზემოქმედებას, გარდა ამისა, თხევადი ლითონისა და წიღის ზემოქმედებით გამოწვეულ რღვევას (ამოქმას) და ჩატყარავისას ტემპერატურის ცვლილებით გამოწვეული თერაული ძაბვების ზეკავლენას. ანტიომ ამონაგისაყენის გამოყენებული ცეცხლგამძლე შასალები უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი თერაომქმედგობით, ცეცხლქმედგობით, სიმტკიცითა და ქიმიური მდკრადობით (განსაკუთრებით თხევადი წიღის მიმართ).

ლუმენის ქვედი რამდენიმე ფენისაგან შედგება: ლითონის გარსაცმზე ფურცლოვან აზბესტს აფენენ, რამელზედაც უშუალოდ თავსდება შამოტის ფხვნილი, ხოლო შემდეგ კეთდება შამოტის აგურის ორი წყობა და ფუქე აგურის (მაგნეზიტის) ფენა. მაგნეზიტის აგურებს აწყობენ მშრალად, ერთმანეთთან ძალზე მორკებულად, მათ შორის ღრეჩოები მაგნეზიტის მშრალი ფხვნილით ივსება. მაგნეზიტის წყობაზე ტყეპნიან მაგნეზიტის ფხვნილს, ფისისა და სქელჟისის ნარევის 200 მმ სისქის მუშა ფენას, ამგვარად, ქვედის საერთო სისქე დიდტრანაყენა ღუმლებში თითქმის აბაზანის სიმალღეს უტოლდება და 1 მ-მდე იღწევის. ფურცლოვან აზბესტისა ფენის შემდეგ ღუმლის კედლები შამოტის აგურებით ამოიგება, რომლის შემდეგაც მოდის გამოუმწვარი ქრომმაგნეზიტის 430 მმ იანი აგურებით ამოგებული ფენა. კედლების მდკრადობა 100—150 დნობას იღწევის, ხოლო ქვედისა—1—2 წელს.

ყველაზე რთულ პირობებში მუშაობა ღუმლის კამარას უხდება, რომელიც დიდ თბურ დატვირთვებს განიცდის (ჩკალისა და წიდიდან არეკლილი სითბოსაგან). კამარა ქრომმაგნეზიტის აგურებისაგან მზადდება. განივკვეთში კამარას თაღის ფორმა აქვს, რაც უზრუნველყოფს აგურებს შორის მქიდრო

მეშვეობით გაციანება. ღუმელში წინა ფანჯრიდან და თაღიელექტროდებსა და ამონაგს შორის არსებულ ღრეჩოებიდან შეიწოვება ჰაერი. ეს უკანასკნელი თავისთავად ხელს უწყობს აირში შეშავალი კომპონენტების ბოლომდე წვას. აორთქლების კამერაში აირის გასაყივებლად სპეციალური საქმენების მეშვეობით მიეწოდება წყალი, რომლის რაო-

კავშირს. კამარის მდგრადობა 50—100 დნობას შეადგენს. ეს უკანასკნელი დნობის ელექტრულ რეჟიმებსა, ღუმელში თხევადი ლითონის დაყოვნების ხანგრძლივობასა და გაქოლნობილი ლითონისა და წილის ქიმიურ შედგენილობაზეა დამოკიდებული. ფუქე ღუმლების კამარის სისქე 230—460 მმ შეადგენს, რომელიც მართკუთხა და სოლისებრი აგურებითაა აწყობილი. მასში მოთავსებულია ელექტროდებისათვის სამი და ღუმელიდან ნამწვი აირების გასაყვანად ერთი ხვრელი. მეავე ღუმლების ამონავი დინასის აგურებისაგან იწყობა.

ელექტროდები. ელექტროლუმების ელექტროდები დაბალნაკოვან ნახშირბადიანი მასალებისაგან მზადდება: ნავთობის კოქსი, ფისი და სქელფისი. ძირითადად მათი დიამეტრი შესაძლოა 100-დან 610 მმ-მდე იცვლებოდეს, ხოლო სიგრძე 1500 მმ-მდე. წინასწარ შერეული და დაწნეხილი საელექტროდე მასა 1300°C იწვება, ხოლო შემდგომ ~2500°C აწარმოებენ მის დამატებით გამოწვას. ექსპლუატაციის პროცესში იგი იქანება, იწვის და იშლება, რის შედეგადაც იხარჯება და დროთა განმავლობაში მისი სიგრძე მცირდება. ამასთან დაკავშირებით წარმოებს ელექტროდის დაბლა დაშვება. გარკვეული დროის განმავლობაში საჭიროა მისი დაგრძელება, რისთვისაც ელექტროდის ბოლოებზე გათვალისწინებულია ხრახნიანი ნახვრეტები. ამ ნახვრეტებში ჩახრახნება ნიპელი, რითაც წარმოებს ელექტროდის ცალკეული სექციების ერთმანეთთან შეერთება.

§XVI.3. ელექტროდნობისათვის მასალების მომზადება

ფოლადის ელექტროდობისათვის ძირითად ნედლეულს ფოლადის ჯართი, გაღასამუშავებელი თუჯი, წილის წარმომქმნელი ეანგეულები (ფლუსები), დამანახშირბადიანებლები (კარბიურბატორები), განმეანგველები და მალეგირებელი მასალები წარმოადგენს. გარდა აღნიშნულისა, ხშირად იყენებენ რკინის პირდაპირი აღდგენის პროდუქტს—ლრებლოვან რკინას. ბოლო წლებში ფართოდ გამოიყენება მოლითონებული გუნდები.

ელექტროლუმებში 1 ტონა მზა ფოლადზე ლითონის ჯართის ხარჯი 0,7—1,2 ტონას შეადგენს. ლითონური ჯართით ქარხნების მომარაგება შესაძლოა მოხდეს ან დამამზადებელ ობიექტებიდან ან თვით საწარმოს წუნისა და ნარჩენების ხარჯზე. ჯართი შესაძლოა იყოს არალეგირებული და ლეგირებული. აუცილებელია მათი ცალკე დახარისხება და სუფთად შენახვა, რადგანაც ქუქუი და ეანგი იწვევს მასში შემავალ მალეგირებელ ელემენტების კარგვასა და წუნს. ჯართში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობა 0,04—0,05% არ უნდა აღემატებოდეს. გაბარიტების მიხედვით ჯართი არის წვრილი, საშუალო და მსხვილი. წვრილი და მსუბუქი ნაწილი ~15%-ს უნდა შეადგენდეს; საშუალო ~45%-ს და მსხვილი ნაწილი ~40%.

რიგი სიიარალო და უქანავი ფოლადების გამოდნობისათვის კაზმის ლითონურ ნაწილად ძირითადად მარტენის ან ელექტროლუმებში წინასწარ გამოდნობარი რბილი რკინა ($\leq 0,10\% C$; $0,4\% Mn$; $\leq 0,025\% P$ და $\leq 0,025\% S$) გამოიყენება.

ფუქე ელექტროლუმებში თუჯის ხარჯი ლითონური კაზმის მასის 10—20% არ აღემატება, რაც აიხსნება მასში შემავალი ელემენტების (Si, Mn) დაეანგვითა და დიდი რაოდენობით წილის წარმოქმნით. ეს უკანასკნელი ხელს უშლის პროცესის ნორმალურად წარმართვას. გამოიყენება აგრეთვე გაღასამუშავებელი თუჯები.

ლითონის დანახირბადიანებისათვის ძირითადად გამოიყენება კოქსი და ელექტროლას ნაქსხვრევეები, რომლებიც დაბალ ნაცრიანობითა და გოგირდის მცირე შემცველობით ხასიათდებან. წიდის გასაქანგავად ხის ნახშირი ან დაფხვილი კოქსი იხმარება.

ფუძე ელექტროლუმლებში სასურველი ქიმიური შედგენილობისა და თვისებების შქონე წიდის შექნისათვის კირკვას, ახალგამომწვარ კირს, მლზობ შპატს, ბოქსიტსა და შამოტის ნამსხვრევეებს იყენებენ

დამქანველებად ძირითადად რკინის მადანს იყენებენ; აგრეთვე შესაძლებელია აკლოპერატის, გუნდებისა და სხვ. გაშოყენებაც.

განმქანველებად და მალეგირებლებად ფეროშენადნობები გამოიყენება; იშვიათად სუფთა ლითონებიც.

საკაზმე მასალებში ტენის რაოდენობა მინიმუმს უნდა აღწევდეს, რადგანაც მზა ფოლადში იგი ზრდის წყალბადის შემცველობას; გარდა ამისა, დნობის პროცესში იწვევს წიდის ენერგიულ აქაფებასა და ლუმლიდან ლითონისა და წიდის ამოშხეფვებს. აპიტომ მასალები ლუმელში ჩატვირთვის წინ უნდა გაზოიწვას ან გამომრეს სპეციალურ ლუმლებში, საიდანაც მასალები ლუმლის მულდებით ან ბრტყელი კოლოფებით მიეწოდება. მათი გამოწვა 500 - 900°C მიმდინარეობს. ფეროშენადნობებს განტურება წინასწარ 800°C ტემპერატურაზე წარმოებს.

ელექტროლუმლებში ფოლადის გამოდნობა შესაძლოა ძირითადად სამი მეთოდით განხორციელდეს: 1. ახალი კაზმის გადნობით მასში არსებული მინარევეების დაქანგვით; 2. ლეგირებული ნარჩენების გადადნობით მასში არსებული ელემენტების დაქანგავად და 3. ლეგირებული ნარჩენების გადადნობით მასში არსებული ელემენტების დაქანგვით.

პირველ შემთხვევაში დამქანგველად დნობის პროცესში რკინის მადანი ან სუფთა ქანგბადი გამოიყენება.

§ XVI.4. ფოლადის დნობა ფუძე ელექტროლუმლებში

ფოლადების დნობა რკალურ ელექტროლუმლებში შემდეგი პერიოდებისაგან შედგება: 1) ლუმლის გაწოზა (შეკეთება); 2) კაზმის ჩატვირთვა; 3) დნობა; 4) დაქანგვის პერიოდი; 5) აღდკენის პერიოდი; 6) ფოლადის გამოშება.

ლუმლის გაწოზას იგივე დანიშნულება აქვს, რაც მარტენის ლუმელში—დაზიანებების შეკეთებას დნობის გამოშების შემდეგ. ძირითადად შეკეთებას განიცდის ქვედი და კედლები.

კაზმის ჩატვირთვა წარმოებს სპეციალური ბადიებისა და კალათების საშუალებით, სადაც კაზმი განლაგებულია გარკვეულ ფენებად: ძირში ათავსებენ ჯართის წვრილ ნაწილს (რათა ლუმლის ქვედი დაცულ იქნეს ჯართის მიმე ნაჭრების დარტყმებისაგან), შუაში—მსხვილ ჯართს, რომლის პერიოდებში საშუალო ჯართია მოთავსებული. ზემო ფენას კვლავ დარჩენილი წვრილი ჯართი წარმოადგენს. კოქსის და ელექტროლის ნამსხვრევეებს მსხვილი ჯართის ქვემოთ ათავსებენ.

მსხვილი, საშუალო და წვრილი ჯართის ოპტიმალური შეფარდება შემდეგია: 15% წვრილი, 40% მსხვილი და 45% საშუალო. ასეთი ფარდობა უზრუნველყოფს ლუმელში ჯართის მკვრივ განლაგებასა და საშუალო სივრცის სრულყოფილად ათვისებას.

გადნობის პერიოდი შეიცავს მთელი დნობის ძირითად დროს, რაც განსაზღვრავს ლუმლის წყარმ იებლურობას. ჩატვირთვის დამთავრების შემდეგ ელექტროდებს დაბლა დაუშვებენ და დენს ჩართავენ. ამ დროს წარმოქმნილი ელექტროლი რკალია ელექტროდების ქვეშ კაზნი ხვრდება, დნება, თანდათანობით ჩაეღინება ქვევით და ლუმლის ქველზე გროვდება. ელექტროდები კაზმში თანდათანობით კრიან ღრმულება, როპლებშიც რკალი იმალება. ელექტროდების დაშება მანამ მაშინარეობს, სანამ ელექტროდების ბოლოები არ მიაღწევს ქვემო უკიდურეს მდებარეობას.

დაახლოებით 5—15 წუთის განმავლობაში რკალი ღიად ანთია, რაც უარყოფითად მოქმედებს კაზარისა და კედლების ზღვრალობაზე რკალის ნაწილობრივი დამალვის შემდგომ კაზარასა და კედლებზე მისი თბური ზეგავლენა მინიმუმამდე ეცემა. ამატომ ამ დროს მიყვანილი სიმპლავრე მაქსიმალურია. დიდი ტევადობის ლუმლებში დნობის პერიოდის შესამკირებლად (მალა ამოწეული ელექტროდების მდებარეობაში) ერთი მიმართულებით მოაბრუნებენ ლუმელს 40-ით. შემდეგ 8⁰-ით საწინააღმდეგო მიმართულებით. დნობის პერიოდში წილის წარმოსკენულად ელექტროდებს ქვეშ კირს აწოდებენ. წარმოქმნილი წილა იცავს თბევალი ლითონის აბაზანას ატმოსფეროს ქანგბადის მავნე გავლენისა და დუქანკვისაკან. დროთა განმავლობაში თბევალი ლითონის რაოდენობა დიდდება და მისი დონე ლუმელში თანდათან მატულობს. ამასთან ელექტროდები ავტომატური რეკულარებით ზემოთ იწეეს. გადნობის პერიოდების ხანკოდლიეობა 1—3 საათს აღწეეს. ამ პერიოდში ტრანსფორმატორი მთლიანი დატვირთვითა და 15% გადატვირთვითაც კი მუშაობს.

დნობის პერიოდის შემკირების ეფექტუროსაშუალეობას წარმოადგენს ლუმელში აირადი ქანგბადის გამოყეება, რომლის მიწოდება საშუალო ფანჯრიდან ან კაზარაში მოთავსებული სპეციალური საკმინების მეშეეობით წარმოებს. ამით ელექტროენერჯის ხარჯი 1 ტ ფოლადზე 60—70 კილოვატ-საათით მკირდება.

ქანგვითი პერიოდი. მინარეეების დაქანგვა ლუმელში კაზმის გადნობის პერიოდლიდან იწყება. დაქანგვის პერიოდის დანიშნულებას წარმოადგენს: ლითონის გადახუება დნობის ტემპერატურიდან ~120—130⁰C-ით, თბევალი ლითონიდან ფოსფორის მოცილება და მისი დაყვანა 0,01—0,015%-მდე, აზოტისა და წყალბადის შემკველობის შემკირება. ფოლადში მინარეეებს ქანგვენ მყარი (რკინის მადნით, რკინის ხენჯით, ავლომერატით) ან აირად (ქანგბადი, ჰერი) დამქანგველებით. რაც მეტია კაზმის ზედაპირი (ე. თ. რაც მკირება კაზმის ნაკრები), მით მეტია თბევალი ფოლადლიდან მინარეეების ქანგვა.

ლუმელში ლითონის ქანგვა მადნის მიწოდებით იწყება. რკინის ქვექანგი წილაში კარკად იხსნება და მას ამდიორებს ქანგბადით. გახსნილი ქანგბადი გადადის ლითონის აბაზანაში. სადაც იგი რეაგირებს მასში მყოფ ნახშირბადსა ($[C] + [O] = [CO]$) და მინარეეებთან. ამის შედეგად ინტენსიურად წარმოიქმნება ნახშირქანგის ბეშტულები, რაც იწვევს წილის ფენის აქეფებას. ამ უქანასკენლის დონე იზრდება და იგი გადმოდის საშუალო ფანჯრების ზღურბლიდან. წილის სწრაფი მოცილებისათვის გარკვეული კუთხით (ფანჯრებისაკენ) ლუმელს დაზრიან, რის შედეგადაც წილა ჩისხმება საწილე ციხეში, რომელიც საამკროს საშუალო აიენის ქვეშა მათავსებული. ქანგვით პერიოდში ქანგვება $-0,3 \pm 0,6\%$ ნახშირბადი აბლა წილაშ შექმნისათვის რკინის მადანთან ერ-

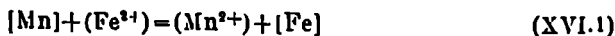
ბად ლუმელში შეაქვთ კირი, მლხობი შპატი და შამოტის ნამსხვრევები (ან ბოქსიტი). მათი ფარდობა, შესაბამისად, დაახლოებით შემდეგია 5:1:1. მოხდილ წიდაში გახსნილია ფოსფორის ღიდი რაოდენობა, რომელიც წიდასთან ერთად ლუმელის აჩეს ცილდება.

ახალი წილის შექმნის შემდეგ ლუმელში პერიოდულად რკინის მადანსა და კირს აწოდებენ.

საკონსტრუქციო ნახშირბადიანი ფოლადების გამოღობის შემთხვევაში კახმის ვადნობის პერიოდში წილის შედგენილობა მიახლოებით შემდეგ ზღვრებში მდებარეობს: 35—45% CaO; 15—25% SiO₂; 10—15% MgO; 5—10% MnO; 4—7% Al₂O₃; 1—5% Fe₂O₃; 4—7% FeO.

აბაზანის უწყვეტი დაეანგვა და კირიანი დამქანგველი წილის მოხდა წარმოადგენს ფოსფორის მოცილების აუცილებელ პირობას.

ქანგვით პერიოდში მიმდინარეობს, აგრეთვე, მანგანუმის, სილიციუმის, ქრომისა და ნახშირბადის ამოწვა (დაეანგვა). ლითონიდან მანგანუმის დაეანგვა და წიდიდან მისი აღდგენა, ჩვეულებრივ, ლითონ-წილის გამყოფ ზედაპირზე მიმდინარეობს:



ან



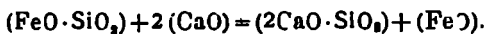
ტემპერატურის ზრდა ხელს უწყობს წიდიდან მანგანუმის აღდგენას, ე. ი. დაბალ ტემპერატურაზე მანგანუმი დაიქანგება. დაეანგვის პერიოდში სილიციუმის დაეანგვა სითბოს საგრძნობი რაოდენობის გამოყოფით მიმდინარეობს ($2[O] + [Si] = (SiO_2) + Q$).

ფოლადის დეგაზაცია დაეანგვის პერიოდში მიმდინარეობს: CO ს ბუშტულები (სადაც აზოტისა და წყალბადის წნევა ნულის ტოლია) გამოიღვენება ლითონის მოცულობიდან.

CO-ს ბუშტულების მოცილება იწვევს, აგრეთვე, ლითონის გასუფთავებას არალითონური ჩანარებისაგან, რომლებიც მიეკვრებიან ბუშტულის ზედაპირს და მასთან ერთად თხევადი ლითონის ზედაპირისაკენ წარიტაცებიან. თხევადი აბაზანის კარგი დუღილი უზრუნველყოფს მის მთელ მოცულობაში ქიმიური შედგენილობისა და ტემპერატურის გათანაბრებას.

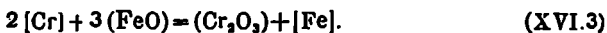
დაეანგვის პერიოდი დაახლოებით 1—1,5 საათი გრძელდება. კაემიწა წიდაში (FeO·SiO₂)-ის სახის სილიკატებს წარმოქმნის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფუძე წილებში რკინის სილიკატი არამდგრადი ნაერთია და, ისე როგორც სხვა ფოლადსადნობ პროცესებში, აქაც FeO გამოიღვენება CaO-ს მეშვეობით და წარმოიქმნება კალციუმის სილიკატი შემდეგი რეაქციით:



ამგვარად, წიდაში მთელი კაემიწა CaO-თანაა შეერთებული.

ქრომის ქანგვა-აღდგენითი რეაქციები მიმდინარეობს ლითონ-წილის გამყოფ ზედაპირზე



რკინის ქანგვულთან ქრომის ქანგი წიდაში წარმოქმნის ძნელადმდნობ შპინელებს, რომლებიც ფოლადის ელექტროდნობის წილებში სალი ჩანარების სახით მდებარეობენ.

ნახშირბადის დაქანგვის სიჩქარე ძირითადად დამოკიდებულია აბაზანაში ქანგბადის მიყვანის სიჩქარეზე. ეს უკანასკნელი მიიღწევა ლითონის აბაზანაში აირადი ქანგბადის შეყვანით. ქანგბადით გაქრევის შემთხვევაში ნახშირბადის ამოწვის სიჩქარე საათში 1,5—2,0% აღწევს, მაშინ როდესაც ჩვეულებრივ პირობებში ეს სიჩქარე საათში 0,3—0,5% არ აღემატება.

ამ დროს ლითონის გადახურების თავიდან ასაცილებლად ლუმელში შეაქვთ ფოლადის ჯართის გარკვეული ულუფები.

დაქანგვის პერიოდი მთავრდება, როდესაც ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა ოპტიმალურს მიაღწევს, ხოლო ფოსფორი კი $\leq 0,01\%$. ქანგვის პერიოდის ბოლოს ლითონის ზედაპირიდან აუცილებელია წილის მაქსიმალური მოხდა, რათა არ მოხდეს წიდიდან ლითონში ფოსფორის გადასვლა.

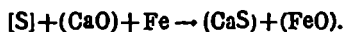
აღდგენითი პერიოდი დაქანგვის პერიოდის დამთავრებისთანავე იწყება. ამ დროისათვის ლითონი გოგირდის შედარებით მაღალ კონცენტრაციას შეიცავს, ვიდრე მზა ფოლადშია დასაშვები. ყოველივე ეს გამოწვეულია იმით, რომ ქანგვით პერიოდში არ არის შექმნილი თხევადი ლითონის ღრმა დესულფურაციის პირობები. დუღილის პროცესში აბაზანაში ქანგბადის შემცველობა საგრძნობლად მაღალია. ამიტომ გამოშვების, ჩამოსხმისა და ბოყვებში კრისტალიზაციის პროცესებში კიდევ გრძელდება ნახშირბადის დაქანგვის რეაქცია. ნახშირქანგვის ბუშტულების გარკვეული რაოდენობა ლითონის სხმულში რჩება, რაც იწვევს მზა ფოლადის თვისებების გაუარესებას.

ამიტომ თხევად ლითონში გახსნილი ქანგბადის შემცველობის შემცირების მიზნით მას განქანგავენ ისეთი ელემენტების შეყვანით, რომელთაც ქანგბადთან აქვს შედარებით მაღალი ქიმიური სწრაფვა, ვიდრე წახშირბადსა და რკინას. გარდა აღნიშნულისა, აღდგენით პერიოდში წარმოებს თხევადი ლითონის ღრმა დესულფურაცია. ამასთან ლითონის შედგენილობა მოცემულობამდე დაიყვანება.

აღდგენითი პერიოდის დასაწყისში თხევადი ლითონის ზედაპირი იფარება ახლადშექმნილი წილისაგან, ამისათვის ლუმელში მიეწოდება წილის წარმოქმნელები: კირქვის, მლხობი შპატის, შამოტის ნატეხებისა და კვარციტის ნარევი. განმქანგველბად, ჩვეულებრივ, ფეროშენადნობებს იყენებენ. თანაშედროვე ელექტროლუმებში ფოლადების წარმოების პრაქტიკაში ლითონის აბაზანის განქანგვა (ისევე როგორც მარტენის პროცესში) ხორციელდება: 1) განმქანგველების უშუალოდ თხევად ლითონში შეტანით, რომელსაც „ჩადირვით“ განქანგვას უწოდებენ, და 2) განმქანგველების წიდაზე მიწოდებით, რომელსაც „დიფუზორ“ განქანგვას უწოდებენ.

ჩადირვით განქანგვის შემთხვევაში დამქანგველი წილის მოცილების შემდეგ ლუმელში მიეწოდება ფერომანგანუმი, ფეროსილიციუმი და ალუმინიდიფუზორ განქანგვის შემთხვევაში წიდაში მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციები: $(FeO) + [C] = [Fe] + [CO]$, $2(FeO) + [Si] = 2[Fe] + (SiO_2)$ და ა. შ.

გამოშვების პროცესში, როდესაც მიმდინარეობს ლითონისა და წილის ერთმანეთში კარგი შერევა, აქტიურად მიმდინარეობს ლითონის დესულფურაციის პროცესი შემდეგი რეაქციით:



ეს რეაქცია ენერგიულად მიმდინარეობს ფოლადისა და წილის კარგი განქანგვის შემთხვევაში, წიდაში CaO -ს მაღალ შემცველობასა და მაღალ ტემპერატურებში.

თხევადი ლითონის საბოლოო განქანგვას ციცხვში ფეროსილიციუმისა და ალუმინის ნაკრების შეტანით აწარმოებენ.

რაც უფრო სრულყოფილადაა წიდა განქანგული ლიფუზური განქნგვით, მით იგი თეთრი ფერისაა. წილის თეთრი ფერი იმის მაჩვენებელია, რომ მასში FeO-ს შემცველობა მინიმუმამდეა დასული. ასეთი წილები გაცივებისას ფხვნილად იშლებიან.

აღდგენითი პერიოდის ბოლოს თეთრი წილების შედგენილობა მიახლოებით შემდეგია: 53—60% CaO; 15—25% SiO₂; 7—25% MgO; 5—8% Al₂O₃; 5—10% CaF₂; 0,8—1,5% CaS; <0,5% FeO და <0,5% MnO.

ელექტროლუქში ფოლადის დნობისას აღდგენის პერიოდში, თეთრი წილების მეშვეობით, გაცივებით სრულყოფილად მიმდინარეობს ფოლადების დესულფურაცია, ვიღრე სხვა რომელიმე ფოლადთან აკრეგატებში. ეს აიხსნება ამ პერიოდის წილის ძალიან ფუძიანობით (CaO:SiO₂=2,7—3,3) და FeO-ს დბალი შემცველობით. ფუძეამონაგვიან ელექტროლუქებში შესაძლოა ფოლადიდან გოგირდის მოცილება პროცენტის შეათასებლ წილამდე.

აღდგენითი პერიოდის ხანგრძლივობა 40—120 წუთს შეადგენს. გამოშვების 10—20 წუთით ადრე სილიციუმის შემცველობის მიხედვით აწარმოებენ ფოლადის კორექტირებას.

ხშირ შემთხვევაში აღდგენით პერიოდს აწარმოებენ კარბიდული წილის ქვეშ. ამისათვის პერიოდის დასაწყისში შექმნილ წილას კოქსით განქანგავენ (2—3 კგ ტ), ასეთ პირობებში ელექტრორკალის ზონაში მიმდინარეობს რეაქცია



წარმოქმნილი კალციუმის კარბიდი წარმოადგენს ენერგიულ განქანგველს და მისი არსებობა ეფექტურად მოქმედებს დესულფურაციაზეც. კარბიდული წიდა შეიცავს 1,5—2,5% CaC₂-ს. ასეთი წილის ქვეშ თხევად ლითონს 40 წუთამდე აყოვნებენ, რის შემდეგაც წიდა გადაყავთ „თეთრში.“ ეს უკანასკნელი მიიღწევა ღუმელში ჰაერის შეყვანითა და ფეროსილიციუმით წილის განქანგვით. ფეროსილიციუმს კირთან ერთად ყოველ 8—10 წუთში ულუფებად აწვდიან. კარბიდული წილის გადაყვანა თეთრ წიდაში აუცილებელია, რადგანაც კარბიდული წილის ქვეშ ლითონის გამოშვებისას მიმდინარეობს წილის ნაწილაკებით ლითონის გაქუქიანება.

§ XVI.5. ფოლადის დნობა მშავე ილემტროკალურ ღუმლებში

ისევე, როგორც მარტენის მშავე ღუმლები და კონვერტერები, ელექტრორკალური მშავე ღუმლები ამოიგება ძირითადად სილიციუმის შემცველ ციცილგამძლე მასალებით. ფუძესთან შედარებით ასეთ ღუმლებს აქვს რიგი უპირატესობანი: 1) მშავე ციცილგამძლე მასალები, ფუძესთან შედარებით, ნაკლებ თბოგამტარია; 2) მშავე წილები ხასიათდება დაბალი ელექტროგამტარობით, რის შედეგადაც ელექტრორკალი მშავე ღუმლებში მოკლეა და სიმძლავრის ნაწილი გამოიყოფა უშუალოდ წიდაში (ამით მიიღწევა ლითონის სწრაფი გახურება); 3) მშავე ამონაგი ხასიათდება შედარებით მაღალი მდგრადობით; 4) ელექტროენერგიისა და წილის წარმოქმნილი მასალების დაბალი ხარჯი, დნობის მცირე ხანგრძლივობა და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაღალი მაჩვენებლები.

მშავე ელექტროლუქების უარყოფით მხარედ უნდა ჩითვალოს ფოლა

დიდან გოგირდისა და ფოსფორის მოცულების პრაქტიკულად შეუძლებლობა, რომელთა შემცველობაც მზა ლითონში განისაზღვრება საკაზზე მასალებში შათი შემცველობით. ამიტომ ზევე ელექტროდუმლებში აუცილებელია მცირე-ფოსფორიანი და მცირეგოგირდიანი საკაზზე მასალების გამოყენება.

აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ უხვმანგანუმიანი ფოლადების გამოღობის შემთხვევაში ამონაგვიდან დიდი რაოდენობით აღდგება სილიციუმი, ამ შემთხვევაში სილიციუმის შემცველობამ მზა ფოლადში შესაძლოა დასაშვებს გადააქარბოს.

ზევე ელექტროდუმლები ძირითადად გამოიყენება ფოლადისა და კედადი თუჯის ნაკეთობების სამსხმელო წარმოებაში. ასეთ სააქრობებში დასაშვებია ორცილიანი საშუალო დღე და ღუმლის პერიოდული მუშაობა. ფუძესთან შედარებით ზევე ღუმელში გამოდნობილი ფოლადები ხანიათდება დაბალი პლასტიკური თვისებებით, რაც განპირობებულია ლითონში უხვილიციუმისიანი არალითონური ჩანართების არსებობით.

ზევე ელექტროდუმლებში დნობის ტექნოლოგიის თავისებურებას წარმოადგენს ქანკეთი პერიოდის მცირე ხანგრძლივობა. ამასთან დღილი მდოვრად მემდინარეობს, რადგანაც წილაში არსებული სილიციუმი იერთებს ენგბადის იონებს და წარმოქმნის რთულ ქიმიურ მუგრად ნაერთს, რის შედეგადაც წილიდან ლითონში ქანგბადის გადასვლის სიჭკარე საკანობლად ეცემა. ეს უქანასკნელი კი თავისთავად ანელებს ნახშირბადის ამოწვის სიჭკარეს. წილის წარმოქმნა ძირითადად ღუმელში კვარციის სილის შეტანით წარმოებს. ზევე წილებში კალციუმის ქანგის შემცველობა მის უნდა აღემატებოდეს.

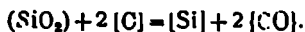
ზევე ელექტროდუმლებში დნობის პერიოდი 70 წუთს გრძელდება და ისევე მემდინარეობს, როგორც ფუძე ღუმელებში. ამ დროს მემდინარეობს სილიციუმის, მანგანუმის, რკინისა და ნახშირბადის ქანგვა, რომლებიც ქანგეულების სახით უერთდებათ ერთმანეთს და წარმოქმნიან თხევად წილას. წარმოქმნილია ფუძე ქანგეულები რეაგირაზს ცეცხლაკაქვე ამონაგის მასალასთან და იწვევს მათ წყობადან გამოყვანას. რადგანაც დნობის პერიოდში ქანგეულების რაოდენობა მცირეა, ამიტომ თხეველი ლითონის აბზანის ზედაპირის დასაზარავად ღუმელში მიეწოდება წინა დნობის წილას ნარჩენები, მშრალი სილა, საყალბე მიწა და კირქვა დნობის პერიოდის ბოლოს წილა შეიცავს: 40—50% SiO_2 , 10—30% MnO , 15—30% FeO , 2—6% Al_2O_3 და 5—15% სხვა ქანგეულებს.

დაქანგვის პერიოდის ძირითად ამოცანებს შეადგენს: ლითონის გახურება სასურველ ტემპერატურამდე, კარბი ნახშირბადის ქანგვა და ლითონის ნაწილობრივი დეგაზაცია.

ამ პერიოდში ნახშირბადი უმაჯრესად იქანგება წილაში არსებულ რკინის ქანგეულებს ქანგბადის მუშეობით. დღილის ინტენსიურად ჩატარებისათვის ღუმელში მიეწოდება რკინის მადნის გარკვეული რაოდენობა (0,2% ლითონის მასის). მერე რაოდენობა იწვევს ამონაგის რღვევას. აღდგენითი პერიოდის დასაწყისში წადის შედგენილობა ემთხვევა დნობის პერიოდის ბოლოს წილის შედგენილობას, ხოლო ქანგვითი პერიოდის ბოლოს წილა შეიცავს: 45—60% SiO_2 , 30—40% FeO და 15—25% MnO . ზევე წილებში რკინისა და მანგანუმის ქვექანგები უერთდება კანგიწასა და წარმოქმნის რკინისა და მანგანუმის სილიკატებს, რაც ამცირებს ლითონიდან ნახშირბადის ამოწვას.

წილის დაქანგვის უნარის გაღიდებისათვის მას უმატებენ კირქვის მცირე რაოდენობას. კალციუმის ქანგ იერთებს კარბონის ნაწილს და წარმოქმნის

კალციუმის სილიკატს. ამის შედეგად სილიკატიდან თავისუფლდება რკინის ქვეჯანკი. ფუძე წილა განუწყვეტლივ რეაგირობს ამონაგთან და მდიდრდება SiO_2 -ით. მისი შექცევლობა დაახლოებით 60% აღწევს. ეს უკანასკნელი საგრძნობლად ამცირებს წილის თხელდენადობას, ზრდის ბმულ რკინის ქვე-ჯანგის რაოდენობასა და დაბლა სცემს წილის ეანგვიტის უნარს. ამასთან უხე-სილიციუმიანი წილების არსებობა იწვევს წილიდან სილიციუმის აღდგენის რეაქციის განვითარებას:



ეანგვიტო პერიოდის ბოლოს სილიციუმის შემცველობა ლითონში 0,5%-მდე აღწევს. როდესაც ლითონში ნახშირბადის შემცველობა ახლა მო-ცემულ შემცველობასთან, რკინის მადნის დაპატებას ლუქელში წყვეტენ და იწყება სუთთა ღუილის პერიოდი, რომელიც 7—10 წუთს აღწევს. ეანგვიტო პერიოდის ხანგრძლივობა 20—40 წუთს შეადგენს.

თუ ლითონში სილიციუმის შემცველობა შედარებით მცირეა, ვიდრე მხა ფოლადშია საჭიროა, გამოშვებამდე 7—10 წუთით ადრე შეაქვთ ფერო-სილიციუმი. შემდგომ გამოშვების წინ 3—5 წუთით ადრე თხევად ფოლადს განუქანგავენ ფერომანგანუმის მეშვეობით. საბოლოო განუქანგვას აწარმოებენ ციხეში თხევად ლითონში აღუშინის შეტანით.

§ XVI. ფოლადის დნობა ინდუსტრიულ ლუგლავში

ინდუსტრიულ ლუგლებში ცვლადი ელექტრული ველი მიყავთ ინდუსტრო-რებთან, რომლებიც წარმოადგენს პირველადს გრაფიტის. ლითონში, რომე-ლიც ამ შემთხვევაში წარმოადგენს მეორეულ გრაფიტის, ინდუსტრიებს ცვლადი დენი, რის შედეგადაც გამოიყოფა სითბო.

ღია ელექტრორკალურ ლუგლებთან შედარებით ინდუსტრიულ ლუგლებს აქვს რიგი დადებითი თვისებები:

1. დნობის ჩატარების შესაძლებლობა ნებისმიერ საკონტრალო ატმოს-ფეროში (დამქანგველ, აღმდგენელ ან ნეიტრალურ), აგრეთვე ვაკუუმში;
2. დნობის წარმართვა აქტიური ელემენტების (V, W, Co, Mo, Al და სხვ.) მინიმალური ამოწვით;
3. ელექტროდინამიკური ენერგიული არევის შედეგად აბაზანის ქიმიუ-რი და ტემპერატურის მაღალი ერთგვაროვნობა;
4. აირების (განსაკუთრებით აზოტისა და წყალბადის) მინიმალური შემ-ცველობა (რადგანაც არ არის ელექტრული რკალი, რომლის შედეგადაც მი-ღება ატომიურილი აზოტი და წყალბადი);
5. თხევადი ლითონის ტემპერატურის ზუსტი ავტომატიზაცია და პრო-ცესის იოლი შექანიზაცია. ამასთან ისინი ხასიათდებიან რიგი უარყოფითი თვისებებით:

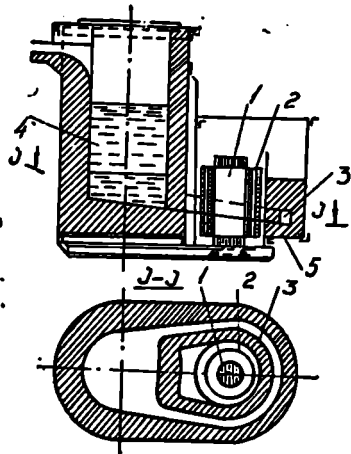
1. ინდუსტრიულ ლუგლებში წილის გადნობა მიმდინარეობს უშუალოდ თხევადი ლითონის მიერ გამოყოფილი სითბოთი; ამიტომ წილის დნობის ტემპერატურა 100—200°C-ით ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე ლითონისა. ამის შედეგად წილის მაღალი სიბლანტის შემთხვევაში მანვე მინარეგების მოცილე-ბის პროცესი გაძნელებულია;

2. შეზღუდული ტევადობა, ამონაგის დაბალი შედეგობა და გადამუშავე-ბის მაღალი ღირებულება;

3. ელექტრომოწყობილობისა და დანადგარის სიძვირე.

ინდუქციური ლუმენები არის: რკინისგულიანი და ურკინისგულიანი. რკინისგულიანი ლუმენები ძირითადად გამოიყენება ფერადი ლითონების გადასაღობად, აგრეთვე საჩამოსხმო წარმოებაში თუჯების გასაღობად და გადასახურებლად. ფოლადის წარმოებაში დიდი გავრცელება პოვა ურკინისგული ინდუქციურმა ლუმენებმა. განვიხილოთ მოკლედ თითოეული მათგანის აღნაგობა და მუშაობის პრინციპები.

რკინისგულიანი ინდუქციური ლუმენები. რკინისგულიანი ინდუქციური ლუმენებს შორის დიდი გავრცელება პოვა დახურულმა პორიზონტალურარაქებშია ლუმენებში. XVI 5. ნახაზზე ნაჩვენებია ასეთი ლუმენის სქემა. მათში ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილს ლითონი წარმოადგენს, რომელიც დნება არხებში გაპავალი თხევად ლითონში გამოყოფილი სითბოს მიერ. გადახურებული ლითონი არხიდან შატში ცირკულირებს; სადაც აღნობს კაზმს, რომელიც თანდათან დაბლა ეშვება. ფურცლოვანი ფოლადისაგან დამზადებული ცილინდრული შატი შეიგნაიდან ცეცხლგამქლე მასალითაა ამოგებული.



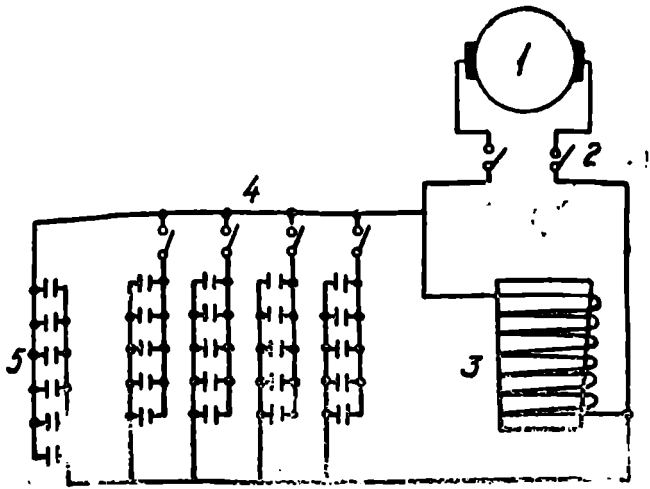
ნახ. XVI.5 დახურული პორიზონტალურარაქებში ინდუქციური ლუმენები: 1—გული; 2—პირველი გრაგნილი; 3—პორიზონტალური არხი; 4—კაზმი; 5—ქველს იფერო.

ასეთი ტიპის ლუმენების ვიწრო არხებში მყოფ თხევად ლითონში დენის გავლის შედეგად წარმოიქმნება სპეციფიკური ელექტროდინამიკური ეფექტი, ე. წ. მოტორული ეფექტი, რომელსაც ლითონი მოძრაობაში მოჰყავს. ლითონის ზედა ფენები შიშვლდება და ციფდება.

პორიზონტალურ დახურულარაქებში ინდუქციური ლუმენების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ვიწრო არხების ამონაგის დაბალი მდებარეობა, რაც გამოწვეულია მასში მაღალი ტემპერატურითა და ლითონის ინტენსიური მოძრაობით. გარდა ამისა, გამოშვების შემდეგ აუცილებელია დაეტოვოს $10-15^{\circ}$; თხევადი ლითონი ლუმენში, რათა შეექმნათ შემდგომი დნობისათვის შეკრული მეორეული გრაგნილი.

ურკინისგულიანი ინდუქციური ლუმენები. ასეთი ტიპის ლუმენებში ტიპური ლითონით მოთავსებულია ინდუქციური გრაგნილი, ე. წ. ინდუქტორში, რომელთანაც მიჰყავთ მაღალი სიხშირის ცვლადი დენი. ლუმენის ყოველ ტევადობასა და კაზმის მაგნიტურ ამთვისებლობას აქვს თავისი გარკვეული ოპტიმალური სიხშირე, რაც უზრუნველყოფს ლუმენის მარჯი კმედების კოეფიციენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

კაზმში აღძრულ დენს მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს მის ზედაპირზე. ამ ეფექტს ზედაპირული ეფექტი ეწოდება. ამიტომ სითბო ძირითადად გამოყოფა კაზმის მხოლოდ ზედაპირზე და დნობაც ზედაპირიდან იწყება. რაც



ნახ. XVI.6. ურკინის გულო ინდუქციური ღუმლის ელექტრული სქემა: 1—გენერატორი; 2—ამპრითელი; 3—ინდუქტორი; 4—კონდენსატორების ცვლილი ჯგუფი; 5—კონდენსატორების მუდმივი ჯგუფი.

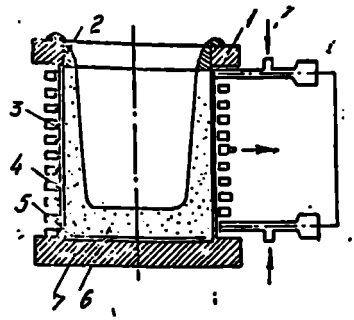
მეტია დენის სიხშირე, მით მეტია ზედაპირული ეფექტი და ლითონში მაგნიტური ნაკადის შეღწევალობის სიღრმე მცირეა. გარდა ამისა, ლითონის კუთრი წინააღმდეგობის ზრდა იწვევს მაგნიტური ნაკადის შეღწევალობის ზრდას. ლითონი და გრაფიტი წარმოადგენს ორ კონცენტრულად მოთავსებულ გამტარს, რომლებშიც დენი გადის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით. ამის შედეგად გამტარები ურთიერთ განიზიდება, ე. ი. წარმოიქმნება პინჩ-ეფექტი. ეს ეფექტი იწვევს ტიგლის შუა ნაწილში თხევადი ლითონის დონის მაღლა აწევას. ასეთ შემთხვევაში წილის ნაკადი მიემართება ტიგლის კედლებისაკენ. ლითონის ზედაპირის დაფარვისათვის აუცილებელია წილს რაოდენობის გაზრდა, რაც იწვევს ამონაგის მასალის მედეგობის შემცირებას.

ურკინის გულო ინდუქციური ღუმლების ელექტრული სქემა მოყვანილია XVI.6. ნახაზზე. გენერატორიდან ინდუქტორზე მაღალი სიხშირის ცვლადი დენი მიჰყავთ ამპრითელების მეშვეობით. წრედში ჩართულია კონდენსატორების ორი ჯგუფი. ერთი მათგანი (5) მუდმივადაა ჩართული, მეორე (4) პერიოდულად ირთვება. ეს უკანასკნელი საშუალებას იძლევა დნობის ყოველ პერიოდში შევქმნათ რეზონანსი. ერთი რეგენერატორიდან შესაძლოა ორი ინდუქტორის კვება, ე. ი. ორი ღუმლის ჩართვა. წარმოებაში მაღალი სიხშირის დენის წყაროდ მანქანური გენერატორები გამოიყენება. მათი სიხშირე დაახლოებით 10 000 ჰერცს შეადგენს. ლაბორატორიულ პირობებში უმთავრესად მილაკიანი გენერატორები გამოიყენება, რომელთა სიხშირე რამდენიმე ათას ჰერცს შეადგენს.

მსხვილ წარმოებებში რამდენიმე ასეული კილოგრამის ღუმელებზე გამოიყენება ძირითადად 100—150 ჰერცის სიხშირის მანქანური გენერატორები. რამდენიმე ტონიან ღუმელებზე შესაძლოა გამოიყენებულ იქნეს ნორმალური სიხშირის (50 ჰერცი) დენი.

XVI.7. ნახაზზე ნაჩვენებია ურ-

კინისგულო ინდუქციური ღუმლის სქე-
მა. ინდუქტორი წყლით გამაცივებელი
სპილენძის მილებისაგან მზადდება. ინ-
დუქტორიდან გამოსული გამაცივებელი
წყლის ტემპერატურა 30--40°C არ
უნდა აღემატებოდეს. წყლის შედარე-
ბით დაბალი ტემპერატურის შემთხვევა-
ში, ინდუქტორი აორთქლდება და წარ-
მოქმნილი წყლის წვეთებით შესაძლოა
მოხდეს ზოგე ჩართვა. გამოსული გა-
ცივებელი წყლის შედარებით მაღალი
ტემპერატურა იწვევს ინდუქტორის ში-
ვა ზედაპირზე ნადულის წარმოქმნას.
ინდუქტორის ხეივებსა, ინდუქტორსა და
ტიველს შორის ათავსებენ კერამიკულ
იზოლატორულ მასალებს. ინდუქტორის
ზემოთ მოთავსებულაა ზემო ფლა, ქვემოთ—ქვედის ფლა. ზემო ფლა დაზი-
ანებისაგან დაცულია ცეცხლგამძლე მასალით. საწარმოო ინდუქტორების
ხეიათა რიცხვი 10-60 შეადგენს.



ნახ. XVI.7. ურკინისგულო ინდუქციური ღუმ-
ლის ინდუქტორი და ტიველი: 1—ზემო ფი-
ლი; 2—საველი; 3—ინდუქტორი; 4—იზოლა-
ტორი (მიკანიტი); 5—აზბესტი; 6—ტიველის
ამონავი; 7—ქვედა ფლა.

ღუმლის კარკასის დასამზადებლად გამოიყენება არამაგნიტური მასალები. უკიდურეს შემთხვევაში გაბნეული მაგნიტური ნაკადის ზეგავლენით იგი გახურდება. წარმოებაში დიდი ტევადობის ღუმლებისათვის კარკასს უმაგნიტო ფოლადებისაგან ამზადებენ.

ინდუქციური ღუმლების ტიველები მზადდება როგორც მეავე, ისე ფუჭე ცეცხლგამძლე მასალებსაგან. ორივე შემთხვევაში ტიველები იტკეანება უშუ-
ალოდ ინდუქტორში. ფუჭე ტიველების დასამზადებლად გამოიყენება მაგნეზი-
ტისა და კორუნდის ნარევი, რომელსაც კარგად ურევენ და გამოწვავენ. ტი-
ველებს ტკეანიან მშრალი მასით პნევატიკური სატკეანელებით. დაზადების
შემდეგ ტიველებს ამორევენ. შემდგომ რბილი რკინის მეშვეობით 1580—
—1610°C მას გამორეცხავენ. ამ ტემპერატურაზე თხევად რკინას 20—30 წუთს
აყოვნებენ, შემდგომ აწარმოებენ ორ-სამ გასაშავრებელ დნობას. ეს უკანასკნე-
ლი ტარდება იმავე კიმიური შედგენილობის ფოლადის გადნობით, რომელიც
შემდგომ უნდა იქნეს გამოდნობილი. 5000 კგ ტევადობას ასეთი ტიველის
მდგრადობა 30-დან 80-მდე დნობას შეადგენს.

მშრალი დატკეპნისათვის მომზადებულ მასას ზოგიერთ შემთხვევაში
3%-მდე ბორმეფას ან 5% მლზობ შპატს უმატებენ.

დიდი ტევადობის ტიველები შესაძლოა, აგრეთვე, ამოგებულ იქნეს
ცეცხლგამძლე აგურებით.

შევეამონაგიან ტიველებს ამზადებენ დაფქელი კვარციტების დატკეპ-
ნით. შემაკვეშირებლად მას 1,5—2% ბორმეფას უმატებენ. 1 ტ ტევადობის
ასეთი ტიველების მდგრადობა საშუალოდ 200 დნობას შეადგენს.

შეავე ტიველების მქონე ინდუქციური ღუმელებში შესაძლოა გამოდნო-
ბილ იქნეს ფოლადი სუფთა დაუფანკავი მასალებიდან გოგირდისა და ფოს-
ფორის მინიმალური შემცველობით ფუჭე ინდუქციურ ღუმელების შემთხვევაში
ეს მოთხოვნა შედარებით ნაკლებია, რადგანაც დნობის პროცესში მიმდინა-

რეობს (თუნდაც განსაზღვრულად) ფოლადების დესულფურაცია და დეფოსფორაცია.

დნობის ხანგრძლივობა ინდუქციურ ლუმელებში მეტად მცირეა. ამიტომ დნობის პროცესში ლითონის ქიმიური ანალიზი შეუძლებელია. ამასთან დაკავშირებით კაზში უნდა იყოს ზუსტი ქიმიური შედგენილობის შინგღვით აწონილი.

ტიგელის დაზიანების თავიდან აცილების მიზნით ჯერ ჩატვირთავენ მსუბუქ ჯართს ($\sim 4\%$), ხოლო შემდეგ—ფეროშენადნობებს და მსხვილ ჯართს. მსუბუქ ჯართზე, რომელმაც უშუალოდ ქვედა თავსდება, იტვირთება 5% კირი. დნობის შედეგად კაზში დაბლა იწვეს. ამიტომ ლუმელში ჩატვირთავენ კაზმის დაშატებით ულუმებს. თხევადი ლითონის გამოჩენისთანავე ტიგელში შეაქვთ წილის ნარევი. წარმოქმნილი წიდა იცავს თხევად ლითონს ატმოსფეროს მავნე გავლენისაგან, ამკირებს ელემენტების დაქანგვასა და თხევად ლითონში ატმოსფეროდან აირების შთანქმას.

მეავე პროცესისათვის იყენებენ ნარევის: $1\text{C}\%$ დაფხვნილი მცნა, 65% შამოტი და 25% კირი და მლზობი შპატი. ფუძე პროცესისათვის გამოიყენება ნარევი: $60-65\%$ კირი, $15-20\%$ მაგნეზიტი და $20-25\%$ მლზობი შპატი.

კაზმის $80-85\%$ გადნობისთანავე იღებენ ლითონის სინჯს ქიმიური ანალიზისათვის. ანალიზის რეზულტატის მიღებისთანავე იწყებენ ლითონის განქანგვასა და ლეგირებას. ინდუქციურ ლუმელებში ქანგვით პროცესებს არ აწარმოებენ: აცილებლობის შემთხვევაში, ფუძე პროცესში, ელემენტების დასაქანგავად ლუმელში შეაქვთ რკინის მადანი ან ხენჯი. ძირითადად წილის დიფუზიური მეთოდით წარმოებს განქანგვა. განმეანგველად იხმარება კირისა და დაფხვნილი ფეროსილიციუმის ან ფხვნილისებრი ალუმინის ნარევი; გამოიყენება აგრეთვე ბორკალკი (ჩამქრალ კირს უმატებენ ალუმინის ფხვნილს, ნარევი კარგად ირევა და გამოიწვევა 600°C -ზე).

ინდუქციურ ლუმელებში ელემენტების ამოწვა დამოკიდებულია ფოლადის შედგენილობასა და მათი შეტანის მეთოდებზე (კაზთან, შუა დნობის პერიოდში ან ბოლოს).

მალახარისხოვანი ფოლადების წარმოება

§ XVII. 1. ზოგადი მიმოხილვა

ავიაკოსმ. ისუბი ტექნიკის, ბირთვული ენერგეტიკის, აირტურბომშენებლობას, ოადიოელექტრონიკის, ხელსაწყოთმშენებლობის წარმოებისა და სხვ. განვითარებამ მოითხოვა სპეციალური თვისებების მქონე მალალეგირებული მალახარისხოვანი ფოლადებისა და შენადნობების წარმოება, ახალი ლითონურა მასალების შექმნა, რომელთაც ეწებათ სრულიად განსხვავებულ პირობებში მუშაობის უნარი: აბსოლუტური ნულის მახლობელ ტექნოლოგიურიდან დაწყებული დამთავრებული რამდენიმე ათასი გრადუსი ტემპერატურის პირობებში; მალალსტატიკურ, დარტყმი და ვიბრაციულ დატვირთვების; აგრესიულ სითხეებისა, აირებისა და რადიოაქტიური გამოსხივების ზემოქმედების, ვაკუუმსა და სითბოს მკვეთრ ცვლადობის პირობებში და სხვ. ყოველივე აღნიშნულმა მოითხოვა არა მხოლოდ ახალი სპეციალური ფოლადებისა და შენადნობების შექმნა, არამედ, რაც მთავარია, მათი განსაკუთრებით მაღალი ხარისხი, რათა გაიზარდოს საპასუხისმგებლო ნაყოფობის საიმედოობა და მუშაობის ხანგრძლივობა.

ლეგირებული და მალალეგირებული ფოლადებისა და შენადნობების წარმოების თანამედროვე მეთოდები ვერ აკმაყოფილებს წამოყენებულ მზარდ მოთხოვნებს. ამ ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელი გახდა მხოლოდ ფოლადის წარმოებაში სხმულების მიღების პრინციპულად ახალი მეთოდების შექმნით; ასე, მაგალითად, მარტენის, ელექტრო, ინდუქციურ ან სხვა ლუმებში მიღებული ლითონის ნამხადების გადადნობა სხვადსხვა მეთოდების გამოყენებით.

ბოლო წლებში გადადნობის პროგრესულ მეთოდებს წარმოადგენს: ვაკუუმ-რკალური, ელექტროწიღური, ელექტროსხივიური და პლაზმურ-რკალური გადადნობა (რუსულად შესაბამისად მათი აღნიშვნებია ВДП—вакуумдуговой переплав; ЭШП—Электрощиговой переплав; ЭЛП—Электродуговой переплав; ПДП—плазменно — дуговой переплав).

ყველა ამ მეთოდის მაღალი ეფექტურობა, უპირველეს ყოვლისა, იმით განისაზღვრება, რომ ამ დროს მიღებული სხმული ხასიათდება ქიმიური შედგენილობისა და ფიზიკური თვისებების არაერთგვაროვნობის მინიმალური თვისებებით, რაც უზრუნველყოფს ლიკვაციური და ჩაჯდომისაგან განვითარებული დეფექტების თავიდან აცილებას. გარდა ამისა, მიიღება აირებისა და არალითონური ჩანართებისაგან გასუფთავებული ლითონის სასურველი კრისტალიზაციით. არსებობს აგრეთვე ლითონების გასუფთავების ზონური დნობა.

გარდა აღნიშნულისა, ლითონების ხარისხის ამაღლებისათვის არსებობს სხვა მეთოდებიც. ასე, მაგალითად, თხევადი ლითონის ვაკუუმში დამუშავება, ინერტულ აირებით ლითონების გაქრევა თხევადი ლითონის ლუმის გარეთ რაფინირება, ლითონის გაქრევა ფხვნილისებრი მასალებით და სხვა.

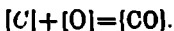
განვიხილოთ თითოეული მეთოდი ცალ-ცალკე.

§ XVII. 2. თხევადი ლითონის ვაკუუმში დამუშავება

ვაკუუმში თხევადი ლითონის დამუშავების რამდენიმე სახესხვაობა არსებობს: 1) ციცხეში ვაკუუმირება; 2) ჩამოსხმისას ლითონის ჰაერის ვაკუუმირება; 3) ღია ციცხვიდან ლითონის ულუფების ვაკუუმირება; 4) ვაკუუმირება ცირკულირების მეთოდით.

ვაკუუმში ლითონის დამუშავება ზემოქმედებას ახდენს იმ რეაქციების მიმდინარეობაზე, რომელშიაც მონაწილეობას იღებს აირული ფაზები. ასე, მაგალითად, აირადი ფაზა წარმოიქმნება: ნახშირბადის დაგენგვის რეაქციის შედეგად; თხევად ლითონში გახსნილი წყალბადისა და აზოტის გამოყოფის პროცესში; თხევად ლითონში არსებული ფერადი ლიჯონების მინარევების აორთქლებს პროცესში.

როგორც ცნობილია, ფოლადში მუდამ იმყოფება ნახშირბადის გარკვეული რაოდენობა, რომელიც ქანგბადთან რეაგირებას შედეგად მიღებული ნახშირქანგის აირთანაა წონასწორობაში:



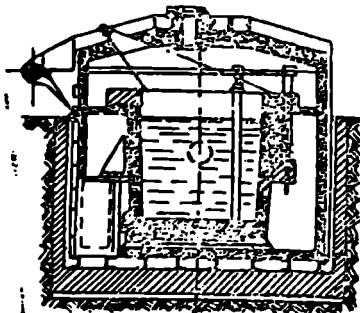
ვაკუუმში დამუშავების პროცესში ავ რეაქციის წონასწორობა ($K = p_{CO} / (a_C \cdot a_O)$) მარჯვნივ გადაინაცვლებს, ე. ი. ქანგბადი რეაგირობს ნახშირბადთან CO ს წარმოქმნით. თხევად ლითონში ქანგბადის წყაროს ოქსიდური არალითონური ჩანარები წარმოადგენს. თხევადი ლითონის ზედაპირზე წნევის გაიშვიათება იწვევს არალითონური ჩანარებისა და ნახშირბადის ურთიერთქმედების ინტენსივობის ზრდას, რის შედეგადაც არალითონური ჩანარები ნაწილობრივ ან შიდაინანდ იშლება. ეს უქანასკნელი შეგვიძლია შემდეგი რეაქციით წარმოვიდგინოთ: $[MnO] + [C] = [Mn] + (CO)$. ისეთი სუსტი ქანგეულები, როგორცაა MnO, FeO, Cr₂O₃, თითქმის შთლიანად აღდგება. უფრო დიდ სირთულეს წარმოადგენს შედარებით მძვრადი ჩანარები ალდგენა, როგორცაა Al₂O₃ ან TiO₂, რისთვისაც საჭიროა თხევადი ლითონის დამუშავება ღრმა ვაკუუმში.

როგორც აღვნიშნეთ, ვაკუუმირების პროცესში მიმდინარეობს თხევადი ლიჯონიდან წყალბადისა და აზოტის შედარებით სრულყოფილი მოცილება. ლითონის ზედაპირზე წნევის შემცირება იწვევს რეაქციის $2[H] \rightleftharpoons [H_2]$ წონასწორობის მარჯვნივ გადახრას. ამასთან ხლსანიშნავია ია გარემოება, რომ წყალბადი თხევად ლითონში ხსნიათდება მოძრაობის მაღალი უნარით, ე. ი. დიფუზიის კოეფიციენტი საკმაოდ დიდია და ვაკუუმირების პროცესში თხევადლიჯონიდან ია სწრაფად გამოიყოფა. ანალოგიურად წყალბადისა, ვაკუუმირების პროცესში რეაქციის $2[N] \rightleftharpoons [N_2]$ წონასწორობაც მარჯვნივ იხრება, მაგრამ წყალბადთან შედარებით თხევად ლითონში აზოტი ნაკლებად მოძრაობს და ხსნიათდება საკმაოდ დაბალი დიფუზიის კოეფიციენტით. ლითონის ვაკუუმირების პროცესში აზოტის სრული მოცილება არ ხდება.

წყალბადისა და აზოტის მოცილების სისწრაფეზე დიდ გავლენას ახდენს თხევადი ლითონიდან გამოყოფილი ნახშირქანგის ნიჟარების წარმოქმნა და გამოყოფის ინტენსიურობა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს თხევადი ლითონის ინტენსიურ არევის.

წყალბადისა და აზოტის მოცილების სისწრაფეზე დიდ გავლენას ახდენს თხევადი ლითონიდან გამოყოფილი ნახშირქანგის ნიჟარების წარმოქმნა და გამოყოფის ინტენსიურობა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს თხევადი ლითონის ინტენსიურ არევის.

ცოცხეში ვაკუუმირება. ამ შემთხვევაში თხევადი ლითონით სავსე ცოცხე თავსდება სპეციალურ ვაკუუმურ კამერაში (ნახ. XVII. 1), რომე-



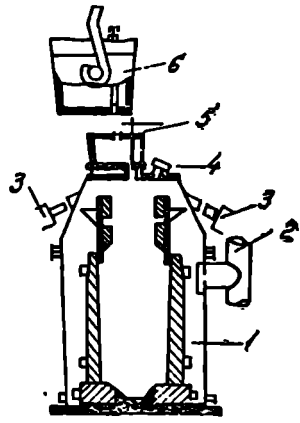
ნახ XVII. 1. ცოცხეში თხევადი ლითონის ვაკუუმირებით დამუშავების სქემა.

ლიც წარმოადგენს ბეტონირებულ ორმოში მოთავსებულ ლითონის ცილინდრს. კამერის დიამეტრი რამდენაღუ ალუმატება ციცივის დიაშეტრს. მისი გვერდები და ქვედი ამოგებულაი ცეცხლგამძლე აგურებით. ზემოდან კამერა ლითონის სახურავით გერმეტულად იხურება. გვერდით, კამერის კორპუსში მოთავსებულია ვაკუუმ-საღინართან მიერთებული ხეგელი, საიდანაც წარმოებს ჰერისა და ვაკუუმირების დროს წარმოქმნილი აირების ამოქაჩვა. კამერის სახურავზე გათვალისწინებულია საყურებელი სარკელი და დონატორი თხევად ლითონში მინარეგების შესატანად. ვაკუუმში დამუშავება მიმდინარეობს 65 — 150 პა წნევაზე. თუ ლითონი არ არის განეანგული, მაშინ ლითონში გახსნილი ნახშირბადისა და ეანგბადის ურთიერთქმედების რეაქცია ენერგიულად მიმდინარეობს. ვაკუუმირებით დასაპუშავებელი ფოლადების ალუმინითა და სილიციუმით წინასწარი განეანგვა არ არის რეკომენდებული. დამუშავების ხანგრძლივობა 10—15 წუთს შუაღგენს. თხევადი ლითონის ინტენსიური აირევა ხელს უწყობს კამიური შეღვენილობისა და ტემპერატურის გერტგვაროვნობას.

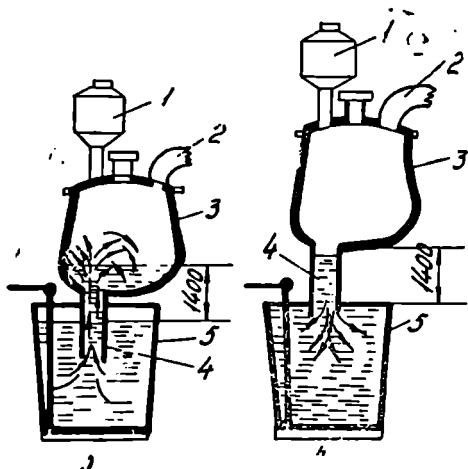
ეს მეთოდი არაეფეტურია მშვიდი (განეანგული) ფოლადების დამუშავებისათვის, რადგანაც ციცივში არსებული ლითონის ღიდი სარზე თხევადი ლითონის ნახშირბადით განეანგვის რეაქციის სრულად მიმდინარეობის საშუალებას არ იძლევა.

ჩამოსხმისას ლითონის ქავლის ვაკუუმირება თხევადი ლითონის დამუშავების შეღარებით გაუმჯობესებული მეთოდი. ა მეთოდის სქემა მოყვანილია XVII. 2 ნახაზე. ლითონის ქავლის დამუშავება ვაკუუმში შეღარებით მაღალეფეტურია (ბოყეში ფოლადის ერთდროული ჩამოსხმის ან ციცივიდან ციცივში გაღვანების პროცესში).

აღნიშნული ვაკუუმ-კამერა წინასაგან განსხვავებით შეიცავს თავის სახურავზე შუალედური ციცივის დასაღველ ბაქანს, რომელიც პერმეტულადაა მიერთებული სახურავთან. შუალედური ციცივის ტევაღობა 5—10 ტ-ს შეღდგენს. შუალედურ ციცივსა და კამერას შორის არსებული ხეგელი ვაკუუმის შექმნამდე და ლითონის ჩამოსხმამდე ალუმინის თხელი ფურცლით იხურება. კამერის შიგნით მოთავსებულაი ბოყევი. ჩამოსხმის წინ კამერაში იქმნება გაიშვიათება. შემღგომ შუალედურ ციცივში ისხმება თხევადი ლითონი, რომელიც წეავს ალუმინის ფურცელს და მისი ქავლი ხედება ვაკუუმ-კამერაში. ვაკუუმის ზემოქმედებით წარმოებს ლითონის უფრო სრულყოფილ დეგაზაცია და $[C] + [O] = [CO]$ რეაქციის აქტიური მიმდინარეობა (ეიდრე წინა მეთოდში). განყოფილი აირები აქტუმაეცბს ლითონის ქავლს წვრილ წვეთებად, რის შეღვეაღაც იზრდება აირებთან თხევადი ლითონის შეხების ფართობი. ყოველივე ეს იწვევს თხევადი ლითონის ვაკუუმში ეფეტურ დამუშავებას, მიმდინარეობს ნაწილობრივი დეგაზაცია თვით ბოყეში ჩასხმული ლითონისა. ბოყევის შეესების დამთა-



ნახ. XVII. 2. ვაკუუმში ფოლადის ქავლის დამუშავების სქემა: 1—ბოყევი; 2—გამოსაქანი სისქემის ცილაღნი; 3—სატელევიზიო კამერა; 4—სათელთვალე; 5—შუალედური ციცივი; 6—საჩამოსხმო ციცივი;



ნახ. XVII. 3. ფოლადის ულუფების ვაკუუმირების სქემა: კამერის შეჯახება; 4) ლითონის გამოშვება; 1—დოზატორი; 2—ვაკუუმსენი; 3—ვაკუუმ-კამერა; 4—შილფი; 5—ციცხვი.

რძობლად იზრდება.

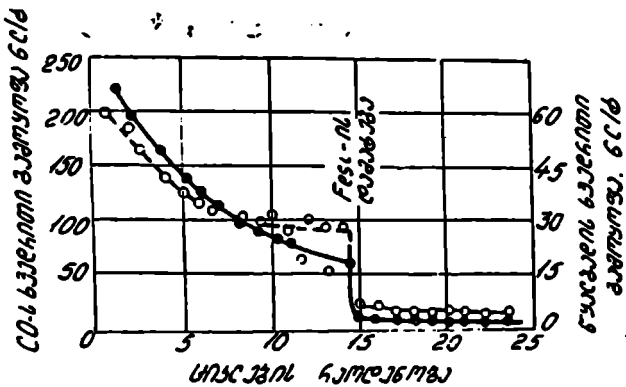
უაყოვით მხარედ შესაძლოა აღინიშნოს მიღებული სხმელის არახარისხოვანი ზედაპირი.

ღია ციციხვიდან ლითონის ულუფების ვაკუუმირების მეთოდი. ამ მეთოდის სქემა გამოჩნდება XVII. 3 ნახაზზე. იგი წარმოადგენს ფოლადის დეგაზაციის ეფექტურ მეთოდს. მკერეტევალი ორშიმომავგვარი ვაკუუმ-კამერა თავსდება ლითონით სავსე ციციხვის თავზე მოთავსებულ სპეციალურ ბაქანზე. კამერის ძირში მოთავსებულია მილი, რომლის გარე და შიგა ზედაპირი დაცულია ცეკლგამქლე მასალით. მილა ლითონში ჩაშვებამდე იხურება ალუმინის ფირფიტით, რომელიც ლითონთან შეხებისთანავე დნება. კამერიდან წინასწარ ტუმბავენ ჰაერს. მილის სიგრძე 1400 მმ აღწევს. თხევალ ლითონში მისი 60 მმ-ით ჩაშვება იწვევს კამერაში დაახლოებით 4 ტ ფოლადის შეყვანას, აღნიშნული ულუფა დაახლოებით 1 წთ-ის განმავლობაში ვაკუუმის ზეგავლენით განიკლდის დეკაზაცია. კამერის სახურავზე მოთავსებულია მალევირებელი და გამაქანგვლი მასალების ბუნკერი. კამერის ზემოთ აწვევს ვაკუუმში დამუშავებული ფოლადის ულუფა ჩაპოისსება კვლავ ციციხვი. შემდგომ აღნიშნული ციკლა ისევე მეორდება მანამ, სანამ ლითონის დეგაზაცია არ მიაღწევს სასურველ ხარისხს.

კამერაში ლითონის მოქუჯრასას ლათონში გახსნილ ნახშირბადას და ტანგბადას შორის მოქუჯრასას ინტენსიური რეაქცია. გარდა ამისა, წარმოქმნილი ნივთების მეშვეობით თხევალი ლითონიდან წარიტაცება და მას სცილდება წყალბადი და აზოტი. ლათონის მოქარობის სიჩქარე მილში დაახლოებით 3 მ.წთ შეადგენს. დაახლოებით 30 ციკლის შემდეგ ე. წ. „ლითონის დუღილი“ მკვიდდება. ამ მომენტში მიმდინარეობს მალევირებელი და განმქანგველი მასალების ბუნკერიდან დამატება, რაც 6—8 ციკლს იკავებს. ამის შემ-

ვრებისთანავე სახურავს ახლიან და ზოდის მოლიანად გამყარების შემდეგ კამერიდან ბოყვს ამოიღებენ.

ამ მეთოდის ძირითადი უპირატესობა ის არის, რომ თხევალი ლითონის ჩამოსხმა წარმოებს გაიშვითებულ გარემოში, რის შედეგადაც თავიდანაა აცილებული ლითონის დაქანგვა და ოქსიდური არალითონური ჩანართების ზრდა. ამ მეთოდით დამუშავებულ ფოლადში წყალბადის შემცველობა თითქმის 60—70%-ით მცირდება. მიღებული სხმელი მკერავი წერილობარცვლოვანი მაკროსტრუქტურისაა. ყოველივე აღნიშნულის გამო ლითონის მექანიკური თვისებები საგ-



ნახ. XVII. 4. ფოლადის ვაკუუმირებისას აირების გამოყოფის დამოკიდებულება ციკლის რაოდენობაზე.

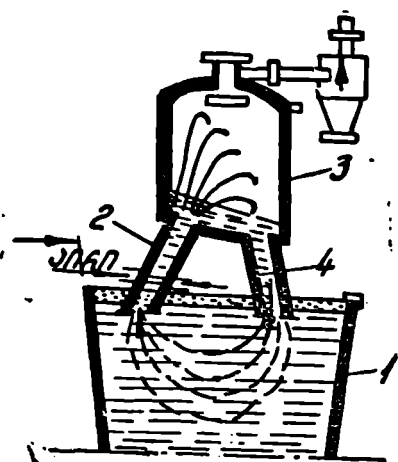
დგომ ტარდება კიდევ რამდენიმე ციკლი. ლითონის ვაკუუმირების პროცესი დაახლოებით 60 ციკლამდე აღწევს.

ვაკუუმირების პროცესში კამერაში შესული ლითონის ულუფა ხურდება გრაფიტის ელექტროდით, რომელიც თვით კამერაში შიგნითაა მოთავსებული. კამერიდან ჩაშოსსპული ლითონი კარგად ირევა ციცხვში მოთავსებული თხევადი ლითონის ძირითად მასას. ასეთი დამუშავების შემდეგ ლითონში გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა დაახლოებით 0,002%-მდე ეცემა, წყალბადისა კი დაახლოებით 2 სმ³/100გ. ამასთან ფოლადის ხარისხი საკარნობლად იზრდება. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ გაქანული ლითონის დამუშავება ამ მეთოდით დაბალეფექტურია.

XVII. 4 ნახაზზე მოყვანილია მ შურალავის შიერ ჩატარებული ცდების შედეგები: ფოლადის ვაკუუმირებისას აირების გამოყოფის დამოკიდებულება სილიციუმის დამატებისა და დამუშავების ციკლის რაოდენობისაგან.

აღნიშნული მეთოდის უარყოფით მხარეებს წარმოადგენს: თხევადი ლითონით შევსებული კამერის დიდი წონა; მაღალხარისხიანი ცეცხლგამძლე და ვაკუუმგამძლე მილების აუცილებლობა, რომლებიც მაღალ ტემპერატურაზე თავიანთ ჰერმეტიკულობას ინარჩუნებენ; ფოლადი დამუშავების პროცესში განუწყვეტლივ ეხება ცეცხლგამძლე მისალებს; დამუშავებული ლითონის ჩაშოსში ბოყვებში ჰაერზე წარპოებს, რის შედეგადაც ხდება თხევადი ფოლადის განმეორებითი დაქანვა.

ცი რ კ უ ლ ა ც ი ა ს მ ე თ ო დ ი თ ფ ო ლ ა დ ი ს ვ ა კ უ მ ი რ ე ბ ა პ ი რ ვ ე ლ ა დ ეს მეთოდი დამუშავებულ იქნა გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში, რომლის არსიც მდგომარეობს ღია ციხვიდან თხევადი ლითონის უწყვეტ ვაკუუმირებაში (ნახ. XVII. 5). აღნიშნული მეთოდებიდან განსხვავებით ეს მეთოდი ხასიათდება შედარებით მაღალი ეფექტურობით. თხევადი ლითონი ციცხვიდან (1) აღმავალი ნაკადით მილის (2) მეშვეობით შეისრუტება ვაკუუმკამერაში (3), სადაც წარმოებს მისი დეგაზაცია და შემდგომ შიგნით მილით (4) ისევ ციცხვში ბრუნდება. კამერა წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის კუბიკულს, რომლის ძროზე მიერთებულია ცეცხლგამძლე მასალით დაფარული ორი მილი. პროცესის მთელ ხანგრძლივობაში მიმდინარეობს კამერის მოცულობიდან პა-



ნახ. XVII. 5. ფოლადის ცირკულაციური დე-გაზაციის მეთოდის სქემა

ფოლადი. ვაკუუმირების პროცესში დასამუშავებელი თხევადი ლითონით. ფოლადის ვაკუუმირების პროცესში აწარმოებენ მის განუანგავსა და ლეგირებას. ლითონის ტრანსპორტირებისათვის არგონის ხარჯი დიდი არაა და შეადგენს ვაკუუმირების პროცესში გამოყოფილი მთელი აირების არა უპეტეს 10%, ამ მეთოდით დამუშავებულ ფოლადში წყალბადის შემცველობა 40%-მდე მცირდება. იმავე კამერაში შესასვლელ მილში თხევადი ლითონის მოძრაობის სიჩქარე 5 მ/წმ შეადგენს ამიტომ მილიდან კამერაში გადასვლისას თხევადი ლითონის ჭავლი 1 მეტრ სიმაღლეზე შადრევანის სახით გაიფრქვევა, რაც ხელს უწყობს ლითონის ეფექტურ დამუშავებას. ვაკუუმირების პროცესში ლითონის ტემპერატურა 40°C-ით ეცემა. უკანასკნელის თავიდან აცილებისათვის კამერას წინასწარ 1200°C-მდე ახურებენ. 100-ტონიანი ციცხვის დამუშავების ხანგრძლივობა 30 წუთამდე შეადგენს.

§XVII. 3. ინფრატული აირებით ლითონის გაძაბვა

ინერტული აირებით თხევადი ლითონის გაქრევას ოცოლდე წლის ისტორია აქვს. იგი ხელს უწყობს თხევადი ლითონის აირებისა და არალითონური ჩანართებისაგან გასუფთავებას. გაქრევისათვის ძირითადად გამოიყენება ინერტული აირი — არგონი, რომლის თითოეული ნიჟარა წარმოადგენს ერთგვარ „ვაკუუმ-კამერას.“ ამ უკანასკნელში წყალბადისა და აზოტის პარციალური წნევა თითქმის ნულის ტოლია. გაქრევისას წარმოიქმნება ათასობით ნიჟარა, რომლებიც, წარიტაცებენ რა მასში არსებულ არალითონურ ჩანართებსა და აირის ბუშტუებს, სწრაფად მიემართებიან თხევადი ლითონის ზედაპირისაკენ. წარმოქმნილი არგონის ნიჟარების თხევად ლითონთან გამყოფ ზედაპირზე შეხების ფართობი ძალზე დიდია და იწვევს ლითონში გახსნილი წყალბადისა და აზო-

ტის რეაქციების ($2[H] \rightleftharpoons [H_2]$ და $2[N] \rightleftharpoons [N_2]$) წონასწორობის მარჯვნივ გადახრას. გამოყოფილი აიროვანი წყალბადი და აზოტი გალადის არგონის ნიჟარებში და მათთან ერთად თხევადი ლითონის არედან გადმოილევენება.

აღსანიშნავია, რომ ინერტული აირებით გაქრევი იწვევს თხევადი ლითონის ინტენსიური არევის, რაც თავიანთავად იწვევს მისი კომიური შედგენილობისა და ტემპერატურის გაერთვაროვნობას.

ინერტული აირებით გაქრევა ძირითადად ციციხეში წარმოებს, რომლის ძროში მოთავსებულია ფოროვანი საცობი ან ციციხეს ღრეს საჩეი. ამ უკანასკნელიდან მიეწოდება გასაქრევი აირი. როდესაც თხევადი ლითონის ზედაპირზე მოთავსებულია ადვილდნობადი, დაბალი სიბლატნის წიდა, რაჟლის ფაზათაშორის დაქიმელობა თხევად ლითონთან ძალზე მცირეა, ხოლო არალითონურ ჩანართებთან კი პირიქით — შალალია, ე. ი. კარგად ასეელებს მათ, ინტენსიური არევის მომენტში აადვილებს ლითონის შასალიდან არალითონური ჩანართების ასიმილაციის პროცესს. ეს უკანასკნელი ხელს უწყობს თხევადი ლითონის არალითონური ჩანართებისაგან გასუფთავებას.

ინერტული აირებით გაქრევის პროცესში აირი ხურდება და ლითონის შასიდან მისი გაზოდევებისას სითბოს გარკვეული რაოდენობა გამოიტანება. ამგვარად, თხევადი ლითონის ტემპერატურა ციციხეში დაბლა ვარდება. ეს ბოლო ეფექტი ხშირად ციციხეში ლითონის ტემპერატურის სარეგულირებლად გამოიყენება. ამიტომ სასურველია, სპეციალურ მოწყობილობებში გასაქრევი აირის წინასწარი გახურება.

როდესაც საჭიროა მივიღოთ ძალზე დაბალი ნახშირბადის შემცველი ფოლადი, მაშინ გაქრევას აწარმოებენ არგონისა და ქანგბადის ნარევით, რის შედეგადაც რეაქციის $2[C] + [O_2] = 2[CO]$ წონასწორობა მარჯვნივ გადაინაცვლებს. ამასთან რეაქციის პროდუქტების აირული ფაზის შედგენილობაში იარსებებს აგრეთვე ინერტული აირიც, რაც იწვევს ნახშირქანგის პარციალური წნევის p_{CO} საგრძნობლად შემცირებას.

ყოველივე აღნიშნულიდან აშკარაა, რომ ციციხეში თხევადი ლითონის დიდი მასის ინერტული აირებით გაქრევა თითქმის არ ჩაუთვარდება ლითონის ეაკუუმში დამუშავებას. ამიტომ ხშირ შემთხვევაში მას უფრო მეტი გამოყენება აქვს პრაქტიკაში, ვიდრე ეაკუუმირების სხვა ტექნოლოგიას. გარდა აღნიშნულისა, თვით პროცესი და ტექნოლოგია ძალზე მარტივი და იაფია; არ მოითხოვს ეაკუუმურ ან სხვა ძვირადღირებულ დანადგარებს. ხშირად, როდესაც შესაძლებელია ჩვეულებრივი მარკის ფოლადების წარმოება, ძვირადღირებულ არგონს ცელიან შედარებით უფრო იაფი აირებით — აზოტით ან წყლის ორთქლით, რაც კიდევ უფრო ხელსაყრელს ხდის აღნიშნულ მეთოდს.

§ XVII. 4. თხევადი ლითონის სინთეზური წილებით ჩაშინიძება

ციციხეში თხევადი ლითონის რაჟინირება სინთეზური წილებით ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების ერთ-ერთ მეტად ხელსაყრელ და ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს, რომლის დროსაც შესაძლებელია ერთდროულად გავზარდოთ ფოლადსაღნობი აგრეგატების მწარმოებლურობაც. პირველად ეს მეთოდი 1925 წელს შემოგვთავაზა საბჭოთა ინჟინერმა ა. ტოჩინსკიმ. ამ მეთოდის გამოყენებით შალახარისხოვანი ფოლადის გამოღნობა შესაძლებელი გახდა არა მხოლოდ ელექტრო, არამედ მარტენის ლუწელებსა და ქანგბადის კონვერტირებშიც. ამასთან შალახარისხოვანი ფოლადების წარმოება შესაძლოა სა-

გრძობლად გაიზარდოს მინიშალური კაპიტალური დაბანდებებითა და მცირე დროის პერიოდში. გარდა ამისა, მიღებული ფულადების თვითღირებულება გაცილებათ დაბალია, ვიდრე ელექტროფოლადისა.

მეთოდის არის ის არის, რომ გახურებულ ციციხეში წინასწარ ასხამენ გარკვეული შედგენილობისა და თვისებების მქონე გამდნარ წიდას, რომელზედაც, რაც შეიძლება დიდ სიმაღლადაც, ფულადსადნობ აგრეგატიდან უშვებენ თხევად ლითონის კაუკს. ამასთან თხევად სინთეზური წიდა ემულგირებს ლითონში: მათი შეხების ზედაპირი საგრძნობლად იზრდება, რაც იწვევს ლითონსა და წიდას შორის რეაქციის ინტენსიურ მიმდინარეობას. ეს უკანასკნელი დიდდ არის დამოკიდებული წილის ქიმიურ შედგენილობასა და მის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. ამგვარად, ამა თუ იმ ელემენტების განაწილების თვალსაზრისით, სისტემა ლითონი წიდა, ფულადსადნობ ლეჟელთან შედარებით, უახლოვდება წინასწორულ მდგომარეობას, ლითონისა და წილის ურთიერთქმედების აღნიშნული პროცესები მიმდინარეობს რაშდენიმე წუთის განმავლობაში.

1928 წელს აღნიშნული მეთოდით საბჭოთა კავშირში მეთვე წილების გამოყენებით განხორციელდა ბესემერის ფულადების დეჟუსფორაცია, ხოლო მარტენის ფულადების—განქანგვა. იმ დროსათვის ა. ტოჩინკის წიდაჰრაქტიკაში დიდი გამოყენება ვერ ჰპოვა, რადგანაც შეუძლებელი იყო ლითონის დესულფურაცია და არალითონური ჩანარებების მოცილება.

უღება გაგრძელებულ იქნა ფრანგ მეცნიერის რ. პერენის მიერ, რომელმაც მეთვე წიდა შეცვალა ფუძე კიროვან-თიხამიწოვანი წილით. ამით გადაწყვეტილ იქნა სამი საკითხი—თხევადი ლითონის დესულფურაცია, განქანგვა და არალითონური ჩანარების მოცილება.

საბჭოთა კავშირში 1958—62 წლებში მეთალურგიული ქარხნები ფართოდ განვითარდა და დაინერგა თხევადი ფოლადის სინთეზური წილით რაფინირების მეთოდი. ამის საფუძველზე დამუშავდა დიდტრანაჟიანი მარტენის, ელექტრო და მეთვე კონვერტერული მაღალხარისხიანი ფულადების მიღების ტექნოლოგია. დაზუსტებულ და შემუშავებულ იქნა ახალი შედგენილობისა და თვისებების მქონე მაღალეფექტური სინთეზური წილები (მათი გამოდნობისათვის იაფი და არადეფიციტური მასალების გამოყენებით).

ცნობილი კიროვან-თიხამიწოვანი სინთეზური წიდა, რომელიც გამოიყენება თხევადი ფოლადის რაფინირებისათვის, შეიცავს 40—45% Al_2O_3 და 50—55% CaO . ამ შედგენილობის წილები პრაქტიკაში ცნობილია ტოჩინკისა და პერენის წილებად. მათში რკინისა და სილიციუმის ეანგველები, შესაბამისად, 1 და 3% არ უნდა აღემატებოდეს. სინთეზური წილების გამოდნობა ელექტროკალურ სპეციალურ ლუმლებში წარპობს.

პრაქტიკაში დავანახა, რომ თხევადი ფოლადის სინთეზური წილით რაფინირებისას მასში გოგარდის შეკვეთლობა მკვეთრად მცირდება—0,035—0,40%—დან 0,005—0,007%—მდე. ამგვარად, საგრძნობლად მცირდება ფულადებში სულფიდური არალითონური ჩანარების რაოდენობაც. ამასთან დაკავშირებით დამუშავებული ლითონის მექანიკური თვისებებიც შესაბამისად იზრდება.

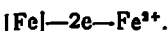
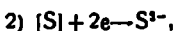
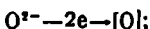
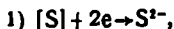
დესულფურაციასა და სულფიდური არალითონური ჩანარების მოცილებასთან ერთად ლითონი ეფექტურად სუფთავდება სხვა სახის არალითონური ჩანარებისაგანაც, რომლებიც უერთდება ლითონში ემულგირებული თხევა-

დი წილის ნაწილაკებს და დიდი სისწრაფით გამოიღვენება ლითონის ზედაპირზე არსებული წილის ფენაში.

თხევადი ლითონის სინთეზური წილით რაფინირების პროცესში ლითონიდან წილადში გოგირდის გადასვლა შესაძლოა შემდეგი სამი სტადიით წარმოვიდგინოთ:

- 1) გოგირდის ტრანსპორტირება ლითონი-წილას გამყოფ ზედაპირსაკენ;
- 2) გოგირდის გადასვლა გამყოფ საზღვარზე;
- 3) გოგირდის ტრანსპორტირება წილის ძირითად მასაში და მასში გადანაწილება.

იონური თეორიის თანახმად, ლითონისა და წილის გამყოფ ზედაპირზე გოგირდი გადაიტანება არა მოლეკულების, არამედ იონების სახით. ამასთან შესაძლოა



ორივე შემთხვევაში წილისა და ლითონის გამყოფ ზედაპირზე მუხტების დაგროვება არ ხდება. შესაძლებელია ხორციელდებოდეს გოგირდის გადასვლას მაკროსკოპული პროცესი.

აქტიური წილას მისაღებად დნობის პროცესში მას CaF_2 უმატებენ.

§ XVII. 5. ვაკუუმურ ლუმენში ფოლადის წაღობვა

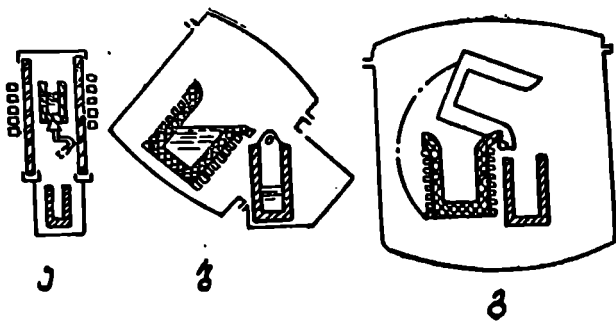
თანამედროვე მეტალურგიის პრაქტიკაში ვაკუუმურ ლუმენში ფოლადის წარმოების რამდენიმე მეთოდი არსებობს. განვიხილოთ მოკლედ ზოგიერი მათგანი.

ვაკუუმური ინდუქციური დნობა სპეციალურ ვაკუუმ-კამერებში მოთავსებული მაღალი სიხშირის ლუმენებში წარმოებს, რომლებიც ამოგებულნი არიან ცეცხლ-მძლე მასალით. თანამედროვე ინდუქციური ვაკუუმ-ლუმენების ტევადობა 60 ტონამდე აღწევს. ჩვეულებრივ აუმოსფეროზე დნობასთან შედარებით ფოლადების ვაკუუმში დნობას რიგი უპირატესობა აქვს. ა. კრამაროვის შარაკეებით, თუ ლითონში დნობის ენგვის პერიოდში ნახშირბადის შემცველობა 0,012%-მდე მცირდება, მაშინ მასში ენგვადის შემცველობა 0,28%-მდე იზრდება, ე. ი. 1650°C-თვის ზღვრულ ხსნადობას აღწევს. განმეორებული შემთხვევით ენგვადის მოცილება ზრდის თხევად ლითონში არა-ლითონურ ჩანართების რაოდენობას.

ელემენტები, რომლებიც ხასიათდებიან ადვილი ენგვის უნარით, ფოლადის ვაკუუმური დნობის შემთხვევაში პრაქტიკულად არ იყვანება (მაგალითად, ალუმინი, ცირკონიუმი, ტიტანი და სხვ.). ამიტომ ზოგიერთი სპეციალური ფოლადისა და შენადნობა გამოსადნობად ვაკუუმურ ლუმენებში ინდუქციური დნობას დიდა უპირატესობა ენიჭება.

მუშაობის რეჟიმის მიხედვით ინდუქციური ვაკუუმ ლუმენები ორ ტიპად იყოფა:

ა) პერიოდულად მოქმედი ლუმენები, რომლებშიც ტიგელში კაზმის ჩატეირთვის, ბოყვის, ფორმებისა და კოკილების დაყენების, ტიგლის გაწმენდის, შეკეთებისა და მომდევნო დნობისათვის მისი მომზადების ოპერაციები ხორციელდება ვაკუუმ-კამერის ღია მდგომარეობის დროს;



ნახ. XVII. 6. ვაკუუმური ინდუქციური ფოლადსაღარი ლუმენები სქემები:
 ა) ინდუქტორის არაფაქტურ სიერცეში განლაგება; ბ) თხევადი ვაკუუმ-კამერის
 ანი ინდუქტორის ვაკუუმურ სიერცეში განლაგება; გ) რხველ ტეგელთან ინ-
 დუქტორის ვაკუუმურ სიერცეში განლაგება.

ბ) ნახევრად-უწყეუე მოქმედების ლუმენები, რომლებშიც ზემოაღნიშ-
 ნული ოპერაციები დახურულ კაპერაში ვაკუუმის ქვეშ ხორციელდება.

კონსტრუქციული მესრულების მიხედვით ინდუქციური ვაკუუმ-ლუმენები
 კლასიფიცირდება:

1. ინდუქტორისა და გარსაცმის ურთიერთგანლაგების მიხედვით:

ა) ლუმენები, რომლებშიც ინდუქტორები მოთავსებულია ვაკუუმ-კამერის
 გარე სიერცეში, ხოლო ტეგელი დაყენებულია არაფაქტურგამტარ (ჩვეულე-
 ბრივ, კვარცის შინა) გარსაცმის შიგნით. ამდაგვარი ლუმენები არ არის დი-
 დი ტევადობის და ისინი ძირითადად ლაბორატორიული ცდების ჩასატარე-
 ბლად გამოიყენებიან (ნახ. XVII. 6, ა);

ბ) ლუმენები, რომელთა ინდუქტორები ვაკუუმ-კამერაშია განლაგებული.
 ამ უკანასკნელებში ფართო პრაქტიკული გამოყენება პოვა პრაქტიკაში, რად-
 განაც ამ შემთხვევაში მაქსიმალურად შეიძლება ინდუქტორის მიახლოება სა-
 დნობ ლითონთან, რაც ამცირებს დანაკარგებს და ზრდის მ. ქ. კ (ნახ. XVII.
 6, ბ);

2. ლუმენისა და ტეგელის გადაადგილების მიხედვით:

ა) ლუმენები, რომლებშიც თხევადი ლითონის ტეგელიდან გადმოსასხ-
 მელად ვაკუუმ-კამერასთან ერთად დახრიან ლუმენს (ნახ. XVII. 6, ბ);

ბ) ლუმენები, რომლებშიც თხევადი ლითონის ტეგელიდან გადმოსასხ-
 მელად უშუალოდ ვაკუუმ-კამერაში ახდენენ ინდუქციური ლუმენების დახრას
 (ნახ. XVII. 6, გ).

ცეცხლგამძლე ამონაგად ძირითადად ისეთი მასალები გამოიყენება, რო-
 მლებიც მუშა ტემპერატურაზე ხასიათდებიან გაჯერებული ორთქლის მაღალი
 წნევით, მინიმალური აირგამოყოფით, ადვილად დისოცირდებიან ნეიტრების
 მინიმალური შეკველობით, აქროლადების მინიმალური გამოყოფითა და სა-
 კაზე მასალებთან მინიმალური ურთიერთქმედებით. ტეგელის დამზადებისა
 და ამონაგას მასალის სწორი შერჩევაზე დიდად არის დამოკიდებული გამოდ-
 ნობილი ფოლადის ხარისხი.

ინდუქციური ვაკუუმ-ლუმენების ამონაგისათვის გამოიყენება ელექტრო-
 გამოდნობის ოლუმინი, მაგნიუმის, კალციუმის, ცირკონიუმისა და სხვათა
 ფაქტურებისა ფხვნილები. დიდა ტევადობის ლუმენებისათვის ძირითადად
 298

გამოიყენება კორუნდის ცეცხლგამძლე აგური, რომელთა მდგრადობა 25 4/ დნობას შეადგენს.

თანაზერდოვ საწარმოო ლუმენები მუშაობენ 10³—10⁴ მმ. წ. სე. ვაკუუმზე. უფრო მეტი ვაკუუმის მიღებისათვის საჭიროა მაღალმწარმოებლური მძლავრი ტუმბოების გამოყენება, რაც ახანგრძლივებს დნობის პროცესს და აძვირებს პროდუქციას.

დნობისათვის გამოიყენება ზეთისა და ქანკულებისაგან გასუფთავებული საკაზი მასალები. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა საკაზი მასალებში ტყვიის, თუთიის, კალის, თითზრის, ბისმუტისა და სხვა ალკილმდნობი ლითონების არსებობას. არაა მიზანშეწონილი ელექტროლიტური გზით მიღებული ლითონების კაზში გამოყენება, რომლებიც შეიცავენ დიდი რაოდენობით აირებს, რადგანაც მათი დეგაზაციისათვის საჭიროა დიდი დრო. საწარმოო დნობის პროცესი შემდეგი პერიოდებისაგან შედგება: ამოტუმბვის, დნობის, ლეგირების, გამეანგველი მასალების დამატებისა და გამოშვებისაგან.

იმ შემთხვევაში, თუ მარგულარულ ელემენტებად გამოიყენება ისეთი ლითონები, რომელთაც აქვს ორთქლის მაღალი დრეკადობა (მაგალითად, მანგანუმი, ქრომი), ზათი ლითონში შენარჩუნებისა და აორთქლების თავიდან ასაცილებლად ლუმენში უკლებენ ნეიტრალურ აირს (არგონი) 30—50 მმ. ვ. წ. წნევით. მილეგირებელი ელემენტების შეტანის შემდეგ ლითონს ახურებენ მოციმულ ტუმბოებში და მზღვივ წნევის ქვეშ მას ბოყეებში ან ფორმებში ჩამოასხამენ. წნევის ქვეშ ლითონის ჩამოსხმა გაძლევეს მკვირვ და ხარისხიან სხმულს.

რკინა-ნახშირბადოანი შენადობების (~3,4% C) დნობის შემთხვევაში ლითონის დესულფურაციის ხარისხი 80%-ს აღწევს. ეს უკანასკნელი ტუმბოების ზრდასთან ერთად კიდევ უფრო ხსრდება.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის ფოლადის ვაკუუმური ინდუქციური დნობის შემთხვევაში სილიციუმის დამატებით შეიმჩნევა გოგირდისაგან ლითონის კარგი გასუფთავება.

ნახშირბადით გოგირდის მოცილების პროცესი შესაძლოა შემდეგი რეაქციებით წარმოვიდგინოთ:



ამგვარად, ვაკუუმური ინდუქციური დნობას პროცესისას ლითონიდან გოგირდის მოცილება შესაძლოა მისი ქანგბადთან ან ნახშირბადთან შეერთებით. სილიციუმის ან ალუმინის არსებობა ფოლადში იწვევს მასში გახსნილი ელემენტარული გოგირდის აქტივობის ზრდასა და ვაკუუმში მის აქროლებას.

დნობის პროცესში ლითონს ცილება ტენი, წყალბადი და ნაწილობრივ აზოტი. თხევადი ლითონი დნობისას დულს მისგან ნახშირბადის ბუტულების გამოყოფის შედეგად. ეს უკანასკნელი მიიღება ლითონში გახსნილ ქანგბადთან ნახშირბადის მიქმელებათ. გადნობის შემდეგ თხევად ლითონს 20—40 წუთის განმავლობაში აყოენებენ ლუმენში. ამ დროს წარმოებს ლითონის რაფინირება, განეანგვა და ლეგირება. დაყოენების პროცესში მიმდინარეობს ნახშირბადით ლითონის განეანგვა. გამყოფილი აირიოვანი პროდუქტები არ ანაგვიანებს ლითონს არალითონურა ჩანარებთან. რაფინირების პარალელურად

დაყოვნების პროცესში ორთქლებმა ფერადი ლითონის მინარტყები (Zn, Sn Pb, AS, Bi). გამოდნობილი ლითონი, როგორც წესი, ვაკუუმში ფორმებში ან ბოყვებში გადმოსხმება.

ვაკუუმ-რკალური დნობის ლემელებს მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ვაკუუმში ელექტრორკალის მეშვეობით ელექტრული ენერჯის თბურ ენერჯიად გარდაქმნაზე. ხარისხიანი ფოლადების წარმოების პრაქტიკაში დიდი გავრცელება პოვა რკალურმა ვაკუუმურმა ლემელებმა (B/II) სახარჯო ელექტროდის გამოყენებით, რომლებიც ძირითადად მუდმივ დენზე მუშაობენ (ნახ. XVII. 7). სახარჯო ელექტროდის რკალური გადადნობის ძირითადი პრინციპები ჯერ კიდევ 1892 წელს პირველად ჩამოაყალიბა ელექტრორკალური შედლებების გამომგონებელმა ნ. სლავიანოვმა თავის წიგნში „ლითონების ელექტრული ჩამოსხმა.“ აქამად ლითონების გადადნობა რკალურ ვაკუუმური მეთოდით ფართოდ გამოიყენება ტიტანის, ცირკონიუმის, მოლიბდენისა და მათი შენადნობების სხმულების დასამზადებლად. პროცესის სტაბილურად მიმდინარეობისათვის ძირითადად გამოიყენება მუდმივი დენი (პირდაპირი პოლარობით მიწუს ელექტროდზე).

სახარჯო ელექტროდით გადადნობის პროცესს შედარებით დაბალ სიჩქარეებზე აწარმოებენ, რათა კრისტალიზატორში თხევადი ლითონის მიწოდების სიჩქარე ტოლი იყოს დადუღებული ლითონის გაჟვარების სიჩქარისა. ყოველივე აღნიშნული განაპირობებს ლითონის თანამიმდევრულ და ქვევიდან ზევით მიმართულ გამჟვარებას მკერძი და ერთგვაროვანი სხმულის მიღებით.

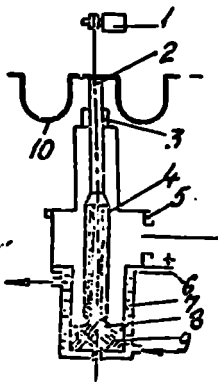
აღნიშნული პროცესით მიღებული ლითონი ხასიათდება აირებისა და არალითონურა ჩანარების მცირე შემცველობით. აღნიშნული მიიღწევა, უპირველს ყოვლისა, დნობის პროცესში ვაკუუმის გამოყენებითა და კრისტალიზაციის სასურველი პირობებით.

ამგვარად, ვაკუუმში ფოლადების რკალურ გადადნობას ახასიათებს შემდეგი ძირითადი უპირატესობანი: სხმულის თანაბარი კრისტალიზაცია; სხმულის მთელ სიზღალესა და განივკვეთში ელემენტების თანაბარი განაწილება (სეგრეაცია); ჩაჯდომის დეფექტების თავიდან აცილება; აირების არალითონური ჩანარებისა და დვილმდნად ფერადი ლითონების მინარტყებისაგან ლითონის სისუფთავე; მკერძი სხმულის მიღება და სხვ.

ცეცხლგამქლე ამონაგის მაგივრად სპილენძი წყლით გამაცივებელი კრისტალიზატორის გამოყენება იძლევა მაღალი ხარისხის, არალითონური ჩანარებისაგან სუფთა ლითონის მიღების შესაძლებლობას.

ამ მეთოდის უარყოფით მხარეებად შეიძლება ჩაითვალოს: გამზადებული ფოლადის ნაგლის (ჩამზადის) გადადნობა; მსხვილ საწარმოო დანადგარებში დნობის პროცესში ლითონის ლეგირების სიძნელე—პრაქტიკულად განუხორციელებლობა და სხვ.

ღუქელი შედგება პერპეტუილი კამერისაგან, რომლის ქვემოთ მიერთებულია წყლით გამაცივი-



ნახ. XVII. 7. ფოლადების ვაკუუმ-რკალური გადადნობის ლემეს სქემა:

- 1—ამბრავი; 2—ელექტროდის დამბრავი; 3—ამბრავის ზედა კორპუსი; 4—სახარჯო ელექტროდი; 5—ვაკუუმ-კამერა; 6—კრისტალიზატორი; 7—წყლის პერსონი; 8—ელექტრორკალის; 9—გამჟვარებული ლითონი 10—დენისაკვანი.

ბელი სპილენძის კრისტალიზატორი. უკანასკნელის დიამეტრი 500—1000 მმ და მეტსაც აღწევს. მისი განივეკეთოს ფორმა შესაქლოა სხვადასხვა იყოს. გარედან კრისტალიზატორზე მიღლებულია წყლით გამაცხებელი პერანგი, რომელშიც წყალი მაღალი წნევით ცირკულირებს. ღუმლის კამერა მიერთებულია მძლავრ ვაკუუმსისტემასთან. კამერის ზემოთ, სახურავზე, სპეციალურ შექვიდრობებში თავისუფლად მოძრაობს პოლირებული წყლითგამაცხებელი ლითონის შტანგი, რომელიც სახარჯო ელექტროდის დამკერსა და ელექტროდთან დენის მიმყვანს წარმოადგენს. მის ბოლოში სპეციალური დამკერების შეშვებით მყარად არის ჩამაგრებული ლითონის გადასადნობი ელექტროდი, რომელიც შესაძლოა იყოს მრგვალი, ოთხკუთხა ან სხვა ფორმის კვეთის. ელექტროდისა და შტანგის გადაადგილება სპეციალური ელექტრომექანიკური მექანიზმებით ხორციელდება. პროცესი ავტომატურად რეგულირდება. დენის ჩართვისთანავე ელექტროდის ბოლოსა და კრისტალიზატორის ძროზე მოთავსებული ლითონის მრგვალ ამნობებს შორის წარმოიქმნება ელექტრული რკალი, რომლის ზემოქმედებითაც ლითონის ელექტროდი დნება. გამდნარი ლითონის წვეთები გაუადის კრისტალიზატორში, სადაც წარმოქმნის თხევადი ლითონის აბაზანას. ლითონის ელექტროდის დნობასთან ერთად ლითონის აბაზანის ქვედა ფენები უწყვეტად განიცდის გაჟვარებას, რის შედეგადაც საბოლოოდ წარმოიქმნება გადამდნარი ლითონის სხმული (ზოლი).

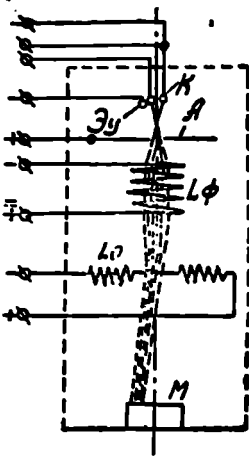
სპილენძის მაღალი თბოგადაცემის უნარის გამო კრისტალიზატორის თხევად ლითონთან კონტაქტში მყოფი კედლები ვერ ასწრებს დნობის ტემპერატურამდე მისვლას. ამის საფუძველზე მიმდინარეობს ლითონის სხმულის მიმართული კრისტალიზაცია. განსაკუთრებული სისუფთავისა და ხარისხის ფოლადის სხმულის მისაღებად ახდენენ ლითონის ორმაგ ვაკუუმ-რკალურ გადამდნობას, ან თავდაპირველად ლითონს ადნობენ ინდუქციურ ვაკუუმ-ღუმელებში, ხოლო შემდგომ ახდენენ მის ვაკუუმ-რკალურ გადამდნობას.

ექსპერიმენტით დამტკიცებულია, რომ ელექტროდის დნობის სიჩქარე პირდაპირი პოლარობის დროს (ელექტროდი-კათოდი) უფრო მცირეა, ვიდრე უკუპოლარობის (ელექტროდი-ანოდი) შემთხვევაში. დადგენილია აგრეთვე რომ პირდაპირი პოლარობის შემთხვევაში თხევადი აბაზანის სიღრმე და სხმულის ჩაღრმვა უფრო მეტია, ვიდრე უკუპოლარობის შემთხვევაში.

ელექტრონულ-სხივური დნობის პრინციპი დამყარებულია გასადნობი მასალის ზედაპირის ელექტრონული კონიით (სხივით) „დაყუმბარებაზე“. ამ დანადგარებში ხორციელდება გახურებულ კათოდთან ამოტყორცნილი ელექტრონების მიმართული სწორხაზობრივი აჩქარება, რომელსაც ანიჭებს მას კათოდისა და ანოდის შორის არსებული მძლავრი ელექტრული ველი. ამგვარად, მოძრავი ელექტრონები იძენს დიდ კინეტიკურ ენერჯიას. დაჯახების მომენტში ე. ი. „დაყუმბარებისას“, გადასადნობი ლითონის ზედაპირზე, ელექტრონების კინეტიკური ენერჯია გარდაიქმნება თბურ ენერჯიად, რის შედეგადაც ლითონი დნება.

ელექტრონულ-სხივური დნობა გამოიყენება სპეციალური მაღალხარისხიანი სუფთა ლითონების, ფოლადების, შენადნობებისა და მაღალი სისუფთავის ძნელადდნობი ლითონების (ვოლფრამი, მოლიბდენი და სხვ.) მისაღებად.

ელექტრონულ-სხივური დნობის ღუმელების უპირობესობა ლითონების მაღალი ხარისხით რაფინირებაში მდკომარეობს, რომელიც ღრმა ვაკუუმში წარისართება. მაღალ ტემპერატურაზე ამ დანადგარებში თხევადი ლითონი არ ეხება ამონაგს. შესაქლოა აქტიური და ძნელადდნობი ლითონების დნობა და



ნახ. XVII. 8. ელექტრონულ-სხივერი სატუორკნის სქემა: K—კათოდი; A—ანოდი; $E\gamma$ —სამართავი ელექტროდი; $L\phi$ —დასაფოკუსირებელი სისტემა; L_1 —სხივის გადასაბრელი სისტემა; M—გასახერხებელი ლითონი.

აღწევს. ანოდის ქვემოთ მოთავსებულია სხივის გამტარი მილი, რომლის ირგვლივ განლაგებულია მაფოკუსირებელი სისტემა. ეს უკანასკნელი ელექტრონების ვიწრო სხივს მიმართავს გამხურებელი ზედაპირისაკენ. ამის შემდგომ მოდის სხივის გადახრელი სისტემა, რომლის დანიშნულებაც მდგომარეობს სხივის ნებისმიერი ტრაექტორიით გადახრაში (ნამზადის ზედაპირის ნებისმიერ წერტილზე). გადახრელი და მაფოკუსირებელი სისტემები წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ კოქებს, რომლებიც ქნიან სამართავ მაგნიტურ ველს. ეს უკანასკნელი შესაბამის ზეგავლენას ახდენს ელექტრონულ ნაკადზე და ირეგულირებს მისი მიმართულების გადახრას, ძალას ან შევიწროებას.

ელექტრონულ-სხივერი სადნობი დანადგარი შედგება ვაკუუმ-კამერისაგან, რომელშიაც სხეულის მისაღებად მოთავსებულია წყლით გამაცივებელი სპილენძის კრისტალიზატორი ან ლითონის გარნისაჟული დნობისათვის წყლითგამაცივებელი სპილენძის ფილა. კამერაში ვაკუუმში 10^{-2} — 10^{-3} მმ. ეწ. სვ. (1,33—0,13 ბა) აღწევს. გადასადნობი ლითონის ნამზადი მიეწოდება კრისტალაზატორის ვერტიკალური ლერქის გასწვრივ ან პორიზონტალურად გვერდიდან.

ვოლტამის, მოლიბდენის, ნიობიუმისა და ტანტალის ელექტრონულ-სხივერი გადადნობის შედეგად მათში ნახშირბადის, აზოტისა და უანგბადის შექცევლობა მეთასეუ პროცენტამდე ეყვამ ამის შედეგად მიიღება ზესუფთა ხარისხის პლასტიკური ძნელადმდნობი ლითონები.

ელექტრონულ-სხივერი გადადნობა ძირითადად გამოიყენება სპეციალურ

რადიონირება. თხევადი ლითონის გამყარება ნიშიდნარეობს სპილენძის კრისტალიზატორში, რომელიც წყლით ცივდება. უარყოფით მხარედ შესაძლოა ჩაითვალოს ელექტროენერჯის დიდი ხარჯი, დანადგარის სირთულე და სიძვირე. ელექტრონულ-სხივერი დანადგარის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს ელექტრონულ-სხივერი სატუორკნი (ნახ. XVII. 8). K კათოდი ხურდება დამხმარე ელექტროდისაგან ელექტრონების დაყუებარებით. დამხმარე კათოდის გახურება მასში დენის გავლით ხორციელდება. ელექტრონების აჩქარებისათვის დამხმარე და ძირითად ელექტროდებს შორის მოდებულია მცირე სიდიდის პოტენციალთა სხვაობა. კათოდის ირგვლივ მოთავსებულია სუსტი უარყოფითი მუხტის მქონე მაფოკუსირებელი ელექტროდი, რომლის მეშვეობითაც ელექტრონების ნაკადი ფოკუსირდება ანოდის ხეერში. ეს უკანასკნელი აიძულებს ელექტრონებს ნაკადსა და თვით ელექტრონებს შეასრულონ გარკვეული სწორხაზობრივი მოძრაობა ყოველგვარი გადახრის გარეშე. ანოდი წარმოადგენს ხერეღიან დიფრაგმას, რომელიც დამიწებული და იზოლირებულია. კათოდსა და ანოდს შორის ელექტრონების აჩქარებისათვის მოდებული ძაბვა 30-კვტ-ზე მეტს

ჩი დანაშნულების ზესუფთა ფოლადები' მისაღებაუ — ზუსტი ხელსაწყობისა და ნაქეთობების დასამზადებლად, რომლებსაც უხდებთ მძიმე პირობებში მუშაობა.

გარდა აღნიშნულისა, გადადნობის პროცესში მიმდინარეობს ლითონიდან ისეთი ზაენე ელემენტების აორთქლება და მისგან გასუთთაება, როგორც არის ტყვია, დარიშხანი, თუთია, ბისმუტი და სხვა ფერადი ლითონები; ამასთან მკვეთრად მცირდება არალითონური ჩანართების რაოდენობა (მაგალითად, 0,01-დან 0,004% -მდე), რაც საგრძნობლად ზრდის გადადნობილ ლითონების მექანიკურ თვისებებს.

§ XVII. 6. ელექტროფილური დნობით ფოლადის წარმოება

როგორც ცნობილია, წინააღობის ელექტროლემების მოქმედების პრინციპი დამყარებულია გამტარში ელექტრული დენის გავლით სითბოს გამოყოფაზე.

პირველყოფილმა წინააღობის ლემებმა ფოლადსადნობ წარმოებაში დიდი გავრცელება ეურ პოვეს. ირიბი ბურების წინააღობის ლემების ბურების ძირითად ელემენტს წარმოადგენს გამახურებელი, რომელიც იძლევა მაღალ ტემპერატურას (პირველი ასეთი ერთფაზიანი 0,75 ტ. ნახშირგამახურებლებისანი ლემელი რუსი ინჟინრების ს. შტეინბერგისა და ა. გრამოლინის მიერ იქნა კონსტრუირებული). პირველი მსოფლიო ომის დროს ასეთი ლემლები დაყენებულ იქნა მოტოვილიხინსკის ქარხანაში. ლემლებს უარყოფით მხარეს წარმოადგენს: ელექტროენერგიის დიდი ხარჯი, მსხვილი საწარმოო ლემლების შექმნის სიძნელე, დიდი თბური დანაკარგები და სხვ.

ამჟამად ხარისხიან მეტალურგიაში ფართო გამოყენება პოვა უკრაინის-აკადემიის ე. პატონის სახ. ელექტროშედლების ინსტიტუტის მიერ დაბეზავებულია შეთოდმა, ე. წ. ფოლადების ელექტროფილურმა გადადნობამ (ЭПД).

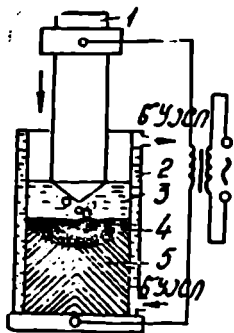
ელექტროფილური გადადნობის ლემლები წარმოადგენს ირიბი ბურების წინააღობის ლემლებს, სადაც ბურების წყაროს წარმოადგენს წინასწარ მოცემული ქიმიური შედგენილობის გამდნარი წილა (ფლუსი). შტანგის სახის გადასადნობი ლითონის ბოლო ჩაშვებულია გამდნარ წილაში, სადაც იგი ბურდება და დნება თბოაცემით. რადგანაც თვით გადასადნობი შტანგი (ნამზადი) წარმოადგენს ელექტრული წრედის ერთ-ერთ ნაწილს, რომელშიაც გადის დენი, ამიტომ მას ე. წ. გადასადნობ ელექტროლა უწოდებენ.

თვით ელექტროფილური პროცესი ელექტროფილური შედლების პროცესიდან წარმოიქმნა, რომელიც 50-იან წლების დასაწყისში დამუშავდა აკად. ბ. პატონის მიერ ე. პატონის სახ. ელექტროშედლების ინსტიტუტში.

ელექტროფილური შედლების პროცესში ელექტროდის ბოლოზე გამდნარი ლითონი წვრილი წვეთების სახით გამდნარი წილის ფენის გავლით გადადის თხევადი ლითონის აბაზანაში და წარმოქმნის ვერტიკალური მიმართულებით დაკრისტალბულ ლითონს.

ელექტროფილური შედლების შემდგომმა გაუმჯობესებამ გამოავლინა საშუალება დენის დაბალ სიმკვრივეებზე შეღარებით დიდი კვეთის ელექტროდების გამოყენებისა (5—6 ა/მ², ნაცვლად 50—60 ა/მ²). ამის საფუძველზე განხორციელდა 3—5 მმ დაამეტრის მუთულების ელექტროფილური დნობიდან ეურო დიდი კვეთის ელექტროდების გადადნობაზე გადასვლა ($d = 1250$ მმ).

1956 წელს მსოფლიოში პირველად ე. პატონის სახ. ელექტროშედლების



ნახ. XVII. 9. ელექტროფილ-
ური გადადნობის სქემა: 1—სა-
ხარჯო ელექტროდი; 2—კრის-
ტალიზატორი; 3—გამდნარ
წილა; 4—თხევადი ლითონი;
5—სხმული.

ინსტიტუტში აგებულ იქნა ელექტროფილური დნო-
ბის საცდელ-საწარმოო ლუბელი, ხოლო 1958 წელს
დაიწყო დნობის ამ მეთოდის წარმოებებში დანერ-
გვა. 1963 წელს ელექტროფილური გადადნობის
მეთოდის შემუშავებასა და წარმოებაში მისი
ფართო დანერგვის შედეგად მიღებული ეკო-
ნომიური მაჩვენებლებისათვის ამ პროცესის ავ-
ტორებს მიენიჭათ ლენინური პრემია.

XVII. 9 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტროფილ-
ური გადადნობის სქემა. გადასადნობი ელექტროდის
1 ბოლო ჩაყვინთულია თხევადი ელექტროგამტარი
წილის (3) ფენაში. ეს უქანასკნელი წარმოიქმნე-
ბა მყარი წილის ნარევის უშუალოდ სმილენძის
კრისტალიზატორში 2 გადნობით ან სპეციალურ
სადნობ აგრეგატში გამოდნობილი თხევადი
წილის კრისტალიზატორში ჩასხმით. ცუდადი

ელექტროდენი გადის ელექტროდასა და თხევად
წილაში, რის შედეგად ლენცი-ჯოულის კანონის საფუძველზე გამოიყოფა სით-
ბოს დიდი რაოდენობა. ამის შედეგად წილის ტემპერატურა $1800-2000^{\circ}\text{C}$ -
მდე აღწევს. წილის აბაზანაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ნაწილი
ელექტროდის ბოლოს გადაეცემა, რომელიც წილაშია ჩაშვებული. ამის გამო
ელექტროდის ბოლო დნობას იწყებს. ლითონის დნობის პროცესი რეგულირ-
დება მიყვანილი ძაბვის ცვლილების მიხედვით (ელექტროდის მექანიზმების
შეშეგობით). გამდნარი ლითონი წვეთების სახით გადის აქტიური თხევადი
წილის ფენას, სუფთავედება ახალითონური ჩანართებისა და შავენი მინა-
რეგებისაგან და გადადის ლითონის თხევად აბაზანაში 4, რომელიც შემ-
დგომ კრისტალდება და წარმოქმნის სხმულს (5). სხმულის გამყარება
მიმდინარეობს თანაშიმდევრობით კრისტალების ქვემოდან ზევით ზრდის მიმარ-
თულებით, რაც იძლევა მკერძ და ერთგვაროვან სტრუქტურას. ამასთან წილა
იცავს თხევად ფოლადს პერის ატმოსფეროს მაგნე ვაგენისაგან. ამგვარ-
ად, გადადნობის პროცესში ლითონი კარგად რაფინირდება.

ელექტროფილური გადადნობის პროცესში უშუალოდ კრისტალიზატორის
კელელთან წარმოიქმნება 3 მმ-მდე გამყარებული წილის თხელი ქერქი—გარნი-
საგი. ეს უქანასკნელი, თავის მხრივ, წარმოადგენს სხმულისა და კრისტალი-
ზატორის კედელ შორის ბუნებრივ თბურ და ელექტროიზოლატორს; გარდა
ამისა, იძლევა სხმულის კარგი ზედამართის შიღების საშუალებას.

წილის როლი ელექტროფილური გადადნობის პროცესში ძალზე დიდია,
რადგანაც მის ფიზიკურ, ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებსა და ქიმიურ შედგენი-
ლობაზე დამოკიდებული გადასადნობი ლითონის რაფინირების ხარისხი. აში-
ტომ, წილის შერჩევასა და თხევადი წილის აბაზანის შედგენილობას წაყვინ-
გა რიგი მოთხოვნები. ამის შედეგად ყველა კონკრეტული შემთხვევისათვის
საკუთრად შესაბამისი თვისებებისა და ქიმიური შედგენილობის წილების შერ-
ჩევა.

თხევად ნდგომარეობაში წილა უნდა ხასიათდებოდეს რაც შეიძლება მა-
ღალი ელექტროგამტარობით. დნობის სტაბილური პროცესისათვის აუცილე-
ბელია გამდნარ წილაში კათიონების არსებობა, რაც ხელს უშლის ელექტროკა-
ლური პროცესის წარმოქმნას. ამასთან, წილის კომპონენტების დუღილისა და
აორთქლების ტემპერატურა რაც შეიძლება მაღალი უნდა იყოს.

მაგალითისათვის XVII. 1 ცხრილში მოყვანილია ШХ15 მარკის ფოლადის გაღადნობის პროცესის მაჩვენებლებზე წილის ელექტროგამტარობის გავლენა.

ცხრილი XVII.1.

წილის ელექტროგამტარობის გავლენა ШХ15 მარკის ფოლადის ელექტროწიღურა გაღადნობის პროცესის მაჩვენებლებზე

| წილის მარკა | კომპიურა შედგენილობა | | | 1400—800°C-ზე ელექტროგამტარობა, ომ/კმ | მწარმოებლის რეგისტრაცია, კვ/სთ | ელექტრონების კუთრი ხარჯი, კვტ. სთ/ტ |
|-------------|----------------------|-----|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | CaF ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | | | |
| АНФ—1* | 100 | — | — | 5:0—60A | 102 | 1546 |
| АНФ—6 | 70 | — | 30 | 120—320 | 132 | 1055 |
| АНФ—29 | — | 45 | 55 | 40—150 | 182 | 950 |

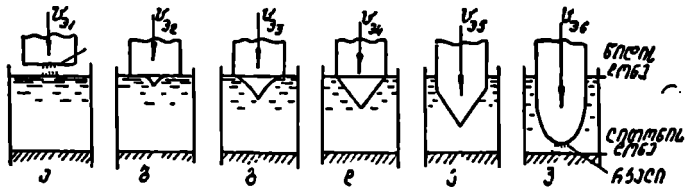
*АН—Академия наук; Ф—флюс.

ამგვარად, ელექტროწიღური გაღადნობის წილებს წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები: მინიმალური ენერჯის უნარი, განგოგირდების მაღალი უნარი, არალითონური ჩანართებისა და აირებისაგან გასუფთავების მაღალი უნარი, თხევადი ლითონის დაკუა ქაერის მეფე გავლენისაგან და სხვ.

ყოველივე ზემოჩამოთვლილ მოთხოვნებს შედარებით კარგად და სრულყოფილად აკმაყოფილებს კალციუმის ფთორიდი (CaF₂), რომლის ფუძეზეც ელექტროწიღური გაღადნობისათვის ამჟამად რიგი წილებია შემუშავებული.

ელექტროლის დნობის საერთო კანონზომიერებანი ძირითადად დამოკიდებულია მის დიამეტრზე, დენის ძალასა, ძაბვასა და წილის აბაზანის სიღრმეზე. ელექტროლის მცირე მიწოდების შემთხვევაში მისი ძირის დნობა მიმდინარეობს წილის აბაზანის ზედაპირის მახლობლად; ამის შედეგად ელექტროლის ტორის ბრტყელი რჩება (ნახ. XVII.10, ა) და შეიძლება ელექტროლისა და წილის ზედაპირის შორის რკალის წარმოქმნა. ეს შედეგია ელექტროლის ბოლოზე თხევადი ლითონის წვეთის „ხეტილისა“, რომლის მოწყვეტის მომენტში რკალური განმუხტვა წარმოიქმნება.

ელექტროლის მიწოდების სიჩქარის ზრდა იწვევს წვეთის „ხეტილის“ შეწყვეტასა და ელექტროლის ტორის ცენტრიდან მის მშვიდ მოწყვეტას. ამგვარად, ელექტროლის ცენტრში შეიძლება კონუსისმაგვარი მცირე წამონახარდი (ბ, გ, დ). ელექტროლის მიწოდების შემდგომი ზრდა იწვევს კონუსის ფორმის შემდგომ ზრდასა და მიწოდების დიდ სიჩქარეებზე მისი ფორმა ელექტროლის დიამეტრს უახლოვდება (ე, ვ). ამ შემთხვევაში ელექტროლის ბოლო მცირე მანძილით უახლოვდება ლითონის აბაზანის ზედაპირს და მათ შორის



ნახ. XVII. 10. დნობის რეჟიმების გავლენა სახარჯო ელექტროლის დნობის სახითზე 20. ს. აკობაშვილი

ელექტრული რკალი წარმოიქმნება. ელექტროდიდან ლითონის წვეთის მოწყვეტის მომენტში შეიმჩნევა მოკლე ჩართვები, რაც არღვევს პროცესის მდგრად ელექტრულ რეჟიმს.

ელექტროწიდური პროცესის ნორმალური მიმდევრობის შემთხვევაში ელექტროდის ბოლოზე წარმოქმნილ კონუსს აქვს $90-120^\circ$ კუთხის წვერო. დნობის პროცესა და რაფინირების უნარი ძირითადად დამოკიდებულია წილის სიბლანტესა, სიმკვრივესა, ზედაპირულ და ფაზათა შორის დაკიმულობაზე.

წილის აბაზანაში გამოყოფილი სითბოს Q რაოდენობა განისაზღვრება ცნობილი ჯოულ-ლენცის კანონით.

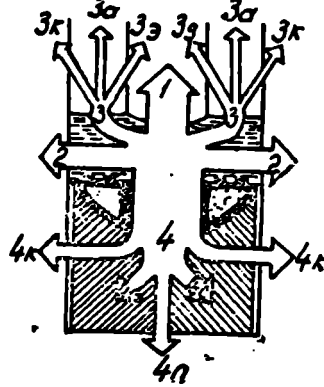
$$Q = 0,24 I^2 R_{\Sigma} t, \quad (\text{XVII. 2})$$

სადაც I არის წილაში გამავალი დენის ძალის სიდიდე, R_{Σ} —გამდნარი წილის წინალობა, t დენის გავლის დროის ხანგრძლივობა.

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ დენისა და წინალობის ზრდა იწვევს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ზრდას. თავის მხრივ, ძაბვის ზრდასა და წინალობის შემცირებასთან ერთად დენი იზრდება (ომის კანონით) $I = U/R_{\Sigma}$. ელექტროწიდური გადადნობის პროცესში ყველა ეს სიდიდე ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. ერთ-ერთის ცვლილება იწვევს დანარჩენების ცვლილებას.

წილის აბაზანაში ელექტროდენის გავლით გამოყოფილი სითბო გამოიყენება ელექტროდის დნობაზე, თხევადი წილისა და ლითონის აბაზანის შენარჩუნებასა და გადახურებაზე. ამასთან სითბოს ძირითადი ნაწილი გადაიტანება ქველისა და კრისტალიზატორის კედლების გამაცივებელი წყლის მიერ, წილის სარკისებრი ზედაპირიდან გამოსხივებითა და მისგან გამოყოფილი აირების მიერ. სითბოს ნაწილი აქუმულირდება დაკრისტალებული ლითონის სხმულის მიერ.

ელექტროწიდური გადადნობის პროცესში სითბოს განაწილების სქემატური გამოსახულება მოყვანილია XVII.11 ნახაზზე. განვიხილოთ სითბოს ხარჯის ძირითადი წყაროები:



1. სასარგებლო სითბო, რომელიც იხარჯება ელექტროდის გახურებასა და დნობაზე;
2. სითბო, რომელიც თხევადი წილის აბაზანიდან ვადაეცემა კრისტალიზატორის კედლებს და გაიტანება გამაცივებელი წყლით;
3. სითბო, რომელიც თხევადი წილის აბაზანის ზედაპირიდან გამოსხივებით გადაეცემა კრისტალიზატორის კედლებს Q_5 , ატმოსფეროს Q_6 და ელექტროდს Q_1 , მათგან სასარგებლოდ გამოიყენება მხოლოდ Q_3 სითბო;
4. სითბო, რომელიც თბოგამტარობითა და ელექტროდის ლითონის წვეთების შეშვობით თხევადი წილის აბაზანიდან გადაეცემა ლითონის აბაზანას. შემდგომ ეს სითბო თბოგადაცემით მიჰყავთ კრისტალიზატორის კედლებთან $4k$ (გარნისაციის ვაელით). ნაწი-

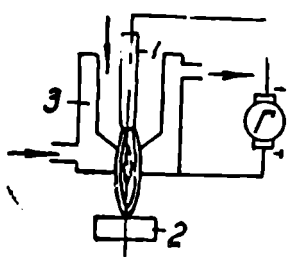
ნ.ხ. XVII.11. ელექტროწიდური გადადნობის პროცესში სითბოს განაწილების სქემა.

ლი გადაეცემა კრისტალიზატორის ქვედს 4ჟ, საიდანაც შემდგომ გაიტანება გამაცივებელი წყლით; ნაწილი სითბო 4c სხმულში აკუმულირდება.

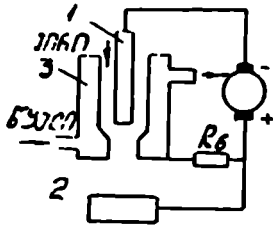
§ XVII. 7. პლაზმურ-რკალური დნობით ფოლადის წარმოება

დღევანდის კნელა მოიქმნის სახალხო მეურნეობის ძირითადი დარგები (შეტალურგია, მანქანათმშენებლობა, ქიმა და სხვ.), სადაც პლაზმური ტექნიკის გამოყენებას დიდი პერსპექტივები ჰქონდეს. პლაზმის გამოყენება ისეთ პროცესებშია, როგორც არის მადნური დნობა, ლითონების დნობა და რაფინირება, ალგენითი პროცესებ, დაზარებულა და შენადნობის მიღება, ძნელად-მდნობი ნაერთების შრღება, სხვადასხვა ნივთიერებების სინთეზი, იძლევა დიდ ეკონომიკურ ეფექტს. ყოველივე აღნიშნული შესაძლოა აისხნას იმით, რომ მიახლოებით 5000°C-ზე არა მარტო იონები და ელექტრონები, არამედ ნეიტრალური ნაწილაკებიც კი იძენს დიდ კინეტიკურ ენერჯიას. მუდმივ წნევესა და მაღალტემპერატურულ პირობებში არსებითად ინტენსიური ხდება აირების დაშლისა და დისოციაციის პროცესები. ამასთან რეაქციული უნარი და რეაქტივების სიჩქარე მკვეთრად იზრდება. ამიტომაც, რომ აღზნებულ მდგომარეობაში ატომებს აქვს ისეთი ნაერთების წარმოქმნის უნარი, რომელთა მიღებაც ზეუღებრივ პირობებში შეუძლებელია.

აქედან გამომდინარე პლაზმა წარმოადგენს ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობას, ე. ი. ნაწილობრივ ან შთლიანად იონიზებულ აირს, რომელშიც საერთო მუხტი ნულის ტოლია. პლაზმის წარმოქმნელი აირი შესაძლოა უშუალო მონაწილეობას იღებდეს ქიმიურ რეაქციებში ან შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს, როგორც სითბოს წყარო. გასახულებულ ნაკეთობასა და პლაზმატრონის შიგა ელექტროდს შორის ელექტრულ რკალს პლაზმური (შეკუმშული) რკალი ეწოდება, რომელიც გრძივი მიჰართულებით შეჰოქრევა აირის ნაკადით. იგი მხოლოდ განივეყუთის მიმართულებით პლაზმატრონის საქშენის ცივი კედლებით ან მაგნიტური ველააა შეკუმშული. ჩვეულებრივ, პლაზმური რკალი შიილება პლაზმატრონის პლაზმურ ნაკადში მუდმივი ან ცვლადი დენის გატარებით. ამ შემთხვევაში ელექტრული ენერჯიის ძირითადად ნაწილი გადაეცემა უშუალოდ რკალურ განუტებას, რაც უზრუნველყოფს მაღალ მქკ. პლაზმურ-რკალური ტექნოლოგია სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს ლითონების გადადნობასა და შეტალურგიულ პროცესებში. განვიხილოთ უპარტევისი პლაზმატრონი, რომელიც გამოიყენება შეტალურგიულ, მანქანათმშენებლობასა და სხვა ტექნოლოგიურ პროცესებისათვის. ასეთი პლაზმატრონის სქემა მოყვანილია XVII. 12 ნახაზზე. მუდმივი დენის პლაზმატრონება შედგება ცენტრალური შიგა ელექტროდის, კათოდის და გარე რკალისებრი ელექტროდისაგან (საქშენი)-ანოდის. ელექტროდებს შორის უშუალოდში აწვიდან პლაზმის წარმოქმნელ აირს, რომელიც შემდეგ დიდი სიჩქარით გამოედინება საქშენის ხვრელიდან. ელე-



ნახ. XVII-12. დამოუკიდებელრკალიანი პლაზმატრონის სქემა: 1-შიგა ელექტროდი-კათოდი; 2-გასახულებელი ნაკეთობა; 3-გარე ელექტროდი-წრითული ანოდი (საქშენი).



ნახ. XVII. 13. დამოკიდებულკალიანი პლაზმატრონის სქემა (აღნიშვნები იგივეა, რაც ნახ XVII. 12).

პერატურა 30 000°C-მდე აღწევს. პლაზმის მისაღებად გამოიყენება მაღალი თბოგამტარობის მქონე ორატომიანი აირები: არგონი, ჰელიუმი, წყალბადი აზოტი, აგრეთვე წყლის ორთქლი. პლაზმატრონებს, სადაც ანოდად საქშენი გამოიყენება და რკალი ანთია ცენტრალურ ელექტროდსა (კათოდსა) და საქშენს (ანოდს) შორის, დამოკიდებულკალიანი ეწოდება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ანოდად გასახურებელი ნაკეთობა გვევლინება, ასეთ პლაზმატრონებს დამოუკიდებელკალიანი ეწოდება (ნახ. XVII. 13). ასეთი პლაზმატრონების რკალი გაცილებით უფრო სტაბილურად ანთია და მესს სიმკვრივეც უფრო მაღალია, ვიდრე დამოკიდებულკალიანისა. პლაზმატრონების კათოდი ვოლფრამისაგან მზადდება, ხოლო ანოდი — წითელი ნაქედი სპილენძისაგან ან პლაზმატრონის კორპუსში ჩაბრესილი ვოლფრამის, მოლიბდენის ან ტანტალის რგოლისაგან.

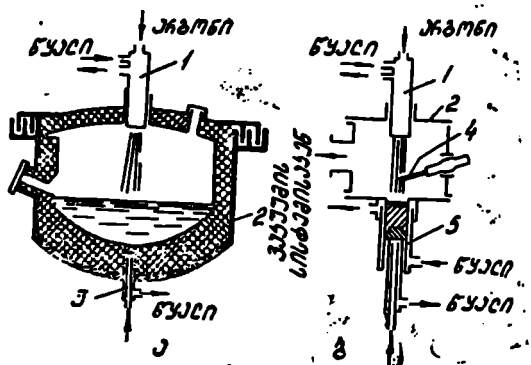
მეტალურგიაში პლაზმური ხურება გამოიყენება ან ცეცხლგამძლეამონაგებთან, ან წყლით გამაცივებელ სპილენძის კრისტალიზატორიან ღუმლებში.

პლაზმურ რკალურ დნობა გვაგონებს ვოლფრამის უხარჯაველექტროდიან ეაქტონურ-რკალურ დნობას.

ლითონის გამოსადნობი ცეცხლგამძლეამონაგებანი პლაზმური ღუმლის სქემა ნაჩვენებია XVII. 14, ა ნახაზზე. თავისი აღნაგობით აღნიშნული ღუმლები თითქმის არაფრით არ განსხვავდება ჩვეულებრივ ელექტრორკალური ფოლადსადნობი ღუმლებისაგან.

წყლით გაცივებული სპილენძის ანოდი (3) აწყობილია ქვედის შიგა ზედაპირის სწორად და კონტაქტშია შეხვად ლითონთან. სადნობ სივრციდან წინასწარ ტუმბოვან ჰაერს, რის შედეგადაც განსაზღვრულ ატმოსფეროში (ჩვეუ-

ქტროდებს შორის, რომლებიც დენის წყაროსთან არიან შეერთებულნი, ინთება ელექტრული რკალი; ეს უკანასკნელი აირის ნაკადის (შეკუმშული რკალის სახით) მაღალი წნევის საქშენის ხერხის გარეთ გამოიქრევა. აირი საქშენის არხის შიგნით მაღალ ტემპერატურაზე ხურდება; ხეულიდან გამოსვლისთანავე მყისვე ფართოვდება და კაშკაშა მანათობელ ჩირაღდნის სახით დიდი სიჩქარით ამოიტყორცნება მისგან. ამგვარად პლაზმური ნაკადი მიემართება გასახურებელ ნაკეთობისაკენ. ამგვარად წარმოიქმნება დაბალტემპერატურული პლაზმა, რომლის ტემ-



ნ.ხ. XVII. 14. ფოლადსადნობი პლაზმურ-რკალური ღუმლების სქემა: ა) ცეცხლგამძლეამონაგებთან; ბ) ფოლადსადნობისკრისტალიზატორიანი; 1—პლაზმატრონი; 2—კაშკაშა; 3—ქვედის ელექტროდი; 4—გადსადნობი ნაშბიდი; 5—კრისტალიზატორი.

ლებრივ ატმოსფერულთან მიახლოებით) მას ავსებენ პლაზმატრონიდან გამოსული აირით (არგონი, წყალბადი, აზოტი). ყოველივე ამის შექმნე იწყებენ დნობის პროცესს.

დასაწყისში პლაზმური რკალი კაზმში წარმოქმნის ვიწრო ღრუს და თხევადი ლითონი ჩაედინება ქვედასაკენ, სადაც იგი გროვდება. ამის შემდეგ მიმდინარეობს მთლიანი კაზმის გადნობა, რომელიც იმყოფება აბაზანის მოცულობაში. ლითონის დეგაზაცია და რაფინირება ძირითადად ინტენსიურად მიმდინარეობს აბაზანის ზედაპირზე, სადაც პლაზმური ჰველით გადახურებული თხევადი ლითონი კონტაქტშია ლუმლის ნეიტრალურ ან აღმდგენელი აირის ატმოსფეროსთან.

დნობისათვის გამოიყენება მუდმივი დენის რამდენიმე ათასამპერიანი მძლავრი პლაზმატრონები. პლაზმის წარმოქმნელი აირისაგან დამოკიდებულებით რკალის ძაბვა იცვლება 30-დან 150 ვ. ხშირად ლუმლის სიმძლავრის ასაწევად სადნობ ლუმელში გამოიყენება პარალელურად მომუშავე პლ.ა.ზ.ტ.რ.ობები.

პლაზმურ ლუმლებში შესაძლებელია არალითონური მასალებიც დნობა. ამ შემთხვევაში გამოიყენება ირიბი ქმედების პლაზმატრონები.

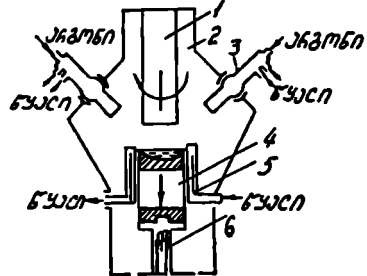
სპეციალური ზესუფთა ლითონების მიღებისათვის მალაფექტურ მეთოდს წარმოადგენს ე. პატონის სახ. ელექტროშედღულების ინსტიტუტის მერე დამუშავებული პლაზმურ-რკალური გადადნობის ტექნოლოგია (ПДП) (ნახ. XVII. 14, ბ).

შტანგის სახის, ნებისმიერი ფორმის გადასადნობი ნაშბადი მუდმივი სიჩქარით მიეწოდება ერთ ან რამდენიმე პლაზმურ რკალს. ამ შემთხვევაში ანოდად სპილენძის კრისტალიზატორში მყოფი თხევადი ლითონის აბაზანის ზედაპირი გვევლინება. ნაშბადის ბოლოდან გამდნარი ლითონი წვეთების სახით გადადის თხევადი ლითონის აბაზანაში. მალაი ტემპერატურა და ამ ტემპერატურაზე აირებთან კონტაქტი ხელს უწყობს ლითონის ინტენსიურ რაფინირებას. ვაშყარებულ ლითონი თანაბარი სიჩქარით ზოდის სახით უწყვეტად გამოიქაჩება კრისტალიზატორიდან. ამ პროცესის დროს მიიღება შედარებით უფრო სტაბილური და მალალი ხარისხის ფოლადი, ვიდრე იგი გადადნობამდე იყო.

რადგანაც პლაზმურ-რკალური დნობის პროცესში პლაზმური რკალის გეომეტრიული ელექტრული პარამეტრების ცვლილებით შესაძლებელია აბაზანის ტემპერატურის ცვლილება, ამიტომ იგი თავისთავად უფრო მეტად მოქნილ ტექნოლოგიურ პროცესად გვევლინება, ვიდრე ვაკუუმ-რკალური და ელექტროწილური დნობის პროცესები. თხევადი ლითონის თანაბარი გახურება მკვრივ, ერთგვაროვანი სხმულის მიღების საშუალებას იძლევა.

პლაზმურ რკალური გადადნობა შესაძლოა ორ ვარაიანად განხორციელდეს — ვაკუუმში ან საკონტროლებელ ატმოსფეროში.

ე. პატონის სახ. ელექტროშედღულების ინსტიტუტში დამუშავებულ იქნა რკი ხაწარმოო მრავალპლაზმატრონიანი პლაზმური კადაუნობის 100—150



ნახ. XVII. 15. მრავალპლაზმატრონიანი ფოლადგადსადნობი ლუმლის სქემა: 1—გადსადნობი ნაშბადი; 2—ნაშბადის მოსთავსებელი კამერა; 3—პლაზმატრონი; 4—ზოდი; 5—კრისტალიზატორი; 6—ზოდის გამოსაქაჩი მექანიზმი;

კვ-დან 3—5 ტონაზე ლუმელები (ნახ. XVII. 15). ამ ლუმელებში კრისტალიზატორის ირგვლივ პლანეტრონები აღ-აღურადაა განლაგებული, რაც ცალკეული პლანეტრონის პლანის ნაკადის რეგულირების საშუალებას იძლევა.

XVIII თავი

ფოლადის ჩამოსხმა და გამყარება

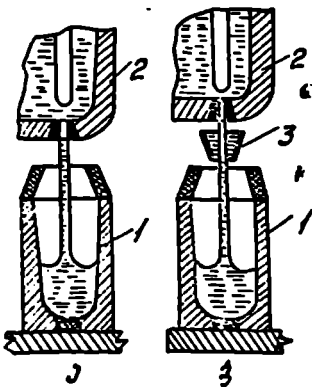
§XVIII. 1. ფოლადის ჩამოსხმის მეთოდები

ამჟამად თხევადი ლითონის ჩამოსხმას ბოყეებში ან უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანებზე აწარმოებენ. ბოყეებში ჩამოსხმის ორა ხერხი არსებობს: ზემოდან ან სიფონით. ზემოდან ჩამოსხმის შემთხვევაში ლითონი ციცხვიდან (შუალედ ციცხვიდან ან ძაბრიდან) უშუალოდ ქვეშე დადგულ ბოყეში ჩაისხმება (ნახ. XVIII. 1). ამჟამად ჩამოსხმა უშთაერესად ზემოდან შუალედური ძაბრის გარეშე წაჩმოვს. ამასთან ლითონის ჩამოსხმას აწარმოებენ ერთდროულად ერთ ან ორ ბოყეში. ორივე ბოყის ავსების შემდეგ ლითონით სავსე ციცხვი ამწებით გადაქვთ სხვა ბოყეების შესაკებად.

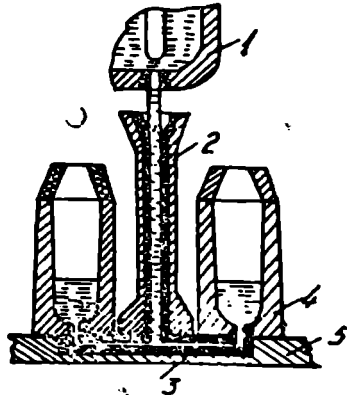
ზემოდან ჩამოსხმის უპირატესობას შეადგენს დიდი სიმარტივე, სიიფე, არალითონური ჩანარების მიმართ ჩამოსხმული ლითონის სისუფთავე (ჩადგანაც თხევადი ლითონი ჩამოსხმის პროცესში არ ეჩება ცეცხლგამძლე მასალებს). უარყოფით მხარედ შესაძლოა ჩაითვალოს სხელის ცუდი ზედაპირი (ბოყის შიგა ზედაპირზე გაშეუვებული ლითონის „მიყინული“ წვეთების არსებობის გამო) და ჩამოსხმის დიდი დრო (რაც არსებითად მოქმედებს ციცხვის ამონაგარს მდგრადობაზე).

სიფონით ჩამოსხმის შემთხვევაში თხევადი ლითონი ფოლადსახშელო ციცხვიდან საცენტრეში ისხმება და სასიფონე გამოყვანის მეშვეობით ერთდროულად ქვეშე მოთავსებულ რამდენიმე ბოყეს ავსებს (ნახ. XVIII. 2). ამგვარად ფოლადის სიფონით ჩამოსხმა დამყარებულია ზიარ კურკლების პრინციპზე.

როგორც მრავალმა კვლევებმა დაგვან.ხა, ლითონის ხარისხის მაჩვენებელი



ნახ. XVIII. 1 ფოლადს ზემოდან ჩამოსხმის სქემა: ა) უშუალო ფოლადსახშელო ციცხვიდან; ბ) შუალედური ძაბრით; 1—ბოყე; 2—ციცხვი; 3—ძაბრი.



ნახ. XVIII. 2. ფოლადის სიფონით ჩამოსხმის სქემა: 1—ციცხვი; 2—საცენტრე; 3—სიფონური გამოყვანი; 4—ბოყე; 5—ქვეშე.

ბლები (შექანიკური თვისებები, შაკროსტრუქტრა, არალითონური ჩანართების შემცველობა და სხვ.) და სხმელის წუნი სხვა ფაქტორებთან ერთად დამოკიდებულია ჩამოსხმის მეთოდებზეც. აღსანიშნავია, რომ ზემოდან ჩამოსხმასთან შედარებით სიფონურ ჩამოსხმას აქვს რიგი უპირატესობანი:

1. ერთ ქვეშე შესაძლოა ჩამოსხმას ოთხი ექვსი და მეტი 3—9 ტ.ანი მასის ზოდები და მრავალი მცირე ზოდები, რაც ჩამოსხმის დროის შემცირების საშუალებას იძლევა;

2. ტემპერატურისა და ქიმიური შედგენილობისაგან დამოუკიდებლად თხევადი ლითონის ჩამოსხმის სიჩქარის რეკულირება და თხევადი ლითონის ზედაპირის მდგომარეობის ვიზუალური თვალყურის დევნება;

3. ჩამოსხმელი ზოდის ზედაპირის შალაი სისუფთავე, რაც ამცირებს შროშითს დანახარჯებს მის გასასუფთაველად.

4. ჩამოსხმის დროისა და საჩერის განხნა-დაკეტვის რიცხვის შემცირების შედეგად იზრდება ციკხვის ამონავის მდგრადობა და უმჯობესდება საჩერის მუშაობის პირობები;

სიფონური ჩამოსხმის უარყოფით მხარეებად შესაძლოა ჩითვალოს ბოყეების დაღმასა და სასიფონე სისტემის აწყობის სირთულე, შედარებით სიძვირე, ჩამოსხმული ლითონის არალითონურ ჩანართებით გაქუქყსანება, ლითონის გამოსავლის შემცირება 0,7—2,0%-ით (რაც დამოკიდებულია სამსხრო სისტემაში ლითონის დანაკარგებზე) ცეცხლაძმლე მასალების დიდ ხარჯი, ქვეშისა და სასიფონე სისტემის აწყობაზე დიდი დანახარჯები და სხვ.

ზემოდან ჩამოსხმის უპირატესობას შედეგნი:

1) ჩამოსასხმელი მოწყობილობების მოზადების შედარებით სიმარტრეე და ჩამოსხმის დაბალი ღირებულება.

2) სასხრო სისტემის უქონლობით ლითონის ხარჯის თავიდან აცილება;

3) ჩამოსასხმაი ლითონის ტემპერატურა შესაძლოა შედარებით ნაკლები იყოს, ვიდრე სიფონურ ჩამოსხმისას და სხვ.;

ამასთან ლითონების ზემოდან ჩამოსხმას გააჩნია რიგი უარყოფითი მხარეებიც:

1. ჩამოსხმული ზოდის ცული ზედაპირი (განსაკუთრებით ქვედა ნ.წილში), რაც განპირობებულია ქველზე თხევადი ლითონის ჰვლის დარტყმის შედეგად გაშეფეთით (დაეანგული და ბოყეის კელეებზე მიყინული ლითონის შეფუბები არ იხსნება თხევად ლითონში და ზოდის ზედაპირზე წარმოქმნის ე. წ. ნაკეცებს). ჩამოსხმული ზოდის გავლინვის პროცესში ეს ნაკეცები არ ელულეება ძირითად ლითონს, რაც მოითხოვს ნაკლინის ზედაპირის გაწმენდას;

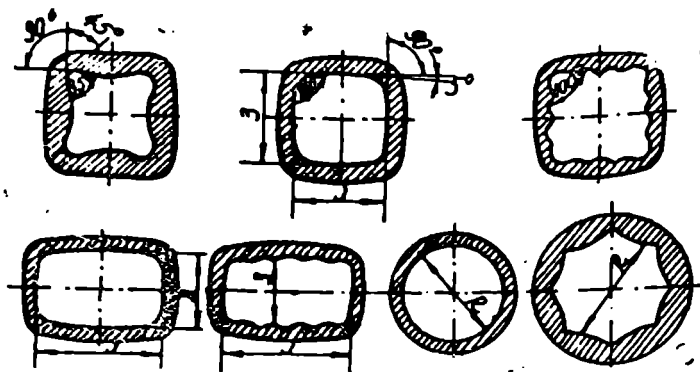
ჩამოსხმის დიდი ხანგრძლივობა;

3. საჩერის პირობების გაუარესება და ციკხვის ამონავის მდგრადობის შემცირება.

მიუხედავად თავიანთი უარყოფითი მხარეებისა, თანამედროვე პრაქტიკაში ჩამოსხმის ორივე მეთოდი ფართოდ გავრცელდა.

ჩამოსხმის ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია ზოდის წონაზე, დნობის რაოდენობასა, ლითონის დანიშნულებასა და სხვ. რაც დიდია ჩამოსხმული ზოდის წონა, მით უფრო მეტად მიმართავენ ზევიდან ჩამოსხმის მეთოდს.

ზემოდან ჩამოსხმის დროს ლითონის ჰვლის გაშეფების თავიდან ასაცილებლად ხშირად შეაულდ ციკხეს ან ძაბრს იყენებენ. ეს უკანასკნელი ამ



ნახ. XVIII. 3. ბოყეების განივევების ფორმები

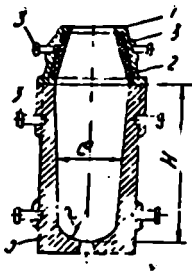
ცირებს თხევადი ლითონის სვეტის სიმაღლეს, რის შედეგადაც მცირდება ჰაერის დაწნევა და მისი ბოყეის ქვეშე დარტყმა.

ბოყეების მასალას ძირითადად პერიტურ-ფერიტული სტრუქტურის (გრაფიტის თხელი ფირფიტების მცირე რაოდენობით) თუჯი წარმოადგენს. სტრუქტურულად თავისუფალი სახით ცემენტის ან სილიკატის დაუშვებელია. ბოყეებისათვის რეკომენდებულია შემდეგი შედგენილობის თუჯი: 3,3—4,0% C, 0,9—2,2% Si, 0,4—1,0% Mn; $\leq 0,20\%$ P და $\leq 0,1\%$ S მათი მდგრადობა თანამედროვე ქარხნებში 60—100 ჩასხმას შეადგენს, ხოლო ხარჯი—ჩამოსხმული ზოდის მასის 1,5—3%. ეს უკანასკნელი დამოკიდებულია ბოყეის კონსტრუქციაზე, თუჯის ხარისხზე, ჩამოსხმის ხერხზე, ზოდის წონასა და ა. შ. რაც ნაკლებია ზოდის წონა, მით ბოყეის ხარჯი იზრდება. ბოყეების მწყობრიდან გამოვლა უმთავრესად წარმოებს მის შუგა ზედაპირზე წარმოდგენილი ბზარების შედეგად, რომლებიც გამოწვეულია თერმული ძაბვებითა და თხევადი ლითონის ჰაერის უხეში დარტყმებით; გარდა ამისა, შიგა ზედაპირზე წარმოქმნილი ამოკვეთილი ღრმულებისა, ნივარებისა და ნამწვის ბადის არსებობით.

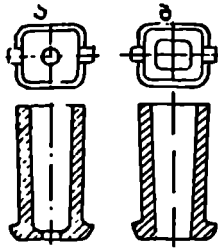
ბოყეის ზოგები შეიარჩევა ჩამოსასხმელი ზოდის მასისა და ზოგების მიხედვით. თანამედროვე პრაქტიკაში გასაგლინი ზოდის მასა 200 გ-დან 25 ტ-მდე იცვლება, ამასთან ბლუმინგზე გასაგლინად ჩამოსხმული ზოდის მასა 13 ტ-მდეა, ხოლო სლაბინგებზე გასაგლინი — 25 ტ-მდე. ქედვისათვის ჩამოსხმული ზოდის მასა 25 ტ-საც აღწევს.

შედარებით უფრო ეკონომიკურია მახვილი ზოდების ჩამოსხმა, რადგანაც ამ შემთხვევაში მცირდება ჩამოსხმის ხანგრძლივობა, შრომის დანახარჯები, ციცილაგამძლე მასალებს ხარჯი და სხვა დანახარჯები. ამასთან მცირდება ლითონის დანახარჯები სახსნისისა და ჯართის სახით. ზოდის მასის გაზრდა საგლინავე დგანების მწარმოებლურობის ზრდის საშუალებას იძლევა. მაგრამ ზოდის მასის ზრდა შეზღუდულია საგლინავე დგანების სიმძლავრეებითა და ლიკვაციური დეფექტების ზრდით.

ბოყეების განივევით შესაძლოა იყოს კვადრატული, მართკუთხა, მრგვალი, შიკვალკუთხოვანი და სხვ. (ნახ. XVIII. 3). კვადრატული კვეთის ზოდები შიდაკვეთ სორტულ გაგლინაზე; მართკუთხა კვეთის ზოდები, რომელთა სიგანის ფარდობა სისქესთან (A:B) არა უმცირეს 1,5-ია, გამოიყენება ფურცლ-



ნახ. XVIII. 4. მშვიდი ფოლადის ჩამოსხმული ბოყვი (ა) ნაშაბი ზესადგამით (ბ): 1—ზესადგამი; 2—ზესადგამის ამონაგვი; 3—პოკოკეკა.



ნახ. XVIII. 5 მდულარე ფოლადის ჩამოსხმული ბოყვი: ა—მოთლისმგვართი; ბ—გამქოლი.

ბისა და სორტული ნაგლისის მისაღებად; ბრტყელი ზოდები, რომელთა ფარდობა $A:B=1,5-3,0$ — ფურცლების საგლინად. მრგვალი ზოდები გამოიყენება მილების ბანდაების, თვლებისა და სხვ. დასაშლადებლად. მრავალწახნაგაინი ზოდები გამოიყენება ნაქედის მისაღებად.

გრძივი კვეთის მიხედვით ბოყვები ორ ტიპად იყოფა; ზემოთ გაფართოებული (ნახ. XVIII. 4) მშვიდი ფოლადის ჩამოსხმისათვის და ქვემოთ გაფართოებული (ნახ. XVIII. 5) მდულარე ფოლადის ჩამოსხმისათვის.

ქვემოთ გაფართოებული ბოყვები გამქოლი მზადდება (ფსკერის გარეშე), ხოლო ზემოთ გაფართოებული — ძირითადად ფსკერიაინი, რომელშიაც ხერცლია დატოვებული. სიფონური ჩამოსხმის შეთხვევაში ამ ხერცელში შაშოტის ქიქას ათავსებენ (რომლის მეშვეობათაც ფოლადი ბოყვი შედის), ხოლო ზემოდან ჩამოსხმის შემთხვევაში — ფოლადის საცობს, რომელიც იცავს ფსკერს ფოლადის ქაელის დარტყმისაგან.

ბოყვების შიგა ზედაპირს ზოგჯერ ტალისებურს აკეთებენ. ამ შემთხვევაში იზრდება ზოდისა და ბოყვის ზედაპირების შეხების ფართობი, რის შედეგადაც კრისტალიზაციის დაწყების შემენტში სწრაფად წარმოიქმნება და იზრდება გამყარებული ქერქის სისქე. ეს უკანასკნელი იცავს ზოდის ზედაპირს გრძივი ბზარების წარმოქმნისაგან.

ზოდისა და ბოყვის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ბოყვის სიმაღლის (H) სიდიდის ფარდობა მის შიგა დიამეტრთან (D), ე. ი. ზოდის სიმაღლის (ნაშატაშდე) სიდიდის ფარდობა მის საშუალო დიამეტრთან. ფარდობის სიდიდის ზრდა, ე. ი. ზოდის კვეთის შემცირება, გვაძლევს საგლინი დგანების მწარმოებლურობის ზრდის საშუალებას; გარდა ამისა, ამცირებს ზოდის გამყარების ხანგრძლივობას. ეს უკანასკნელი თავისთავად ამცირებს ლიკვაციას. მიუხედავად ამისა ამ ფარდობის ზრდა ზრდის ღერძულ სიხვეიერესა და განივი ბზარების წარმოქმნისადმი მიდრეკილებას (გამყარებულ ქერქზე თხევადი ლითონის ფეროსტატიკური წნევის შედეგად).

($H:D$)-ს ოპტიმალური მნიშვნელობა მშვიდი ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის შეადგენს $3,0-3,5$, ხოლო მშვიდ ლეგირებულ და ხარისხოვანი ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის — $2,5-3,3$.

მდულარე ფოლადებისათვის ზოდისა და ბოყვის სიმაღლე შეზღუდულია.

ზოდის ძალზე დიდი სიძალღე ზოდის ქვედა ნაწილზე ზოდის თხევალი ლითონის ფეროსტატიკურ წნევის, რაც აძნელებს ლითონის დუღილს და იწვევს ჯანსაღი ქერქის სისქის შემცირებას.

მშვიდი ფოლადის ზოდებში ღერძული სიფხვიერესა და მაკროსტრუქტურის სიმკვრივეზე დიდ გავლენას ახდენს ბოყეების კონუსურობა: რაც მეტია ბოყეების კედლებისა და, ამასთან, ზოდის კონუსურობა, მით მეტია მისი სტრუქტურის სიკვრივე და ნაკლებადაა განვითარებული ღერძული სიფხვიერე. მიუხედავად ამისა, კონუსურობის საგრძნობლად გაზრდა დაუშვებელია, რადგანაც იწვევს საგლინავი დგანის გლინებზე არათანაბარ დატვირთვებს. ეს თავისთავად საგრძნობლად აძნელებს ზოდის გაგლინვას. ამასთან დაკავშირებით მშვიდი ფოლადის ზოდებისათვის ბოყეის კედლების კონუსურობა 2—4%-ის ზღვრებში უნდა იყოს; ჰედვისათვის განუთუნილი ზოდებისათვის — 3—6%; ფურცლებისათვის — 3—3,5%.

მდულარე და ნახევრადმშვიდი ფოლადების ზოდების (რომლებშიც ღერძული ჩაჯდომის სიფხვიერე არ არის) ბოყეების კედლების კონუსურობა ნაკლებია, ვიდრე მშვიდი ფოლადებისა და 0,9—1,3%-ს შეადგენს. ეს უკანასკნელი ბოყეებიდან სპულების თავისუვალი და იოლი ამოღების საშუალებას იძლევა. ბოყეის კედლის სისქეს იჩინევენ მისი შექანიკური მდგრადობის მიხედვით და საშუალოდ ზოდის განიკვეთის ფართობის 20%-ს შეადგენს. ამასთან, ბოყეის მასის ზოდის მასასთან ფარდობა 0,8—1,4-ს უდრის; მცირე ზოდებისათვის ის იგი 2 ს აღწევს.

ბოყეების წინასწარი მომზადების პროცესში მათ აციებენ ჰაერზე ან წყლის შხაპით. წყლის შხაპით გაცივებას მაშინ ახდენენ, როცა ჰაერზე გაცივებით ბოყეის ტემპერატურა 200—300°C შიაღწევს.

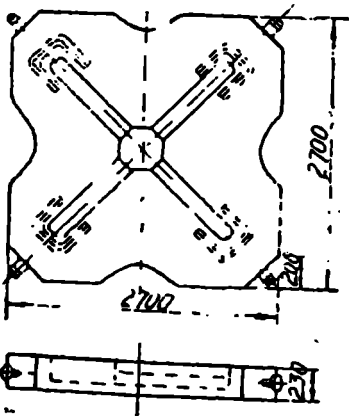
ბოყეების შიგნიდან გასუფთავება მაღალი წნევის წყლის ქავლით ან ლითონური ჯაგრისებით წარმოებს. ამის შემდგომ შიგნიდან გაიქრევა ჰაერით და გაწმენდილ ბოყეებს ქვეშე აწყობენ.

ზოდის ხარისხიანი ზედაპირის მისაღებად და ჩამოსხპული ლითონის ბოყეის კედლებთან მიდულების თავიდან აცილების მიზნით, ბოყეების შიგა ზედაპირს მექანიზებული წესით სპეციალური ლაქით ან გამომწვარი ფისით ფარავენ.

ამჟამად ჩვენი ქვეყნის ძირითად ქარბნებში ბოყეების შეზეთვა პრაქტიკულად თითქმის არ ხდება.

ქვეში. ბოყეები სიფონური ჩამოსხმისათვის სტაციონარულ (ორმოებში) ან სამსხელო ურიკებზე მოთავსებულ 100—200 მმ-ან სისქის თუჯის ფილებზე—ქვეშეზე ეწყობა. სასიფონე გაყვანილობისათვის ქვეში დატოვებულია 90X90 ან 115X115 მმ კვეთის ლარები.

ქვეშები სხული თუჯისაგან მზადდება. მათი ხარჯი ფოლადის ზოდის მთელი მასის დაახლოებით 0,1—1,0% შეადგენს. ქვეშის მდგრადობის გაზრდის მიზნით, მათი კორპუსის არმირებას ფოლადის ღეროებით აწარმოებენ (ნახ.



6.6 XVIII. 6. არმირებული ქვეშის სქემა.

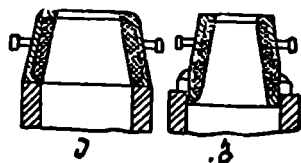
XVIII.6). არსებულ არხებში შამოტის სასიფონე გაყვანილობა ეწყობა. ქვეშის ცენტრში, სადაც თავს იყრის სასიფონე გაყვანილობის ღარები, შამოტის აგურისაგან დამზადებული ვარსკვლავა თავსდება, რომელსაც გვერდებზე იმდენი ხვრელი აქვს, რამდენი სასიფონე არხიც ქვეშეა მოთავსებული. ამ ხვრელებით თხევადი ლითონი სასიფონე გაყვანილობით ბუყვებისაკენ მიემართება. ერთ ქვეშე შესაძლოა მოთავსდეს ორი, ოთხი, ექვსი ან მეტი ბუყვი.

ს ა ც ე ნ ტ რ ე . სიფონური ჩამოსხმისათვის გამოიყენება ვერტიკალური გასახსნელი საცენტრეები, რომლებიც შიგნიდან ცეცხლგამძლე შამოტის ხვრელიანი აგურებით არის ამოგებული. ჩამოსხმის პირობების გასაუმჯობესებლად, საცენტრეზე ძაბრია მოთავსებული. საცენტრეს აწყობენ სპეციალური ცეცხლგამძლე მასის გამოყენებით. შემდგომ ის სპეციალურ კამერულ ღუმლებში შრება და ქვეშე აეწყობა. 1 ტონა ფოლადზე საცენტრეების ხარჯი 0,5—1,2 კგ შეადგენს. საცენტრე 300—400 მმ-ით მაღალი უნდა იყოს ბოყვზე დადგმულ ნამატზე.

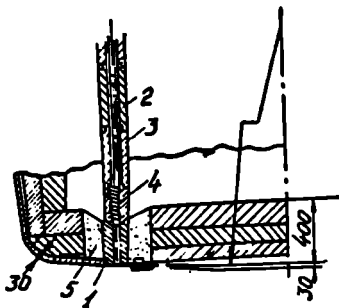
ნ ა მ ა ტ ი ზ ე ს ა დ გ ა მ ი ძირითადად მშვიდი ფოლადის ჩამოსახსნელ ბოყვეზე გამოიყენება. არჩევენ ორი ტიპის ზესადგამს: სტაციონარულსა და მკოცავს. ფართოდ გამოიყენება სტაციონარული ზესადგამი (ნახ. XVIII. 7), რომელიც შედგება ცეცხლგამძლე მასით ამოგებული თუჯის გარსაცმისაგან. ყოველი ჩამოსხმის შემდეგ მის ზედაპირს მიახლოებით 10 მმ-ან სისქის ცეცხლგამძლე ფენით ლესავენ. გამყარებული ზოდის თავიდან ზესადგამის ორლად მოცულების მიზნით მისი შიგა კედლები კონუსური მზადდება (შევიწროებულია ზევით), რომლის კედლის კონუსურობა 10—18%-ს შეადგენს. იშვიათად გამოიყენება მკოცავი ზესადგამები, რომელთა ქვედა ნაწილი ბოყვის შიგნით მთლიანად თავსდება; ჩამოსხმის დაწყებამდე ზესადგამი ხის სოლებით არის გამაგრებული, რომლებსაც ლითონით ბოყვის ავისების შემდეგ აცილებენ. ასეთი ზესადგამის დადებით მხარეს წარმოადგენს ლითონის ჩაჯდომისას ზოდთან ერთად მისი გადაადგილება. ეს თავიდან გვეცილებს ზოდის ჩამოკიდებასა და განავი ბზარების წარმოქმნას.

მსხვილი ზოდების ნამატი ზესადგამის მასა ზოდის საერთო მასის 12—16% ს შეადგენს, მცირე ზოდებისა და ლეგირებული ფოლადებისათვის 20%-მდეა.

ფოლადსა მსხმელ ციციხვი. ციციხვს, ჩვეულებრივ, წაყვეთილი კონუსის ფორმა აქვს, რომლის გაფართოებული ნაწილი ზემოთაა მიმართული. მისი კონუსურობა 3,0—3,5%-ია. ციციხვის მოცულობა ისეთი უნდა იყოს, რომ ღუმლიდან მთლიანად მიიღოს თხევადი ფოლადი და დაახლოებით ლითონის მასის 2—3% წიდა. ეს უკანასკნელი ჩამოსხმის პროცესში თხევად ლითონს იცავს სწრაფი გაცივებისა და დაეანგვისაგან. ზედმეტი წიდა დახარბილი ღარით სპეციალური საწილე ციციხეში გადაიღვრება. ციციხვი შედგება 30 მმ-ის სისქის ფურცლოვანი ფოლადის გარსაცმისაგან, რომელიც შავნადან შაკიჯი ან უხუთხაპიწოვანა აგურებით ამოიკება. ზედა ნაწილის ამონაგის სისქე 80—220 მმ-მდე აღწევს, ხოლო ქვედა ნაწილში — 120—440 მმ. სამუშაო ფენასა და ამონაგს შორის აწყობენ ნორმალური შამოტის აგურების საარმატურო ფენას. ამ ფენის ხანგრძლივობა 12—18 თვის



ნახ. XVIII. 7. ნამატი ზესადგამი: ა—სტაციონარული; ბ—მკოცავი.



ნახ. XVIII. 8. ციციხის ქველი და საჩერი: 1—კიქა; 2—ს. ჩერის ღერო; 3—საჩერის კოკები; 4—საცობი; 5—ციცხლგამძლე მასალი.

50—60 მმ ფარგლებში მდებარეობს. თვით კიქის გარე დიამეტრი 25—110 მმ-ია, სიმაღლე—120 ÷ 440 მმ.

საჩერი წარმოადგენს 40—60 მმ დიამეტრის ფოლადის ღეროზე ჩამოცმულ (აწყობილ) ციციხლგამძლე მილებისაგან (კოკებისაგან) შექმნილ ერთობლივ ანაკრებს.

საჩერის ღეროს ზემო ბოლო საჩერის მექანიზმზეა დამაგრებული, რომლის მეშვეობითაც წარმოებს ძროში მოთავსებული ფოლადის ჩამოსახსნელი კიქის ხერხის გახსნა და დახურვა. საჩერის ბოლოზე ციციხლგამძლე საცობია ჩაბრახნილი, რომელიც უშუალოდ კიქის ხერხს ხურავს (ნახ. XVIII. 8). აკრებილი საჩერის შრომა მაღალ ტემპერატურებზე წარმოებს.

ჩამოსახსნის სიჩქარის გაზრდის მიზნით ციციხეს ხშირად ორ კიქას და, შესაბამისად, ორ საჩერს უყენებენ (განსაკუთრებით ზემოდან ჩამოსხმის შემთხვევაში).

ბოლო წლებში სულ უფრო ხშირად გამოიყენება უსაჩერო ციციხეები, რომელთაც კიქის ქვეშ მოთავსებული აქვთ ციციხლგამძლე მასალისაგან დამზადებული სპეციალური ფარა, რომლითაც წარმოებს თხევადი ფოლადის ციციხიდან გამოშვების შეწყვეტა.

§XVIII. 2. ფოლადის ჩამოსხმის ტექნოლოგია

ლუმლიდან გამოსული ფოლადის ტემპერატურა 100—150°C-ით მეტია უნდა იყოს ფოლადის დნობის ტემპერატურაზე. ლუმლიდან ფოლადის გამოშვების შემდეგ რეკომენდებულია 10—15 წუთით მისი ციციხეში დაყოვნება, რის შედეგადაც არალითონური ჩანართები თხევად ლითონში 50—80% -ით მცირდება. ამ დროს ლითონის ტემპერატურის ვარდნის სიჩქარე, უპირველეს ყოვლისა, დამოკიდებულია ციციხის ტევადობასა და თხევადი ლითონის მასალაზე.

დიდ ტონაჟიან ციციხეებში ჩამოსხმამდე და ჩამოსხმის დამთავრებამდე თხევადი ლითონის არსებობის ხანგრძლივობა ~1,5 საათს შეადგენს, ხოლო თხევადი ლითონის ტემპერატურის დაცემა ამ დროის განმავლობაში 30—60°C-ია, ე. ი. 0,4—0,6°C/წთ-ში.

სი ფ ო ნ უ რ ი ჩ ა მ ო ს ხ მ ა . სიფონური ჩამოსხმის დროს ჩამოსხმის და-

შეადგენს. ბოლო წლებში ფართოდ გამოიყენება დატკეპნილკედლიანი ციციხეები.

ციციხის ამონაგის მდგრადობა 10—15 დნობას შეადგენს. ახალ ამოგებულ ციციხეს აშრობენ და ახურებენ 650—700°C ზე.

ციციხის ძროში მოთავსებულია ხერხიანი შამოტის კიქა, რომელიც შიგნიდან საჩერის საცობითაა დახშული. ბოლო წლებში გამოიყენება მაგნეზიტის ან შამოტის კიქები. დიდი ტევადობის ციციხეებში კი ძირითადად გამოიყენება მთლიანი მაგნეზიტის კიქები. კიქის ხერხის დიამეტრი

წყების ნორმალური ტემპერატურა $90-120^{\circ}\text{C}$ -ით მეტი უნდა იყოს ფოლადის დნობის ტემპერატურაზე, ხოლო ზემოდან ჩამოსხმისას— $60-110^{\circ}\text{C}$ -ით.

ფოლადის ჩამოსხმის შედარებით შალაღ ტემპერატურა იწვევს ზოდის ხარისხის გაუარესებას: გადახურებულ ფოლადი ბოყვებში დიდხანს ცივდება და იწვევს ზოდის ქიმიურ არაერთგვაროვნობის განვითარებას. გადახურებული ფოლადის სწრაფი ჩამოსხმა ზოდის ზოდის ზედაპირზე გრძივი ბზარების წარმოქმნას. გარდა ამისა, ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა ზოდის თხევად ლითონში აირების ხსნალობას.

ფოლადების ჩამოსხმა დაბალ ტემპერატურაზე აგრეთვე არასასურველია: ცივი ლითონი ბლანტი და მისგან არალითონური ჩანართების ამოტივტივება გამოწვეულია.

ბლანტი ფოლადის ჩამოსხმისას ძნელდება კრისტალიზაციის პროცესში მყოფ ლითონის მოცულობის ნამატ ზესადგამიდან თხევადი ლითონით კვება. ეს იწვევს ზოდის როგორც ღერძულს, ისე საერთო სიფხვიერეს.

ზოდის ხარისხზე დიდ გავლენას ახდენს ჩამოსხმის სიჩქარეც. დადგენილია, რომ ჩამოსხმის ძალზე დიდი სიჩქარეები ზოდის ზოდის ზედაპირზე ბზარების წარმოქმნას, ხოლო მდულარე ფოლადის ჩამოსხმის შემთხვევაში ამცირებს ჯანსაღი ქერქის სისქეს.

დაბალი სიჩქარეებით ჩამოსხმა (განსაკუთრებით სიფონური) იწვევს ქერქის ჩაბრუნებას. ამიტომ ცხელი ფოლადები ნელა უნდა ჩამოსხას, ცივი კი— შედარებით სწრაფად. ჩამოსხმის სიჩქარედ მიღებულია ბოყვეში ლითონის აწევის სიჩქარე (მ/წთ). უმეტეს შემთხვევაში ჩამოსხმის სიჩქარე $0,15-1,0$ მ/წთ-ის ზღვრებში იცვლება; ზოგიერთი მარკის ფოლადების ჩამოსხმის სიჩქარე $4-5$ მ/წთ აღწევს.

ფოლადის ზემოდან ჩამოსხმის სიჩქარე შედარებით მაღალია, ვიდრე სიფონურით. ჩამოსხმის სიჩქარის რეგულირებას სამსხმელო კიქის დიამეტრის ცვლით ან საჩერსა და სამსხმელო კიქას შორის ღრეჩოს ცვლილებით აწარმოებენ.

სიფონური ჩამოსხმის შემთხვევაში ბოყვეში მოხვედრილი ლითონის პირველი ულუფები გაქუქიანებულია თხევადი ლითონის უშუალო შეხებით აუწიდაც ცივ სასიფონე სადინარების ზედაპირთან. გარდა ამისა, ლითონის პირველი ულუფები ბოყვეში გრიგალივით შედის, რომლებიც რეცხავენ და წარიტაცებენ ცეცხლგამძლე მასალების ნაწილაკებს. ამის გამო აუცილებელია ბოყვეების ქვედა ნაწილის სწრაფად შევსება.

როგორც აღინიშნა, მშვიდი ფოლადის ჩამოსხმის შემთხვევაში გამოიყენება ბოყვეების თავზე დადკმული სიქეილური ნამატი ზესადგამი, რომელიც აუმჯობესებს ჩაჯდომის ნიქარების ფორმირებას, სხმულის მკრივე მაკროსტრუქტურასა და აღნაგობას. რაღდესაც თხევადი ლითონი ნამატ ზესადგამში $90-100$ მმ სიმაღლეზე შევა, ჩამოსხმის სიჩქარეს ამცირებენ და დარჩენილი ნამატი ზესადგამის აესების დროს მკრელი ბოყვის შევსების $50-75\%$ შეადგენს. მასში ფოლადი გაცილებით ხანგრძლივად ინარჩუნებს მაღალ ტემპერატურას და სხმულის ბოლო ნაწილის გამყარება სწორედ ამ მოცულობაში მიმდინარეობს. ამიტომ ზოდის გამყარების პროცესში გამოდგენილი არალითონური ჩანართები, ბუშტულები და სხვა მინარევეები თავს იყრის სწორედ ნამატ ზესადგამში მოთავსებული ლითონის მასაში, რომელიც გლინის პროცესში ჩამოეკრება და ცილდება.

ზესადგამში მაღალი ტემპერატურის შენარჩუნების მიზნით თხევადი ლითონის ზედაპირზე თბორზოლაციურ მასალას—ლენკერიტს აყრიან.

ზემო დან ჩამოსხმა. თხევად ლითონს ზემოდან ჩამოსხამენ როგორც უშუალოდ ფოლადსამსხმელო ციცხვიდან, ისე შეილედური ძაბრის ან ციცხვის გამოყენებით. ჩამოსხმის დასაწყისში ლითონის ჰველი რამდენადმე მუხრუჭდება და ბოყვის ძირში თხევადი ლითონის ბუფერულ ბალიშს წარმოქმნის, რომელიც იცავს ბოყვის ქვედს ლითონის ჰველით დაზიანებისაგან. შემდგომ ჩამოსხმა თხევადი ლითონის მთლიანი ჰველით მიმდინარეობს. ბოყვევების შევსების სიჩქარე, ჩვეულებრივ, 0,3—1,0 მ/წთ ის ზღვრებში მერყეობს. მშვიდი ფოლადების ზემოდან ჩამოსხმის შემთხვევაში ნამატი ზესადგამის შევსების ხანგრძლივობა მთელი სხმელის ჩამოსხმის დროის 50% შეადგენს. ჩვეულებრივ, ბოყვევას შევსების დრო 2—8 წუთის ფარგლებში იცვლება.

ნეიტრალური აირების ატმოსფეროში ჩამოსხმა. ბოყვევებში ჩამოსხმას პროცესში ჰაელისა და თხევადი ლითონის ზედაპირი ჰაერთან ურთიერთქმედების შედეგად განუწყვეტლევ იფანგება. ამის თავიდან აცილების მიზნით ფართოდ გამოიყენება დამცველი არებები: ნეიტრალური აირი, სინთეტიკური წილები, პეტროლატუნი და სხვ.

ნეიტრალური აირად ძირითადად არგონი გამოიყენება. არსებობს არგონში ჩამოსხმის ორი ხერხი: პირველი—არგონის ატმოსფეროთი ციცხვიდან საცენტრმდე ლითონის ჰაელის დაცვა და მეორე—ბოყვეში ლითონის ზედაპირის დაცვა არგონის ატმოსფეროთი, რომელიც შექყავთ მასში სპეციალურად ჩაშვებული ლითონის მილებით.

თხევადი ლითონის ენაგვის თავიდან აცილების მიზნით ხშირად გამოიყენება ბოყვის შიგა კედლების შეღებვა სპეციალური ზეთებითა და ნარევებით (კუზბაისის ლაქი, ფისი, ლაკოილითა და სხვა მათი ნაერთები). ზოდის ზედაპირის ხარისხს საგრძნობლად უმჯობესდება ჩამოსხმის პროცესში ხის ჩარჩოებისა და რგოლების გამოყენებით, რომლებსაც ჯერ კიდევ ლითონის ჩამოსხმამდე ბოყვევებში ათავსებენ

მიუხედავად აღნიშნულისა, ჩამოსხმის ყველა შემთხვევაში მეთოდი ვერ აკმაყოფილებს ქროზო, ტრანია, ალუმინითა და სხვ. ელემენტებით ლეგირებული ფოლადების ზოდების ზედაპირების ხარისხს. ამ შემთხვევაში ყველაზე კარგ შედეგს პეტროლატუნი გამოიყენება იძლევა, რომელიც ფოლადის ჩამოსხმამდე კალაღში გახვეული 0,3—0,5 კვ/ტ ბოყვის ძირში ჩაყრება. მისი ნაწილობრივი წვისა და დაშლის შედეგად იქმნება მცირედ დამჟანგველი ატმოსფერო. ამასთან, ბოყვის კედლები იფარება ქვარტლისმსგავსი ნაწილობრივი თხელი ფენით. პეტროლატუნის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს დიდი რაოდენობით კვამლის გამოყოფა, რაც აძნელებს თხევადი ლითონის მოძრაობაზე ვიზუალურ დაკვირვებას და ჩამოსხმისა და ამწეზე მოშეშევე პერსონალების მუშაობის პირობებს აუარესებს.

ჩამოსხმა თხევადი სინთეზური წილების გამოყენებით. ამ მეთოდმა ბოლო წლებში მეტალურგიულ წარმოებაში დიდი გავრცელება პოვა. ჩამოსხმის წინ ბოყვეში წილის ფხვნილის გარკვეულ ულუფას ან ბრიკეტებს ათავსებენ, რომლებიც შედეგებიან მანგანუმის მადნის, ლითონური ალუმინისა და მანგანუმის, მლზობი შპატის, სილიკატური მინის, ბრძმედის წილისა და გვარჯილისაგან. ჩამოსხმის პროცესში ბრიკეტები დნება და მასში შემავალი საწვავი ნივთიერებები ალდება. ამასთან ლითონის ზედაპირი და ბოყვის გვერდითი კედლები თხევადი წილის ფენით იფარება. ნამწევი აირები გამო-

ძვეებს ბოყვის შიგა მოცულობიდან პერს. გარდა ამისა, ნარევის წვა დაშატებით სითბოს იძლევა. ამ მეთოდის გამოყენება საგრძნობლად ამცირებს ჩამოსხმელს ლითონის წუნსა და ფოლადის ნარჩენებს, რომელიც ზოდის ზედაპირის გასუფთავების შედეგად მიიღება.

ბოლო წლებში გამოიყენება მდნარი სინთეზური წიღები, რომელთა ზეახლოებითი შედგენილობა შემდეგია: 34...40% CaF₂; 35 - 40% SiO₂; 10 - 15% Al₂O₃ და 10 - 15% CaO. ასეთ წიღებს წინასწარ ელექტროლუქებში ნედლი მასალების შედნობით ამზადებენ. თხევად წიღას ჩასხამენ ბოყვში ლითონის პირველი ულუფების ჩასხმისთანავე. ამასთან, ეგზოთერმული ფენილი ან ბრიკეტები ჩამოსხმის დაწყებამდე წინასწარ ბოყვის ძირში იტვირთავენ. წიღის ხარჯი 1 ტ ფოლადზე 4 - 5 კგ შეადგენს, ეგზოთერმული ნარევისა - 4 ÷ 4,5 კგ და ბრიკეტებისა - 3 ÷ 5 კგ.

ფოლადების უწყვეტი ჩამოსხმა. თანამედროვე მეტალურგიულ წარმოებაში ჩამოსხმის მალაფექტურ ხერხს ფოლადების უწყვეტი ჩამოსხმა წარმოადგენს, რომელსაც 20 - 25 წლის ისტორია აქვს. არსებობს უწყვეტი და ნახევრად უწყვეტი ჩამოსხმა. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა ერთი დნობიდან მივიღოთ ფოლადის უწყვეტი ნამზადი. მეთოდის არსი მდგომარეობს თხევადი ფოლადის უწყვეტ მიწოდებაში უძრო, წყლით გააცივებულ ბოყვში - კრისტალიზატორში, რომლის ქვემოდანაც უწყვეტად გამოიქანება ნახევრად-გამყარებული ზოდი. სრულად გამყარებული მოძრავი ზოდი მტკანბებულად გარკვეულ ზომებად იჭრება.

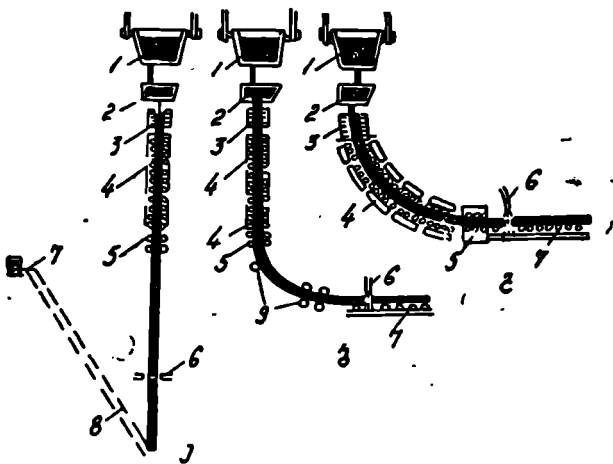
ამჟამად უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანები სამ ტიპად იყოფა (ნახ. XVIII. 9): ვერტიკალური, ზოდის მოხრით და რადიალური.

ვერტიკალური ტიპის მანქანებში კრისტალიზატორი ვიბრირებს. ამასთან ასრულებს უკუქცევით - წრფივ მოძრაობას. კრისტალიზატორის ქვევით მოძრაობის სიჩქარე ჩამოსხმის ხაზობრივი სიჩქარის ტოლია, რაც უზრუნველყოფს ლითონის საკმაოდ სქელს ქერქის წარმოქმნას. კრისტალიზატორის ზემოთ მოძრაობის სიჩქარე შედარებით დიდია. ამ მომენტისათვის ზოდის ქვემოთ ზონებში ქერქი საკმაოდ მკვრივია. ჩამოსხმის პროცესის დასაწყისში კრისტალიზატორში შეყავთ მისივე განივკვეთის ზოჩებისა და კონუიკურაციის მქონე საფალიე („ზატრაკვა“). მისი ზემა ტოლის ჩამოსხმის პირველ მომენტში კრისტალიზატორის ფსკერის როლს ასრულებს.

კრისტალიზატორიდან გამოქაჩული ზოდი წყლით გამოცივებულ ზონაში ხვდება, სადაც წყალი გამოქაჩა გლინებს მიეწოდება. ყველა ტიპის მანქანებზე კრისტალიზატორიდან გამოქაჩული ნამზადი ავტომატური საჭრელით გარკვეულ ზომებად იჭრება. ვერტიკალური ტიპის მანქანებში ნამზადები საწვევლას მეშვეობით ამოიტანება საამქროს იატაკის დონეზე, ხოლო მოხრილი და რადიალური ტიპის მანქანებში - უშუალოდ მიეწოდება როლგანგებს. ვერტიკალური ტიპის მანქანებისათვის აუცილებელია 16 - 20 მს სიმაღლის ორმოს ამოქობა. ამიტომ ბოლო წლებში დიდი გავრცელება პოვა რადიალური უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანებში.

ჩვეულებრივ ჩამოსხმასთან შედარებით უწყვეტი ჩამოსხმის მეთოდს შემდეგი ძირითადი დადებითი თვისებები ახასიათებს:

1. ერთ ტონა მზა ფოლადზე ლითონის ხარჯის საგრძნობი შემცირება (ბოყვებში ჩამოსხმის შემთხვევაში ზოდის ქვედა ნაწილს ლითონის 4% ჩამოეჭრება, ხოლო ზედა ნაწილს - 10 - 20%, სადაც განლაგებულია ჩაუდომის



ნახ. XVIII. 9. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარების სქემა: ა—ვერტიკალური; ბ—ზოდის მოხრით; გ—რადიალური; 1—ციხვი; 2—შუალედური ციხვი; 3—კრისტალიზატორი; 4—მეორეული გაციების ზონა; 5—გამომქანი ვლანები; 6—ავტომატი საკრისი, 7—როლვანგი; 8—საწყველი; 9—მოსახრლო მექანიზმი.

სიცარიელე, ნივარები, მანვრე მინარეუებისა და არალითონური ჩანართების დიდი რაოდენობა; უწყვეტი ჩამოსხმის შემთხვევაში ჩამოსხმის ბოლოს წარმოიქმნება ერთი ჩაჯდომის ნივარა. ამის შედეგად ვარგისი ზოდის გამოსავალი 97% აღწევს).

2. შრომის პირობების საგრძნობი გაუმჯობესება, მწარმოებლურობის გაზრდა და მუშათა რიცხვის შემცირება;

3. შედარებით სწრაფი გამყარების შედეგად კიმიური და სტრუქტურული არაერთგვაროვნობის საგრძნობი შემცირება;

4. მიღებული ზოდებისა და სლაბების ზედაპირის მაღალი სისუფთავე;

5. ექსპლუატაციური და კაპიტალური დანახარჯების შემცირება, რაც შოპიკომვ დგანების ლიკვიდაციასთანა დაკავშირებული;

6. ჩამოსხმის პროცესის მთლიანი ავტომატიზაცია და მექანიზაცია.

უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანებზე ჩამოსხმას შუალედური ციხვის 2/3 სიმაღლეზე ლითონი შეესებოთ იწყებენ. ამასთან ლითონის ტემპერატურა ჩამოსხმის პროცესში 30°C-ით მეტი უნდა იყოს, ვიდრე ბოყეებში სიფონური ჩამოსხმის შემთხვევაში. ხარისხიანი ზოდის მისაღებად აუცილებელ პირობას ჩამოსხმის პროცესში კრისტალიზატორში თხევადი ლითონის მუდმივი დონე წარმოადგენს, რომელიც კრისტალიზატორის ზემო ტორსიდან 100—150 მმ-ით დაბლა უნდა იყოს. ხშირ შემთხვევაში, კრისტალიზატორში ლითონის ზედაპირის ძაერის მანვრე მოქმედებისაგან დასაცავად ინერტულ აირებს იყენებენ. ჩამოსხმის დაწყების მომენტიდან კრისტალიზატორის ზედაპირი ავტომატურად იზეუება პარაფინით ან სხვა სპეციალური სახის ზეთებით.

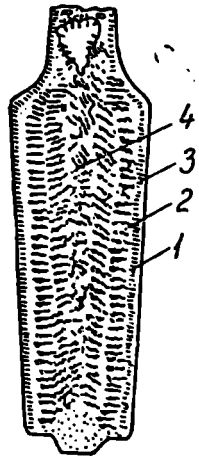
§ XVIII. 3. მუვილი და მღვლადე ფოლადაზის ჩამოსხმის
თავისმავრამბანი და სხულის აღნაგობა

ბოყვაში ფოლადი წაგრძელებული ფორმის კრისტალების სახით (დენდრიტები) მყარდება. დენდრიტების აღნაგობა ხის აღნაგობას წააგავს: თავიდან წარმოიქმნება დენდრიტის ძირითადი ღერძი, რომლის პერპენდიკულარულად მეორე რიგის ღერძები, ე. წ. დენდრიტის შტოები იზრდება. ამ შტოების პერპენდიკულარულად კვლავ მესამე რიგის ღერძები იზრდება. ყველა ეს ღერძი დროთა განმავლობაში თანდათან სქელდება და ბოლოს თხევადი ლითონი მთლიანად მყარდება. რადგანაც სითბოს წართმევა ბოყვის კედლებსა და ძროდან წარმოებს, ამასთან დაკავშირებით დენდრიტების ძირითადი ღერძი მის საწინააღმდეგო მიმართულებით იზრდება.

განქანავის ხარისხის მიხედვით ფოლადები იყოფა მწვიდ, ნახევრად მწვიდ და მღვლადედ. მათი კრისტალური სტრუქტურა, აღნაგობა და თვისებები საკმაოდ თვალნათლივ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

მწვიდი ფოლადები წილდება უწუაღოდ ლუმელში ან ციცხეში თხევადი ფოლადების ფეროშენადნობით კარგი გენქანავის შედეგად. როგორც აღწერილია, თხევად ლითონში გახსნილი ქანგბადი ენერგიულად უერთდება განმქანგველ ელემენტებს და წარმოქმნის ოქსიდებს. ამის შედეგად თხევად ფოლადში ქანგბადის კონცენტრაცია საგრძნობლად ეცემა, რაც იწვევს ჩამოსხმული თხევადი ფოლადის „დულილის“ შემცირებას ან სრულიად შეწყვეტას. ეს უქანასკნელი გამოწვეულია ნახშირბადის დეანგვის შედეგად გამოყოფილი ნახშირქანგვის ნიქარების წარმოქმნით და თხევადი ლითონის მასისაგან მათი გამოყოფით. ამგვარი სხულები მწვიდად მყარდება და მიიღება მკვრივი სტრუქტურა. თავისი თვისებებით მწვიდი ფოლადი საგრძნობლად აკარებს მღვლადეს, მაგრამ ამასთან მისი თვისობრივებულებაც რამდენადმე მაღალია. ეს თავისთავად გამოწვეულია განმქანგველი ფეროშენადნობების გამოყენებით.

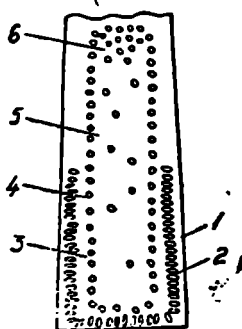
ფოლადის ჩამოსხმისას ბოყვის კედლებსა და ძროსთან თხევადი ფოლადის უშუალო შეხების პროცესში სწრაფად წარმოიქმნება 5—15 მმ სისქის არაორიენტირებული წვრილი კრისტალების მქონე ფენა 1, რომლის სისქეც უშუალოდ გამყარების სიქარეზეა დამოკიდებული (ნახ. XVIII. 10). შემდგომში სითბოს გაცემის სიქარე თანდათან მცირდება და კრისტალების ზრდა ბოყვის კედლების პერპენდიკულარულად წარმოებს. ამგვარად წარმოიქმნება მსხვილი ზომის ორიენტირებულად განლაგებული სეციტისებრი, ანუ დენდრიტული, კრისტალების არე 2. ზოდის ცენტრალურ ნაწილში სითბოს გაცემა საგრძნობლად შენელებულია, რაც იწვევს კრისტალების სხვადსხვა მიმართულებით ზრდას. აქ შეიმჩნევა მსხვილი ზომის არაორიენტირებული კრისტალების ცენტრალური არე 3. ზოდის ქვედა ნაწილში წარმოიქმნება საშუალო ზომის კრისტალების არე 4, ე. წ. „დალექვის კონუსი“, რომელიც თხევად ფოლადში ჩასხმული კრისტალებისა და მხარდი დენდრიტების ნამსხვრევების დალექვით ჩნდება. ზოდის ზედა ნაწილში წარმოიქმნება ჩაჯდომის ნიქარა 5. ამ უქანასკნელის წარმოქმნა გამყარებისას ფოლადის ჩაჯდომის



ნახ. XVIII. 10. მწვიდი ფოლადის ზოდის აღნაგობა.

სთანაა დაკავშირებული; გარდა ამისა, იგი თხევადი და მყარი ფოლადების სიმკვრივეთა სხვაობაზეა დამოკიდებული (როგორც ცნობილია, მყარი ფოლადების სიმკვრივე თხევადზე უფრო მეტია). ჩაჯდომის ნიჟარა მთელი სხეულის 2—5%⁰-ს შეადგენს. გამყარების პირველ პერიოდში ზოდის წარმოქმნილი ზედაპირული ფენა იკუმშება და ცილდება ბოყვის კედლებს, ხოლო მისი შუა ნაწილი ჯერ კიდევ თხევად მდგომარეობაშია. გამყარებული ფენის სისქის ზრდასთან ერთად მოცულობის შემცირება სიცარიელის შექმნას, ე. ი. ჩაჯდომის ნიჟარის წარმოქმნას, იმ ადგილას იწვევს, სადაც თხევადი ლითონის ბოლო უღუფა მყარდება. ზოდის ზედა ნაწილში (თავზე) ჩაჯდომის ნიჟარის მოსაქევეად ბოყვებს ზემოდან მათბუნებელ ზესადგამს ადგამენ. ნიჟარაში თავს იყრის ამოტივტივებული არალითონური ჩანართები, წილის ნაწილაკები, აირის ნიჟარები და სხვ. გლინვის პროცესში ზოდის იმ ნაწილს ჩამოჭრიან, სადაც ჩაჯდომის ნიჟარაა განლაგებული. ჩამოსხმის ტემპერატურის ზრდა ჩაჯდომის ნიჟარის მოცულობის ზრდას იწვევს. ამ უკანასკნელის შესამცირებლად (დარაც შეიძლება ზოდის ზედა ნაწილში მისი განლაგების მიზნით) სხვადასხვა ხერხებს მიმართავენ. მათ შორის აღსანიშნავია: ზოდის გამყარების პროცესში მისი ზედა ნაწილის გახურება; ეგზოთერმული და თბოიზოლაციური ფხვნილისებრი ნარევების გამოყენება; სათბუნებელი ზესადგამების გამოყენება და სხვა. ყოველივე აღნიშნული საშუალებას იძლევა შევამციროთ და მინიმუმამდე დავიყვანოთ სხმულის ზედა — თავური ნაწილის ჩამონაჭერი. აღნიშნული საშუალებების გამოყენებით მშვიდი ნახშირბადუხვი ფოლადის ზოდების თავური ნაწილის ჩამონაჭრელი ზოდის 12—16%⁰ შეადგენს, ხოლო მცირე და ლეგირებულ ფოლადის ზოდებსა 20%⁰-ს აღწევს.

მდულარე ფოლადები წარმოადგენს განუყანგავ ფოლადებს. ამიტომ მასში გახსნილი ენგზადის რაოდენობა შედარებით მაღალია, ვიდრე მშვიდი ფოლადებში. ბოყვში ასეთი გაუყანგავი ფოლადების ჩამოსხმისას მისი ტემპერატურის ვარდნა იწვევს ლითონში გახსნილი ენგზადისა და ნახშირბადის ურთიერთქმედების რეაქციის $[C] + [O] = CO$ წონასწორობის CO -ს წარმოქმნასა და გადახრას და ლითონის ე. წ. დუღილს. ამ რეაქციის მიმდინარეობის პროცესში თხევადი ლითონი ნაწილობრივ განუყანგვას განიცდის. გამოყოფილი



ნახ. XVIII. 11. მდულარე ფოლადის ზოდის აღნაგობა.

ყველა ბუშტული ვერ ასწრებს ლითონიდან გამოძევებას და ზოდის გამყარებისას მასში ნიჟარების სახით რჩება. ამგვარად მიიღება მდულარე ფოლადის ზოდის ნიჟარებიანი სტრუქტურა; რადგანაც არ არის დაქანგული, მაღალ ტემპერატურებზე ზოდის გაგლინვის პროცესში ისინი კარგად დუღდებიან და წარმოქმნიან მკვრივ ლითონს.

XVIII. 11 ნახაზზე ნაჩვენებია მდულარე ფოლადის ზოდის სქემატური აღნაგობა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ბოყვში მდულარე ფოლადის ჩახსნილას კედლებთან თხევადი ლითონის შეგებისთანავე წარმოიქმნება ფოლადის თხელი და მკვრივი ქერტი 1. ამ მომენტში წარმოქმნილი ნახშირყანგის აირის ბუშტულები სწრაფად გადაადგილდება თხევად ლითონის ძირიდან ცენტრალური ნაწი-

ლისაკენ. ამ ქერქის სისქე 40 მმ-მდე აღწევს. ამის შემდეგ შეიძინება ფიჭისებრი ნიჟარების ზონა 2, რომლის მიმართულბაჲც დენდრიტების ზრდის მიმართულბას ემთხვევა. გამოყოფილი CO-ს ნიჟარები იზრდება დენდრიტების ლერძებს შორის, რომელთა ნაწილიც ასწრებს ამოტივტივებასა და ატმოსფეროში გადასვლას. ნიჟარების ის ნაწილი, რომელმაც ვერ მოასწრო დენდრიტების ზრდამდე ჩასახვა, ლითონში ჩაება და წაგრძელებულ სახეს იღებს (ბოყვის კედლებიდან ცენტრისაკენ). ნიჟარების ფიჭისებრი ზონის სიმაღლე მთელი ზოდის სიმაღლის 1/2—2/3 შეადგენს. იგი განლაგებულია ზოდის ქვედა ნაწილში. ზემოთა ნაწილი ამ ზონისაგან თავისუფალია (რადგანაც აირის ნიჟარები ასწრებს ლითონიდან ამოტივტივებასა და მოცილებას). ბოყვში ჩასხმულ ფოლადში ნიჟარების წარმოქმნა მიმდინარეობს ნახშირბადით რკინის ქვეყანგის აღდგენით ($FeO + C \rightarrow CO + Fe$). ზოდის ზედა ნაწილი შედარებით სწრაფად მყარდება, რაც იწვევს ზოდის შიგნით წნევის ზრდასა და CO ს ნიჟარების გამოყოფის შეწყვეტას. ამგვარად წარმოიქმნება ლითონის მკვრივი აღნაგობის ზონა 3. ამ პერიოდში მიმდინარეობს თხევადი ფოლადის ნახშირბადითა და ენგბადით გაჯერება. ამის შედეგად CO-ს მეორეული ნიჟარები წარმოიქმნება, რომელთაც სფერული ფორმა 4 აქვთ. ზოდის ცენტრალურ ნაწილში ნიჟარების მცირე რაოდენობა შეიძინება. ზოდის ზედა ნაწილში (თავში), ჩაჯდომის სიფხეიერის ანალოგიურად, შეიძინება აირის ნიჟარების თხევადი ფოლადისაგან ამოტივტივებული ჰუჭვისა და შინარეების დაკრება (6).

§ XVIII. 4. ფოლადის ზოდის ძირითადი ახარებითგანმარტება

როგორც ცნობილია, თხევად მდგომარეობაში ფოლადი წარმოადგენს მრავალკომპონენტობან სითხეს, რომლის გამყარება გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს.

ამასთან, წარმოქმნილი პირველი კრისტალები შეიცავს გაცილებით მცირე რაოდენობის მინარევებს, ეიდრე ბოლო. ამგვარად, ფოლადის სხმულის ქიმიურ არაერთგვაროვნობას „ლიკვაციას“ და „სეგრეგაციას“ უწოდებენ. არაერთგვაროვნობა, ანუ ლაკვაცია, წარმოიქმნება ზოდის გამყარებისას. ლიკვაციისადმი ყველაზე დიდი მიდრეკილება ისეთ ელემენტებს გააჩნით, როგორცაა: გოგირდი, ნახშირბადი, ენგბადი და ფოსფორი; შედარებით ნაკლები — მანგანუმი, ქრომსა და სილიციუმი.

ფოლადის სხმულში ასხვავებენ დენდრიტულ (მიკრო) და ზონალურ (მაკრო) ლიკვაციას. დენდრიტული ლიკვაცია წარმოიქმნება ერთ კრისტალის შიგნით, — როდესაც წინასწარ კრისტალდება შედარებით სუფთა ლითონი, ხოლო შემდეგ შინარეებისაგან გაქუჭყიანებული ლითონი.

დიდ საფრთხეს წარმოადგენს ზონალური, ანუ მაკრო ლიკვაცია, ე. ი. სხმულის სხვადასხვა ნაწილში ქიმიური შედგენილობის განსხვავება. მისი წარმოქმნის ძირითად მიზეზს შერჩევითი კრისტალიზაცია წარმოადგენს. ამ უკანასკნელის გამო გამყარებული შედარებით მძიმე კრისტალები სხმულის ქვედა ნაწილისაკენ მიემართება; შედარებით მსუბუქი. მინარევებისაგან გაქუჭყიანებული ლითონის ნაწილაკები თხევადი ლითონის თბური ნაკადის შედეგად ზოდის ზედა ფენებში ვადიანაცვლებს.

მშვიდი ფოლადის შემთხვევაში შედარებით გაქუჭყიანებული ფოლადი თავს იყრის ზოდის ზედა ნაპატ ან მის მიმდებარე ქვედა ნაწილში. ფოსფორის, გოგირდისა და ნახშირბადის შემცველობა იზრდება ზოდის ზედა ნაწი-

ლში ზედაპირიდან მის ლერძისაკენ. ზოდის ქვედა ნაწილში პირიქით — ამ ელემენტების შემცველობა ლერძის მიმართულებით კლებულობს. ზონალური, ანუ მაკრო, ლიკვაციის განვითარებას ხელს უწყობს თხევადი ფოლადის ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა, ზოდის მასის გაზრდა, წყალბადის მაღალი შემცველობა, ზოდის შენჯღრევა და სხვა.

ზონალური ლიკვაცია შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს როგორც ხარისხობრივად (გოგირდის ანაბეჭდით), ასევე რაოდენობრივად — ქიმიური მეთოდით. რაოდენობრივად ქიმიური არაერთგვაროვნობის ხარისხი შემდეგი გამოსახულებით განისაზღვრება:

$$C_x = \frac{C - C_{\text{სა}}}{C_{\text{სა}}} \cdot 100\%, \quad (\text{XVIII. 1})$$

სადაც C არის აღებულ წერტილში ელემენტის შემცველობა;

$C_{\text{სა}}$ — ზოდში ან ციკუსის სინჯში ელემენტის საშუალო შემცველობა.

მშვიდი ფოლადის ზოდში ძირითადად დადებითი ლიკვაციის ორი და უარყოფითის ერთი ზონა შეიმჩნევა (ნახ. XVIII. 12). დადებითი ლიკვაციის ზონებს წარმოადგენს V-მაგვარი ლერძული და A-მაგვარი არალერძული ლიკვაცია, ე. წ. „ულვაშები“. ეს უკანასკნელი ზონა განლაგებულია სვეტისებრი და ტოლღერძა კრისტალების ცენტრალურ ზონებს შორის.

A-მაგვარი ლიკვაციის წარმოქმნას ხშირად ზოდის გამყარების პროცესში მიკროსკოპულ ბუშტულების სახით აირების გამოყოფას უკავშირებენ. ამასთან

ულვაშების ხაზები განიხილება როგორც ამოტივტივების პროცესში ბუშტულებით წარტანული მინარევების მიერ დატოვებული ნაკვალევი.

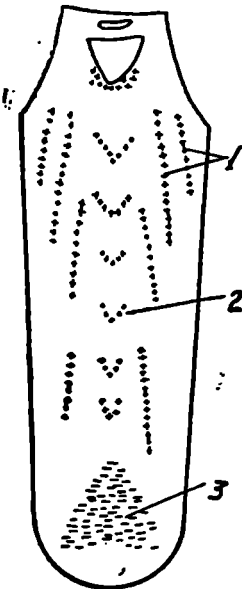
V-მაგვარი ლიკვაციის წარმოქმნას მეტალურგები ძირითადად ლითონის ჩაჯდომას უკავშირებენ.

უარყოფითი ლიკვაციის ზონის წარმოქმნა დაკავშირებულია დალექვის კონუსის წარმოქმნასთან, როდესაც შედარებით მკვირივი კრისტალები დაბლა ეშვება.

ზონალური ლიკვაცია მით უფრო ვითარდება, რაც მეტია ლითონის მასა, ზოდის განივი კვეთი და რაც ხანგრძლივია მისი გამყარების დრო. ზონალურ ლიკვაციას ხელს უწყობს ფოლადში წყალბადის მაღალი შემცველობა, რომლის გამოყოფაც კრისტალიზაციის პროცესში იწვევს ფოლადის არევის ინტენსიურობის ზრდას.

V-მაგვარი ლერძული ლიკვაციის განვითარება შესაძლოა შემცირებულ იქნეს ზოდის განივი კვეთისა და კონუსურობის ზრდით, რის შედეგადაც წარმოებს გამყარებული ლითონის ზედა ნაწილის თხევადი ლითონით კვების გაუშვობესება.

A-მაგვარი არალერძული ლიკვაციის განვი-



ნახ. XVIII. 12. მშვიდი ფოლადის ზოდში ზონალური ლიკვაცია: 1—A-მაგვარი (ულვაშები); 2—V-მაგვარი; 3) უარყოფითი ლიკვაცია

თარების შემცირება შესაძლოა, პირიქით, ძირითადი ზოდის განივი კვეთის შემცირებით; გარდა ამისა, ბოყვის ისეთი კონსტრუქციის შერჩევით, რომელიც უზრუნველყოფს ლითონის ზოდის ქვევიდან ზემოთ საკმაოდ სწრაფ და თანამიმდევრულ კრისტალიზაციას.

ლიკვაციის ნაწილობრივ შემცირებაზე დადებით გავლენას ახდენს მასში მალეგირებელი ელემენტების შეყვანა. ასე, მაგალითად, გოგირდის ფოსფორისა და ნახშირბადის ლიკვაციას საგრძნობლად ამცირებს ფოლადში ნიკელის არსებობა.

§ XVIII. 5. ფოლადის ზოდის დეფექტები

ჩაჯდომის ნიქარა და ჩაჯდომის სიფხვიერე. ზოდის მასის ჩაჯდომის მიერ გამოწვეული დეფექტები ფოლადის ზოდის გამყარებისა და შემდგომ მისი გაცივების პროცესში მოცულობის შემცირების შედეგად წარმოიქმნება. ამ ჯგუფის დეფექტებიდან განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ჩაჯდომის ნიქარას, რომელიც ძირითადად მშვიდი ფოლადის ზოდს ახასიათებს. თხევად ფოლადს აქვს შედარებით ნაკლები კუთრი წონა, ვიდრე გამყარებულს, ამიტომ ფოლადის გამყარება ყოველთვის დაკავშირებულია მისი კუთრი მოცულობის შემცირებასთან. საშუალოდ ეს ჩაჯდომა ზოდის 3—5% შეადგენს. მშვიდი ფოლადის ზოდის ღერძულ ნაწილში შეიმჩნევა ჩაჯდომის წერტილი ნიქარების შეეჯგუფება, რომელსაც ღერძული სიფხვიერე ეწოდება. განსაკუთრებით მსხვილი ზოდების გლინვის პროცესში მათი შედუღება ყოველთვის ვერ ხორციელდება, რაც არასაკმაო მოკიშვის ხარისხითაა გამოწვეული. ღერძული სიფხვიერე შემდეგი ფაქტორების ზემოქმედებით წარმოიქმნება: ბოყვში ფოლადის გამყარების პროცესში გამყარებული ლითონის ღერძული ზონა განუწყვეტლივ ვიწროვდება. სიმაღლეში ამ ვიწრო ზონის ზოგადი უზნეობაში წარმოებს კრისტალების ერთმანეთთან შეზრდა, რაც აძნელებს ზოდის ნაშტ ზესადგამის ქვემოთ მდებარე უზნეობის თხევადი ლითონით კვებას. ამიტომ შეზრდილ კრისტალებს, ანუ ე. წ. „ხიდებს“, ქვეშ ლითონის გამყარებისას წარმოიქმნება ჩაჯდომის მიკრო სიცარიელები.

ღერძული სიფხვიერის განვითარებასა და ზრდას ხელს უწყობს ჩამოსახმელი ლითონის დაბალი ტემპერატურა, ზოდის მასის ზრდა, ფოლადში ისეთი ელემენტების არსებობა, რომლებიც გამყარებისას ზრდიან ჩაჯდომასა (ძირითადად ნახშირბადი) და თხევად ფოლადის სიბლანტეს (ქრომი, ტიტანი, და სხვ.). ღერძულ სიფხვიერეზე დიდ გავლენას ახდენს ზოდის კონუსურობაც: რაც მეტია იგი, მით მეტ ხანს მიმდინარეობს ზედა ფენების გამყარება და ამის შედეგად უმჯობესდება ზოდის ქვემო ფენების ღერძული ნაწილის თხევადი ფოლადით კვება. ყოველივე ეს თავისთავად იწვევს ღერძული სიფხვიერის შემცირებას. თანამედროვე პრაქტიკაში ზოდის კონუსურობა 2—4% არ აღემატება, რადგანაც უკიდურეს შემთხვევაში მათი გაგლინვა ძნელდება. ზოდის გამყარების პროცესში ღერძული სიფხვიერის შემცირებისათვის ხშირად ზედა ნაწილს ახურებენ.

ბზარები. ფოლადის ზოდის გამყარებისას ჩაჯდომით გამოწვეულ დეფექტებს მიეკუთვნება აგრეთვე გარე და შიგა ბზარები. გარე ბზარები თავისთავად იყოფა გრძივად და განივად. განივი ბზარები წარმოიქმნება ბოყვში ლითონის გამყარების პროცესში ზოდის არათანაბარი ჩამოკიდებით. აღნიშნული შედეგია ბოყვის კედლებში არსებული ბზარებისა და ღრმულებში თხევადი ლითონის შეღწევით.

გრძივი ბზარები ვითარდება ტანგენციალური ძაბვების შედეგად, რომლებიც ზოდის დაკრისტალებისას ლითონის სხვადასხვა ფენების არათანაბარი დეფორმაციით წარმოიქმნებიან. გარდა აღნიშნულისა, გრძივი ბზარები შეიძლება წარმოიქმნას, აგრეთვე, ზოდის გამყარებულ თხელ ქერქზე თხევადი ლითონის ფეროსტატიკური წნევის შედეგად. ამიტომ ჩამოსხმის სიჩქარის ზრდა და ლითონის ტემპერატურის შემცირება გვევლინება გრძივი ბზარების წარმოქმნის თავიდან აცილების საშუალებად.

ქერქის ჩაბრუნება. ლითონის ჩამოსხმის პროცესში მის ზედაპირზე გამყარებული თხელი ქერქი წარმოიქმნება. რაც დაბალია ლითონის ჩამოსხმის ტემპერატურა და სიჩქარე და რაც მეტია ფოლადში დამეჩვენებული ელემენტები, მით ადრე წარმოიქმნება ზედაპირზე ქერქი, რომელიც ეკერის ბოყვის კედელს. ჩამოსხმის პროცესში ხშირად ხდება მისი კედლიდან მოცილება და ფოლადის ზოდში ჩაბრუნება. ამის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ჩამოსხმის სიჩქარისა და ლითონის ტემპერატურის გაზრდა ნეიტრალურ ატმოსფეროში ან წილის ქვეშ ჩამოსხმა და სხვ.

ნაკეცები ზოდის ზედაპირულ დეფექტს წარმოადგენს, რომელიც ძირითადად ლითონის ზემოდან ჩამოსხმისას წარმოიქმნება. ამ დროს ბოყვის ქვედზე ლითონის ჰაერის დარტყმისას წარმოებს მისი გაშხეფვა და ამ უკანასკნელის ბოყვის კედელზე მიკვრა. დაქანებული ლითონის შეფუბი ზოდის ძირითად მასასთან შემდგომ არ დუღდება და წარმოქმნის ე. წ. ნაკეცებს. ზოდის ზედაპირის გაუმჯობესების მიზნით ზემოდან ჩამოსხმას დაბალი სიჩქარით აწარმოებენ ან შუალედურ ციხვებსა და ძაბრებს იყენებენ.

ქერქქვეშა ნიჟარები ძირითადად ზოდის ზედაპირზე იშვიათად გვხვდება. ისინი განლაგდებიან ზედაპირიდან 20—30 მმ სიღრმეზე. ეს დეფექტები იმ შემთხვევაში წარმოიქმნება, როდესაც ბოყვის კედლებზე შეხეთილი დაუშწვარი მასა თხევადი ლითონით დაიფარება. ამის თავიდან ასაცილებლად ბოყვის კედლებს ფარავენ შესაზეთი გაბურებული მასის თხელი ფენით.

ზოდის შიგა დეფექტებიც ყველაზე საშიშია, რადგანაც მათი დანახვა თვალთა შეუძლებელია. ისინი უშუალოდ გლინივის ან ნამზადის მექანიკური დამუშავების პროცესში ჩნდებიან. ასეთ დეფექტებს ძირითადად წარმოადგენს შიგა ბზარები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ლითონში გოგორდის მალალი შემკველობის ან გლინივის წინ ზოდის ჰაერზე სწრაფი გათიების შედეგად.

შესაძლოა აგრეთვე ზოდის შიგნით ნიჟარების არსებობა, რაც ლითონში აირების მალალ შემკველობას ან არასაკმაო განეანგვასთანაა დაკავშირებული.

ფეროშენადნობების წარმოება

ფეროშენადნობები წარმოადგენს რკინის შენადნობებს მანგანუმთან, სილიციუმთან, ქრომთან ან სხვა რაქელიზე ელემენტებთან. ისინი ძირითადად ფოლადის ან ფერადი ლითონების წარმოებაში მათი თვისებების გასაუჯობესებლად გამოიყენებიან; ისინი გვევლინებიან ფოლადის როგორც განმჟავველებად, ასევე მალეგირებელ ნივთიერებებადაც.

ყველა შენადნობს არარკინის ფუძეზე (ქრომის, ნიკელის, მანგანუმისა და სხვ.) ლიგატურა ეწოდება.

ფეროშენადნობები, გარდა რკინისა და წამყვანი მალეგირებელი ელემენტებისა, ხშირ შემთხვევაში ისეთ ელემენტებს შეიცავს, რომლებიც ფოლადის წარმოებაში არასასურველია. ასეთებია, ძირითადად, გოგირდი და ფოსფორი, რომელთა შემცველობაც მათში ძალზე ლიმიტირებულია.

გარდა აღნიშნულისა, ამჟამად უშუალოდ უშუალოდ კომპლექსურ ფეროშენადნობებს, სადაც მის შემადგენლობაში შედის რამდენიმე წამყვანი ელემენტი, ასე, მაგალითად, სილიციუმანგანუმი (სილიციუმი და მანგანუმი), სილიციუმქრომი (სილიციუმი და ქრომი) და ა. შ.

ფეროშენადნობები მიიღება შესაბამისი ლითონების ქანგულულების აღდგენით, რომელთა ნედლ მასალებს მადნები ან კონცენტრატები წარმოადგენს. ფეროსილიციუმის, ფერომანგანუმის, ფეროქრომის ან სხვა ფეროშენადნობების მისაღებად ძირითადად გამოიყენება შესაბამისი გამდიდრებული მადნები, რომელთა შემადგენლობაში მალალი შემცველობით შედის ამ ელემენტების ეანგიულები.

§ XIX. 1. ფეროშენადნობების წარმოების მეთოდები

ამჟამად ფეროშენადნობების წარმოების სამი ხერხი არსებობს: ბრძმელული, ელექტროთერმული და ლითონთერმული. ბოლო წლებში ფეროშენადნობების წარმოებაში ფართოდება ისეთი მეთოდების გამოყენება როგორცაა თხევად და მყარ მდგომარეობაში ვაკუუმთერმული და მუშავების, კონვერტერებში ნახშირბადოვანი შენადნობების ეანგბადით გაქრევის, თხევადი ლითონების შერევისა და სხვა.

ბრძმელში ფეროშენადნობების წარმოება. ბრძმელული პროცესით ფეროშენადნობების წარმოება მოითხოვს მაღალხარისხოვანი კოქსის საკმაოდ დიდ ხარჯს. მიუხედავად თანამედროვე ბრძმელული პროცესის ინტენსიფიკაციისა, ელექტრორკალურ ლუმელებთან შედარებით ბრძმელში ტემპერატურა დაბალია, რაც საგძნობლად ზღუდავს მასში ფეროშენადნობების წარმოებას. ეს ძირითადად დაკავშირებულია დიდი რაოდენობით აირების გამოყოფასა და მასთან დიდ თბურ დანაკარგებთან. ამიტომ თანამედროვე პრაქტიკაში ბრძმელში გამოიღობა ისეთი ფეროშენადნობები, რომლებიც წამყვანი ელემენტების შემცველობა შედარებით დაბალია და რომლის წარმოება არ მოითხოვს მაღალ ტემპერატურას. ამჟამად ჩვენს ქვეყანაში ბრძმელში გამოიღობა უმნიშვნელო რაოდენობით ნახშირბადუხვი ფერომანგანუმი. პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ ბრძმელში გამოიღობილ 1 ტ 10—12% ფეროსილიციუმის

ღირებულება 30—40⁶/₁₀₀-ით მეტია, ვიდრე ელექტროთერმული პროცესით გამოდნობილისა.

ფეროშენადნობების ელექტროთერმული წარმოება ხორციელდება ენერგეტიკულ დანადგარებში, სადაც წარმოებს ელექტრული ენერჯის თბურ ენერჯიად გარდაქმნა, რომელიც გამოიყენება ალდგენის, დნობის, ლითონისა და შენადნობების გახურებასა და მათი რაფინირებისათვის.

ყველა ელექტროთერმული პროცესი იყოფა ორგვამად, რომლებიც განსხვავდებიან მიღებული პროდუქტების ტიპითა და გამოყენების სფეროთი:

1. ფეროშენადნობების ელექტრომეტალურგია;
2. ფოლადის ელექტრომეტალურგია;
3. კარბიდებისა (სილიციუმი, ბორის, კალციუმისა და სხვ.) და ციანოგანი (კალციუმის ციანამიდი CaCN , კალციუმის ციანიდი $\text{Ca}(\text{CN})_2$, და ნატრიუმის ციანიდი NaCN) შენაერთები;
4. ელემენტებისა და შენაერთების გამოხდა და შემდგომი მათი კონდენსაცია (ფოსფორი, გოგირდნახშირბადი CS_2 , და სხვ.);
5. ჟანგეულების ელექტროდნობა (ნორმალური და თეთრი ელექტროკორუნდის, მონოკორუნდის, კვარცის მინის, შედნობილი მაგნეზიტის, მულიტისა და სხვ. მიღება);
6. ელექტრული განმუხტვით აირად ფაზაში ნივთიერებათა სინთეზი და კრეკინგი (ოზონის, აზოტის ჟანგის, წყალბადის ზეჟანგის და სხვ. წარმოება).

ელექტროთერმული მეთოდები დამყარებულია ელექტრორკალური დუმლების გამოყენებაზე, სადაც სითბო გამოიყოფა აირად შუალედში ან საკაზმე მასალებში დენის გავლით.

ლითონთერმული მეთოდი დამყარებულია ალუმინით, სილიციუმით, კალციუმით ან სხვ. ლითონებით ჟანგეულების ალდგენის რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბოს გამოყენებაზე. ეს პროცესები ძირითადად ელექტროენერჯის მიყვანის გარეშე მიმდინარეობს. პროცესის ინტენსივიცირებისათვის ბოლო წლებში ფეროშენადნობების ლითონთერმული წარმოების ტექნოლოგიაში გათვალისწინებულა ელექტრორკალური დუმლებში საკაზმე მასალების წინასწარი გაღნობა. ეს გვაძლევს ძვირი ალმადგენელი მასალების ეკონომიასა და კაზმიდან ძირითადი ლათონის შედარებით სრულყოფილი ამოღების საშუალებას. გამოყენებული აღმდგენელის მიხედვით ფეროშენადნობების წარმოების ლითონთერმული მეთოდი იყოფა: ალუმოთერმულ, სილიციოთერმულ და კალციოთერმულად. ზოგ შემთხვევაში გამოიყენება რამდენიმე აღმდგენელი ერთად.

ლითონთერმული მეთოდით მიღებული ფეროშენადნობები, შენადნობები და ლითონები ხასიათდება ნახშირბადისა და სხვა მინარეების დაბალი შემცველობით. ამასთან იოლად შეიძლება მივიღოთ ქრომის, ტიტანის, ნიკელისა და სხვ. ლითონების ფუძემდებ შენადნობები რკინის დაბალი შემცველობით. გამოდნობის პროცესი ხასიათდება ლითონის მაღალი ამოღებით, საამქროების მშენებლობასა და დანადგარებზე მცირე დანახარჯებით.

ამ მეთოდით იღებენ რამდენიმე ათეულ სხვადასხვა ფეროშენადნობებს. ამასთან, გამოიყენება დანადგარებას გაფორმების რამდენიმე ვარიანტი: „ბლოკზე“ დუმელსგარე დნობა, დნობა ლითონისა და წილის გაშოშვებით, ელექტროდულულში ჟანგეულებისა და ფლუსის წინასწარი გადნობით, ლითონთერმული გადნობა და ა. შ.

ფეროშენადნობების მიღებას ელექტროტერმული და ლითონთერმული მეთოდები არის უწყვეტი და პერიოდული.

უწყვეტი პროცესი ხასიათდება ლუმელში კაზმის უწყვეტი ჩატვირთვით; კაზმი მუდმივად ერთ დონეზე იმყოფება, ელექტროდები ჩაშვებულია კაზმში, ხოლო წიღისა და ლითონის გამოშვება წარმოებს უწყვეტად ან პერიოდულად დნობას აწარმოებენ მძლავრ ელექტროდებში, სადაც აღმდგენად გამოიყენება ნახშირბადოვანი მასალები (ნახევრად კოქსი, ნავთობის კოქსი, ხის ნახშირი და სხვ.).

უწყვეტი პროცესით ფეროშენადნობების გამოდნობისას ეანგულებიდან წაშვენი ელემენტის მაქსიმალურად აღდგენის მიზნით მიზანშეწონილია ისეთი საბადნე მასალების ან კონცენტრატების გამოყენება, რომლებიც ხასიათდებიან თხევადი ფაზის წარმოქმნის მაღალი ტემპერატურით.

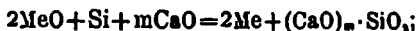
პერიოდული პროცესი წარმოადგენს გარკვეული რაოდენობის საკაზმე მასალების მთლიანად გადნობით, რომლებიც ეანგულთილია მხოლოდ ერთ დნობაზე. ლუმელში ჩატვირთული კაზმი წაშვენი ელემენტის აღდგენასთან ერთად ერთდროულად მთლიანად დნება (მაგალითად ლითონური მანგანუმი, საშუალო და ნახშირბადმცირე ფერომანგანუმი, ნახშირბადმცირე ფეროქრომი და სხვ.). ამ მეთოდით შესაძლოა ეანგულების აღდგენა ერთდროულად ნახშირბადითა და სილიციუმით (ფეროვოლფრამის), სილიციუმითა და ალუმინით (ფეროვანადუმი, ფეროპოლიბდენი, ფეროსილიკოციკონიუმი) და სხვ. ლითონისა და წიღის გამოშვებას პერიოდულად აწარმოებენ.

ელექტროთერმული პროცესები არის აგრეთვე, წოდური და უწოდო. ფეროშენადნობების წარმოებისას წარმოქმნილი წიღის ფარდობითი რაოდენობის განსაზღვრა წარმოებს ან ლითონის მასასთან ფარდობით პროცენტებში, ან წიღის ჯერადობით, ე. წ. წიღის მასის ფოლადის მასასთან ფარდობით. ჩვეულებრივ, ფეროშენადნობების გამოდნობის უწოდო პროცესს აკუთვნებენ ისეთს, რომლის დროსაც წარმოქმნილი წიღის რაოდენობა უმნიშვნელოა და ლითონის მასის 3—10%-ს შეადგენს (მაგალითად, კრისტალური სილიციუმის, ფეროსილიციუმის, სილიკოკალციუმის, სილიკოალუმინის, ფეროქრომისა და სხვ. წარმოება). უწოდო პროცესში წიღის წარმოქმნა ძირითადად მიმდინარეობს მადანსა, კონცენტრატსა ან არამადნურ მასალებში არსებულ დნობისას აღუდგენელი ეანგულების დნობის შედეგად.

ფეროშენადნობების გამოდნობის წოდური პროცესი ხასიათდება წარმოქმნილი წიღის საკმაო რაოდენობით (ლითონის მასის 20—35%). შედარებით მცირე წიღის შემთხვევაში დნობა უწყვეტი პროცესით წარმოადგენს (ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმი, გადასამუშავებელი ფეროსილიციუმი, ნახშირბადოვანი ფეროქრომი).

არსებობს, აგრეთვე, ფლუსური და უფლუსო პროცესები. ფეროშენადნობების პერიოდული პროცესით წარმოებას ხშირად ფლუსური მეთოდით წარმართავენ. ზოგჯერ კი — პირიქით.

ფლუსური მეთოდით წაშვენი ელემენტების ეანგულების აღდგენა მიმდინარეობს რეაქციებით:



ფლუსად გამოიყენება CaO, MgO და სხვ. ეანგულების შემცველი მასა-

ლები, რომელებიც ქმნიან აღდგენის რეაქციის პროდუქტებთან მდგრად ქიმიურ ნაერთებს. ამასთან, აუცილებელ პირობად შეიძლება მივიღოთ: წილის სიბლანტის შემცირება, წილის დნობის ტემპერატურის შემცირება ან ზრდა (ამასთან ლითონისა), მასში მინარევეების შემცირება და ა. შ.

შესაძლოა ელექტროდულში ფეროშენადნობების უფლუსოდ დნობა. ამასთან, ელექტროენერჯის ხარჯი მცირდება და ლუმლის მწარმოებლურობა იზრდება, მაგრამ წაშუყანი ელემენტის აღდგენას ხარისხი მცირდება. ამასთან, წილა შეიცავს წაშუყანი ელემენტის უანგეულის საკმაო რაოდენობას. ასეთი წილა გაპოყენება ნახშირბადოვანი ფეროშენადნობების გამოსადნობად.

§ XIX. 2. ფეროშენადნოვანის ლუმლავის ყოგადი დახახინათივა და კონსტრუქციის ელემენტები

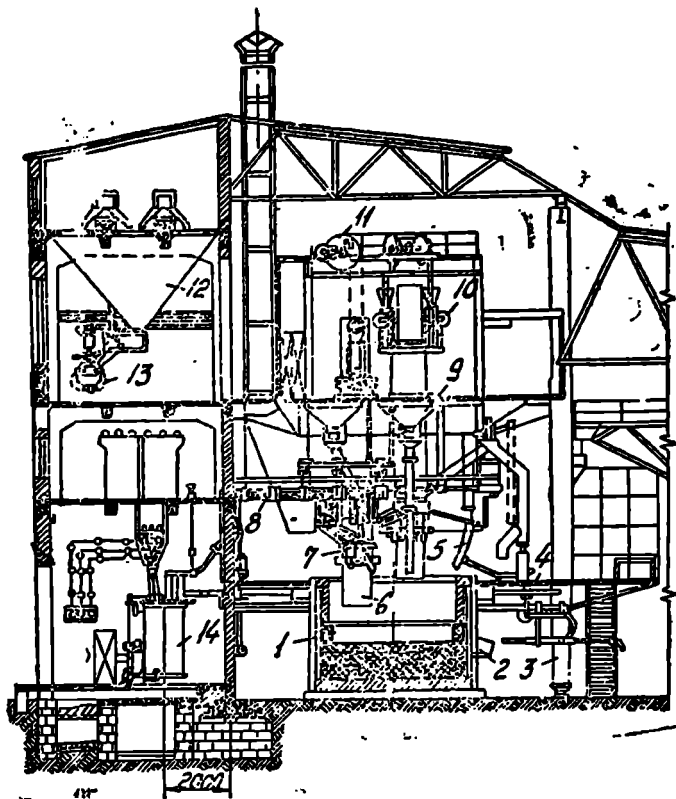
თანამედროვე ფეროშენადნობი წარმოების სადნობი საამქრო აღქურვილი სამუხაინი მძლავრო ელექტროლუმლებით. შავალითისათვის XIX. 1 ნახაზზე ნახვენბია სადნობი საამქროს განიკვეთის სქემატური გამოსახულება. გამოსაშვებლარიანი ლუმელი 1, 2 მოთავსებულია შესაბამის საძირკველზე. ტრანსფორმატორიდან 14 ელექტროდენი მოკლე ქსელის 8 სალტებით გადაეცემა დენის მიმყვან ყბებს 7, ხოლო მათგან კი ელექტროდებს 6. სამუშაო აიენის 4 დონეზე იმყოფება ჩასატვირთვი ლარი 5, რომელიც შილმიმყვანებით მიერთებულია მის ზემოთ განლაგებულ ბუნკერებთან 9. წასახრდელი თვითმშემცნობი ელექტროდების გადაამუშავებისათვის გამოიყენება სამუხარუქო მოწყობილობა 10, რომელიც მიერთებულია გადაშტან ცილინდრებთან. ეს უკანასკნელი ელექტროდებთან და დენის მიმყვან ყბებთან ერთად გადაადგილდება ჯალამბრის 11 მეშვეობით. სამუშაო აიენის ქვეშ იმყოფება გამოსაშვები ხეჯელის ეანგბადის კავლით გასაქრელი აპარატი 3.

ფეროშენადნობის გამოსადნობად საქირო ნელლი მასალების მომზადება საკაზმე ეზოშე წარმოებს და იქიდან მიეწოდება ბუნკერს 12, სადაც ენახება ყოველი მასალის სადლელამისო მარაგი. საკვები მოწყობილობით ბუნკერებიდან საკაზმე მასალები სადლოზირებულ ურიკას 13 მიეწოდება. ტელფერზე ჩამოკიდებული სადლოზირებელი ურიკა მონორელსზე გადაადგილდება სხედასხვა ბუნკერებთან, საიდანაც იტვირთება მასში ყოველი მასალის ვარკვეული ოდენობა. კაზმით შეესებული ურიკა მიეწოდება სადლუმელ შალში სადნობ ლუმლების თავზე განლაგებულ ბუნკერებს 9, საიდანაც ჩასატვირთი ლარით 5 ლუმელში ჩაიტვირთება.

ამონაგის შერჩევა გამოსადნობ ფეროშენადნობზეა დამოკიდებული. მაგალითად ნახშირბადოვანი ფეროშენადნობისა და სილიციუმიანი შენადნობების გამოდნობისათვის ლუმლის სამუშაო არე ნახშირის ბლოკებით ამოიკება; ნახშირბადოვანი ფეროქრომისათვის — მაგნეზიტის აგურებით, ზემო კედლები შამოტის აგურით ამოიკება.

ნახშირის ბლოკებით ამოგებულ ქვედის სისქე 1,8 მ-ია (1,2 მ ნახშირის ბლოკები და 0,6 — თბოიზოლაცია).

მრავალი ფეროშენადნობის ლუმლების ამონაგის სამუშაო ფენას ე. წ. ვარისაჯი წარმოადგენს, რომელიც მდნის, წილისა და ლითონის ნაღნობს წარმოადგენს. ელექტროდებზე დენის მისაყვანად და საქერად სპეციალური ელექტროდის დამქერი გამოიყენება. იგი შედგება რგოლისა, საკონტაქტო ყბებისა და მიმქერი მოწყობილობისაგან.



ნახ. XIX. 1. ფეროსანობ საშქრის განიკეთის კრილი.

ელექტროდების დაწვისას აუცილებელია მათი დაშვება, რომელიც სპეციალური დაშვები (გადამტანა) ცილინდრების საშუალებით ზორციელდება. ელექტროდების გადატანა ღენის გამოურთველად მიმდინარეობს. მათი გადატანა 200 მმ-ის სივრცეზე ღულამეში ეროხელ წარმოებს.

ყველა ფეროშენადნობის ღუმლები წარმოადგენს მადანთერმულს. ისინი მუშაობენ როგორც დახურული (ფეროსილიციუმის, ნახშირბადოვანი ფერო-მანგანუმის, ფერომანგანუმისა და სხვათა მისაღებად), ისე ღია რკალით (ფეროვოლფრამისა და სხვ. მისაღებად). ხშირ შემთხვევაში ღუმლების მუშაობის რეჟიმი შერეულია: დასაწყისში მუშაობს დახურული რკალით, ხოლო მეორე პერიოდში — ღია რკალით. ასეთა რეჟიმით იწარმოება ზოგჯერტი მარკის რაფინირებული ფეროქრომი, $\Phi X010$, $\Phi X015$ და სხვ. მარკის სილიკოკალციუმი და ა. შ.

ღანიშნულების მიხედვით ფეროშენადნობების ღუმლები შესაძლოა იყოს აღღგინითი და მარაფინირებელი; კონსტრუქციის მიხედვით — ღია და დახურული (როგორც სტაციონარული, ისე მბრუნავი აბაზანით).

აბაზანის ფორმის მიხედვით ღუმლები შესაძლოა იყოს მრკვალი, მართ-

კუთხა და ოვალური. წილისა და შენადნობების გამოშვების ხერხის მიხედვით ლუმელები უძრავ და დახრავ ლუმელებად იყოფა.

თანამედროვე ფეროშენადნობების ლუმელები ერთი ან სამაფაზიანია. ამჟამად მიმდინარეობს სამუშაოები ფეროშენადნობების ლუმელებში მუდმივი დენის გამოყენებაზე. ერთფაზიანი ლუმელები სპეციალური დანიშნულებისათვის მზადდება. სამაფაზიან ლუმელებში ელექტროდები ერთ ხაზზე (მართკუთხა ლუმელებში) ან სამკუთხედის წვერობში (მრგვალ ლუმელებში) არის განლაგებული. მძლავრი ლუმელები აღჭურვილია ექვსი ელექტროდით. ამჟამად დიდი გავრცელება პოვა სამაფაზა ელექტროლუმებმა ასეთ ლუმელებში სითბო კარგად კონცენტრირდება უშუალოდ ელექტროდების ქვეშ. ასეთი ლუმელები წყლით გამაცივებელი კამარითაა დახურული და აღჭურვილია აბაზანის მძრუნავი მექანიზმით; ეს უკანასკნელი ათანაბრებს აბაზანის ჰვეთში ტემპერატურას და ხელს უწყობს ფიზიკურ ქიმიური პროცესების თანაბარ მიმდინარეობას.

დახურულ ლუმელებში კაზმის ჩატვირთვა სრულიად მექანიზებულია. ერთ-ერთ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ დია ლუმელებთან შედარებით ელექტროდის სამუშაო ბოლო რამდენადმე გრძელია. მარაფინირებელი პროცესის ჩატარების მიზნით ფართოდ გამოიყენება დახრილი ლუმელები. ასეთ ლუმელებში გაიოლებულია როგორც ლითანისა და წილის გამოშვება, ისე ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარება. გარდა ამისა, ამონაგის მუშაობის პირობებშიც უხეჯობესდება. დასახრელი ლუმელები პერიოდული პროცესის მუშაობს, ე. ი. თხევადი შენადნობისა და წილის პერიოდული გამოშვებით.

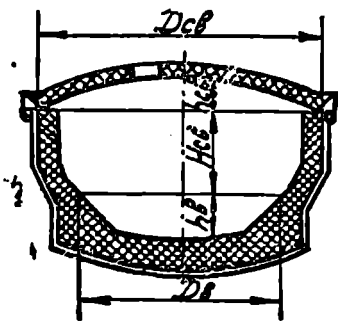
სარაფინაციო ლუმელების დახრა ორი პილრაველი დომკრატით ხორციელდება. აბაზანის ბრუნვა ელექტრომექანიკური ამძრავით წარმოებს, რომელიც უზრუნველყოფს აბაზანის წრიულ ბრუნვას. ლუმლის კამარა ქრომმაგნეზიტის აგურებით მზადდება.

ლუმელები, რომლებიც განკუთვნილია ბლოკის სახით ფეროშენადნობების მისაღებად, აღჭურვილია აბაზანის გამოსაგორებელი მოწყობილობებით.

ზოგიერთი სპეციალური სორტის ფეროშენადნობების წარმოებამ შესაძლოა მოითხოვს ლუმელების როგორც კონსტრუქციის გარკვეული გაუმჯობესება, ისე სხვადასხვა ტიპის ვაკუუმური ან კომპრესიული ლუმელების გამოყენება (მაგალითად, განსაკუთრებით მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის წარმოებისათვის გამოიყენება ვაკუუმური ელექტროწინაღობის ან ვაკუუმური ინდუქციური ლუმელები; აზოტირებული ფეროქრომის მისაღებად გამოსაღვია სხვადასხვა ტიპის კომპრესიული ლუმელები).

ზოგიერთი ფეროშენადნობების წარმოება არ მოითხოვს გარეშე სითბოს მიყვანას. ამ შემთხვევაში ძირითად ეანგულელებსა და აღმდგენელ ელემენტებს შორის ურთიერთქმედებით გამოყოფილი სითბო სრულიად საკმარისია პროცესის მიმდინარეობისათვის. ასეთი ფეროშენადნობები მიიღება სადნობ ჰებში — ქურებში. ამგვარად, პროცესი მიმდინარეობს ეგზოთერმულად. მას ლითონთერმული ეწოდება. ლითონთერმული პროცესით ფეროშენადნობების სადნობი ლუმლის ქურობები მრგვალა განივკვეთის მზადდება. ისინი შესაძლოა იყოს უძრავი ან ურიკაზე დადგმული.

ლუმლის სამუშაო სივრცე. ლუმლის სამუშაო სივრცის გეომეტრია უნდა უზრუნველყოფდეს სითბოს მინიმალურ დანაკარგებს, ცეცხლგამძლე ამონაგის მთელი ზედაპირის თანაბარ თბურ დატვირთვას, ამონაგის მაღალ მდგრადობას, თხევად წიდასა და ლითონს შორის მეტალურგიული პროცესების ინტენსიურ მიმდინარეობას, კაზმის მთელი რაოდენობის ერთბაშად ჩატვი-



ნახ. XIX 2 ელექტროკალური ლუმლის სამუშაო სივრცის პროფილი.

რთვისა და სხვა. ამიტომ ლუმლის სამუშაო სივრცის ფორმას, პროფილსა და მის ზომებს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. XIX. 2 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტროკალური ლუმლის სამუშაო სივრცის პროფილი. მისი სამუშაო სივრცე სამ შემაღლებულ ნაწილად იყოფა: აბაზანა, თავისუფალი და კამარის ქვეშე არე.

აბაზანის შიგა დიამეტრი შეიჩვევა ელექტროდის დიამეტრის, გამოსადნობი შენადნობის სახეობის და ამონაგისა და ელექტროდის შორის მოთავსებული შანძილის მიხედვით.

აბაზანის ზომები ისეთი უნდა იყოს, რომ მასში მოთავსდეს თხევადი ლითონისა და წილის აუცილებელი რაოდენობა. გარდა ამისა, კიდევ უნდა არსებობდეს მოცულობის $10-15\%$ რეზერვი, რაც აუცილებელია ლითონის რევისა და ლუღილისათვის. აბაზანიდან სითბოს კარგვა ძირითადად დაკავშირებულია ამონაგის თბოგადაცემის უნარზე. თბოგადაცემა წარმოებს ლითონ-ამონაგის და წილა-ამონაგის შეხების მთელ ზედაპირზე. ამიტომ ლუმლის აბაზანის გეომეტრიის შერჩევისას ითვალისწინებენ შეხების მინიმალურ ფართობს. ასეთ პირობას აკმაყოფილებს სფეროსმაგვარი ფორმა. რადგანაც სფერული ფორმის დაშლად და მისი კონფიგურაციის დაცვა ლუმლის მუშაობის პროცესში პრაქტიკულად შეუძლებელია, ამიტომ აბაზანის ობტიმალურ ფორმად მიღებულია სფერო-კონუსური დახრილი კედელი (45° დახრით). ელექტროდის დიამეტრის შერჩევა წარმოებს მის 1 სმ^2 ფართობზე მოსული დენის სიმკვრივის მიხედვით. ეს უკანასკნელი თანამედროვე ლუმლებში $4,4-9,4\text{ ა/სმ}^2$ ფარგლებში იცვლება.

ლუმლის გარე დიამეტრი უდრის აბაზანის d , დიამეტრს დამატებული ამონაგის ორმაგი სისქე. აბაზანის h სიღრმე განისაზღვრება ელექტროდის დიამეტრის, მასზე მოსული დენის სიმკვრივის, გამოსადნობი შენადნობის სახეობისა და ლუმლის სიმძლავრის მიხედვით. ჩვეულებრივ, 7500 კვა ლია ლუმლებისათვის აბაზანის სიღრმის დაოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრთან შემდეგი განტოლებით გამოისახება $h \approx 2,2d$. ხოლო დახურული ლუმლებისათვის $h \approx (2,5 + 2,7)d$.

მძლავრი ელექტროლუმლების ქვედის სისქე 2 მ-მდე აღწევს. ამგვარად, ლუმლის საერთო სიმაღლე განისაზღვრება ტოლობით $H = h + 2$.

თანამედროვე ლუმლებში $H_{\text{თავ}}/D \approx 0,4 + 0,5$ ფარდობა აკმაყოფილებს ყველა ძირითად წამოყენებულ მოთხოვნას. ასეთი ფარდობა უზრუნველყოფს ლუმელში მთლიანი კაზმის ერთჯერადად ჩატვირთვას.

ლუმლის გარსაცმი $15-35$ მმ სისქის ფოლადის ფურცლების დამოქლონებით ან შედუღებით მზადდება. ტრანსფორტირებისათვის მოსახერხებლად მას სექციებად აშალებენ, რომლებსაც მონტაჟის დროს აღცილებს აწყობენ. მასში მოთავსებულია წილისა და ლითონის გაშლისაშენი ორი ხვრელი, რომლებიც განლაგებულნი არიან 60° კუთხით. ზოგიერთ შემთხვევაში ლუმლის გარსაცმი ან მისი გარკვეული ნაწილი წყლით ცივდება. ჩვეულებრივ, ლუმლის ქვედს აცივებენ ჰაერის შეხერხებით. ლუმლის გარსაცმს გარედან თარაზუ-

ლალ და პარალელურად მიღებული აქვს 6—8 სიხისტიკის სარტყელი და 1 ან 2 შვეული ურთითერტპარალელური სიხისტიკის წიბო.

ელექტროკალური ფეროშენადნობი ღუმლების შექანიკური და ელექტრომოწყობილობა და შეშაობის პრინციპები პრაქტიკულად იგივეა, რაც ელექტროფოლადსადნობი ღუმლებისა.

§ XIX. 3. ფეროშენადნობების წარმოება

ა) ფეროსილიციუმის წარმოება

სილიციუმი და მისი შენადნობები ფართოდ გამოიყენება ფოლადის როგორც განტანგვისა და ლეგირებისათვის, ასე სილიციოთერმული მეთოდით ზოგიერთი ლითონებისა და შენადნობების წარმოებისას. სხვადასხვა მარკის ფეროსილიციუმის გამოდნობას (19-დან 92% მდე Si) ძირითადად ელექტროლუმბებში აწარმოებენ. XIX. 1 ცხრილში მოცემულია ელექტროთერმული ფეროსილიციუმის მარკები და შედგენილობა. აღსანიშნავია, რომ 50—60%-ანი ფეროსილიციუმს არ აწარმოებენ, რადგანაც იგი ფოსფორისა და ალუმინის გავლენით იშლება და წარმოიქმნება შხაშიანი აქროლადები.

ასო J მიუთითებს — სამსხელო წარმოებისათვის; მ — ელექტროტექნიკური ფოლადების გამოდნობისათვის.

ГОСТ 1415—78 მიხედვით ელექტროლუმბში გამოდნობილი ფეროსილიციუმის თერთმეტი მარკა იყოფა სამ ჯგუფად: მცირესილიციუმისანი (ФС 20, ФС 20 J, ФС 25), საშუალოსილიციუმისანი (ФС 45, ФС 65 და ФС 69 მ) და უზუსილიციუმისანი (ФС 75 J, ФС 75, ФС 75 მ, ФС 90 და ФС 92). ასეთი დაყოფა პირობითია, მაგრამ მოსახერხებელია თეორიული ანალიზისა და გამოდნობის ტექნოლოგიის საფუძვლების განხილვისას.

ცხრილი XIX. 1

ფეროსილიციუმის მარკები და შედგენილობა (ГОСТ 1415—78)

| მარკა | შემცველობა | | | | | | | | |
|---------|------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|
| | Si | C | S | P | Al | Mn | Cr | Ti | Ca |
| ФС 92 | 92 | — | — | 0,03 | 2,5 | 0,2 | 0,2 | — | 0,5 |
| ФС 50 | 89 | — | — | 0,03 | 3,5 | 0,2 | 0,2 | — | — |
| ФС 75 | 74 - 80 | — | — | 0,05 | — | 0,4 | 0,4 | — | — |
| ФС 75 J | 74 - 80 | — | — | 0,05 | 1,5 | 0,3 | 0,3 | — | — |
| ФС 75 მ | 74 - 80 | 0,1 | 0,2 | 0,04 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,05 | 0,1 |
| ФС 69 მ | 67—72 | 0,1 | | 0,04 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,04 | 0,1 |
| ФС 65 | 63—68 | — | — | 0,05 | 2,5 | 0,4 | 0,4 | — | — |
| ФС 45 | 41—47 | — | — | 0,05 | 2,0 | 0,6 | 0,5 | — | — |
| ФС 25 | 23—27 | 0,8 | — | 0,06 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | — | — |
| ФС 20 | 19—23 | 1,0 | — | 0,10 | 1,0 | 1,0 | — | — | — |
| ФС 20 J | 19—23 | — | — | 0,20 | 1,0 | 1,0 | 0,3 | — | — |

სილიციუმისა და მისი შენადნობების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. სილიციუმი შავი ან ფოლადის ფერის მქონე მეტალოიდი, რომელიც შემდეგი თვისებებით ხასიათდება:

- ატომური მასა 28, 086
- ვალენტობა 2 და 4

სიმკვრივე, გ/სმ³ 2,37
 დნობის ტემპერატურა, °C 1414
 დუღილის ტემპერატურა, °C 2687

ქანგბადთან სილიციუმში წარმოქმნილი კაემიწის SiO₂ (დნობის ტემპერატურა 1710°C) და სილიციუმის მონოფანგს SiO. ეს უკანაწელი აქლორადია და 1500°C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე კაემიწად და სილიციუმად იშლება.

სილიციუმში ნახშირბადთან სილიციუმი კარბიდს, ე. წ. კარბორუნდს, წარმოქმნის, რომლის სიმკვრივეც 3,2 გ/სმ³ ტოლია, ხოლო დნობის ტემპერატურა 2700°C. რკინასთან სილიციუმი შთელ რიგ სილიციდებს (Fe, Si₂, FeSi, FeSi₂, Fe₃Si₂ და სხვ.) წარმოქმნის, რომელთაგანაც ყველაზე მზგარადს FeSi წარმოადგენს 1410°C დნობის ტემპერატურით.

ნ ე ლ ი შ ა ს ა ლ ე ბ ი . სილიციუმისა და მისი შენადნობების წარმოებაში ძირითადად კვარციტები გამოიყენება. მათი ძირითად შემადგენელს სილიციუმის ქანგეული — კაემიწა (SiO₂) წარმოადგენს,

ამჟამად გამოიყენება ორი მარკის კვარციტი: KΦ და KΨ. ფეროშენადნობების წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება KΦ მარკის კვარციტი (ფეროსილიციუმი, სილიკიალიციუმი, სილიკომანგანუმი და სხვ). KΨ მარკის კვარციტი გამოიყენება ძირითადად გაღასამუშავებელი წილების მისაღებად. XIX. 2 ცხრილში მოკვემულია კვარციტების შედგენილობა.

მათთვის ალუმინისა და ფოსფორის ქანგეულები მანვე მინარეგებს წარმოადგენს: რაც ნაკლებია კვარციტში თიხაშიწა, შით ნაკლები წიდა წარმოქმნება და შით დაბალია ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯი. ამიტომ საჭიროა თიხაშიწიანო კვარციტების დამსხვრევის შემდეგ მათი გარეცხვა. კვარციტის ნაქრები გახურებისას არ უნდა ირღვეოდეს, რადგანაც ამ შემთხვევაში მცირდება კაზშიში აირების განვლადობა. ნაქრების ზომები ურღვევად კვარციტებისათვის 20—80 მმ-ს შეადგენს. დამსხვრეულ კვარციტებიდან აუცილებელია წვრილების გამოყოფა, რომელიც თიხაშიწის დიდ რაოდენობას შეიცავს. კვარციტების ნაქრების მიერ წულის შთანთქმა 3%-ს არ უნდა აღმატებოდეს. გარდა კვარციტებისა, ფეროსილიციუმის წარმოებაში გამოიყენება აღმდგენლები, რომელთაც შემდეგ მოთხოვნები წაყენებათ: დაბალი ნაცრიანობა, მაღალი ელექტროწინალობა, აქროლადების სემიკირე და მაღალ ტემპერატურებში ნაქრების სიმტკიცე. ამ პირობებს კარგად აკმაყოფილებს ხის ნახშირი, სქელუჯისისა და ნავთობის კოქსი. ისინი ხასიათდებიან დაბალი ნაცრიანობით, მაგრამ ძვირ პროდუქტებს წარმოადგენენ. ამის გამო ძირითადად ხის ნახშირი გამოიყენება კრისტალური სილიციუმის მისაღებად. თანამედროვე პრაქტიკაში, როგორც აღმდგენლებად, ფართო გამოიყენება პოვა მეტალურგიულმა კოქსწვრილამ. მის უარყოფით მხარეს მაღალი ტენიანობა წარმოადგენს. კოქსწვრილა უნდა შეიცავდეს ~11% ტენს და ~11% ნაცარს; მისი ნაქრების ზომები 10—25 მმ-ის ფარგლებში უნდა იყოს, მასთან დაშვებულია წვრილების 10% -მდე შეკველობა

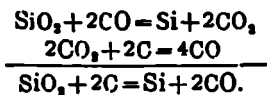
ც ხ რ ი ლ XIX. 2
 კვარციტების შედგენილობა
 (ГОСТ 14—48—80)

| შედგენილობა | შემცველობა, % | |
|--------------------------------|---------------|------|
| | KΦ | KΨ |
| SiO ₂ | 97,0 | 96,0 |
| Al ₂ O ₃ | 1,1 | 1,8 |
| P ₂ O ₅ | 0,02 | 0,03 |

ფეროსილიციუმის წარმოებაში კაზმის ერთ-ერთ ნელ მასალას ნახშირბად-

უხეი ფოლადების ანათალი (ბურბუშელა) წარმოადგენს, რომელიც არ უნდა შეიცავდეს მალეგირებელ ელემენტებს.

პროცესის ფიზიკურ-ქიმიური პირობები. ფეროსილიციუმის მიღება წარმოებს მყარი ნახშირბადით კაჟმიწიდან სილიციუმის ალდგენით (ალდკენის პროცესის თერმოდინამიკა განხილული იყო I ნაწილში) და შესაძლოა შემდეგი ჯამური რეაქციით გამოისახოს:



ეს რეაქცია მიმდინარეობს 1962K ტემპერატურაზე.

ალდგენლის ჰარბი რაოდენობის შეზღუდვაში ელექტროლუმელში შესაძლოა $\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$ რეაქციის განვითარება, ე. ი. სილიციუმის კარბიდის წარმოქმნა, რომლის არსებობაც (მისი მაღალი დნობის ტემპერატურის გამო) იწვევს ქვედის სისქის ზრდასა და ლუმლის მწარმოებლურობის დაცემას.

SiO_2 -ის ნაწილი შესაძლოა ჯერ ალდგენილ იქნეს სილიციუმის მონოჟანგად SiO -დ. მაშინ სილიციუმის კარბიდის წარმოქმნა შეიძლება შემდგომ სტეპით წარმოვიდგინოთ:



კაზში რკინის არსებობა იწვევს, აგრეთვე, სილიციუმის კარბიდის დაშლის რეაქციით: $\text{SiC} + \text{Fe} = \text{FeSi} + \text{C}$. გარდა აღნიშნულისა, რკინის არსებობის შემთხვევაში სილიციუმის კარბიდი შესაძლოა დაიშალოს თავისუფალ Si და CO-დ:



რაც შეტია კაზში რკინის შემცველობა, მით უფრო დაბალ ტემპერატურაზე წარმოიქმნება ფეროსილიციუმი.

კაჟმიწის ალდგენასთან ერთად ელექტროლუმელში მიმდინარეობს სხვა ენგულუმების ნაწილობრივი ალდგენაც, მაგალითად, Al_2O_3 , CaO , MgO და სხვ. ენგულუმების ის ნაწილი, რომელიც ვერ ალდგა, კაჟმიწასთან იწილება.

მდიდარი კვარციტების გამოყენების შემთხვევაში წიდა მცირე რაოდენობით წარმოიქმნება, რომელიც ლითონური მასის 2—6% არ აღემატება, წარმოქმნილი წიდის ტაჟური შედგენილობა შესაძლოა იყოს: 22—26% SiO_2 , 7—14% SiC , 35—39% Al_2O_3 , 9—18% CaO , 1—3% MgO , 7—13% BaO , 0,2—2,0% FeO . მისი დნობის ტემპერატურა 1650—1700°C-ია. ~1700°C-ზე იგი ხსიათდება ძალზე მაღალი სიბლატით (10—50 ჰუჯით). მისი მცირე რაოდენობა, რომელიც ლითონის გამოშვების შემდეგ რჩება ლუმელში, იწვევს ქვედის ზრდას და ლუმლის მწარმოებლურობის შემცირებას. წიდის გათხევადებისათვის მლზობ შატს ან კირს იყენებენ.

დნობის ტექნოლოგია. ამჟამად ფეროსილიციუმის გამოდნობა წარმოებს უწყვეტი პროცესით როგორც დახურული ($\Phi\text{C}20$, $\Phi\text{C}45$, $\Phi\text{C}65$) ასე ლია ($\Phi\text{C}75$, $\Phi\text{C}90$, $\Phi\text{O}92$) ელექტროლუმელში. თავისი კონსტრუქციით ისინი წარმოადგენენ სტაციონარულ და მბრუნავ ლუმლებს, რომელთა სიმძლავ-
333

რე 75 მეგავატს აღწევს. ამასთან, დენის ძალა 35000—70000 აღწევს, ძაბვა კი 130—210 ვ. ამჟამად ფეროსილიციუმის წარმოება დახურულ ღუმელებში მიმდინარეობს.

ფეროსილიციუმის ღუმლის ქვედა და ქვემო ნაწილს ნახშირის ბლოკებით აგებენ, ხოლო ზედა ნაწილს — შამოტის აგურებით.

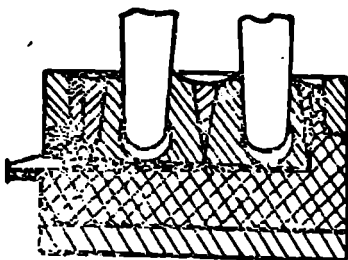
ღუმელში დნობის პროცესი ძირითადად უშუალოდ ელექტროდებთან მიმდინარეობს, სადაც ღუმლის ყველაზე ცხელ ზონაში წარმოიქმნება თავისებური აირთვანი ნივთიერებები ე. წ. ტიგელები. რეაქციის ზონაში წარმოქმნილი აირები ელექტროდების ზედაპირის გასწვრივ მიისწრაფვის ზევით. ამ შემთხვევაში გვხვდება სითბოსა და სილიციუმის დანაკარგები. ყოველივე აღნიშნულის შემციარებისათვის ცდაობენ ელექტროდების იზკვლავ შექმანა ე. წ. კონუსის სახით კაზმის გარკვეული ფენა (ნახ. XIX. 3). წარმოქმნილ ტიგელებში ელექტროდის ბოლოების დაშორება თხევადი ლითონის ზედაპირიდან დაახლოებით 200 მმ შეადგენს. რკალის ზონაში გამოყოფილი აირების ტემპერატურა ძალზე მაღალია და მისი მოჩაობა კაზმის ზედა ფენების გავლით ახერგებს ამ უანასანესს; ცივი კაზმის შემთხვევაში გახურებულ აირებთან წარმოებს სილიციუმის ორთქლის კონდენსირება. მაქაერ დაბურულ ღუმელებში კაზმის ჩატეხილთვა წარმოებს ღუმლის კაპარაში ჩაშვებულ სვეციალურ საკაზმე მილებით, რომელთა ზედა ბოლოები მიერთებულია ზედსართულზე მოთავსებულ ბუნკერებთან.

აღმდგენლის უკმარისობა იწვევს კაზმის შეცხოებას, რის შედეგადაც ირღვევა ელექტროდის ნორმალური მოჩაობა — ელექტროდები კაზმში დრმად იყვინთება, რაც იწვევს ღუმლის სამუშაო არისა და აბაზანის მოცულობის შემცირებას, ირღვევა პროცესის სტაბილურობა, წიდა ხდება ბლანტი, ელექტროდის ბოლოები ძალზე ვიწროდება და სწრაფად მოკლდება. კაზმის ზედაპირიდან 500—600 მმ სიღრმეზე $\Phi C 45$ გამოდნობისას ტემპერატურა 1800—2000°C აღწევს, რის შედეგადაც მიქდანარეობს როგორც სილიციუმის მონოქანიგის, ისე აღდგენილი სილიციუმის აქოლა. გარდა აღნიშნულისა, ბლანტი ზეავე წიდა იწვევს ქვედის ნატკენი ფენისა და ამონაგის რღვევას. ეს უქანასენელი კი იწვევს ლითონის გაფონვის საშიშროებას.

აღმდგენლის სიჭარბე იწვევს ელექტროდის ჩაშვების ზრდას და ელექტროდებთან კაზმის სწრაფად დაშვებას. ჰარბი აღმდგენლის შემთხვევაში, კრისტალური სილიციუმის გამოდნობისას, სილიციუმის კარბიდი დღო როოდნობით წარმოიქმნება, ჰრაც იწვევს აბაზანის კედლებისა და ქვედის სისქის ზრდას. ყოველივე აღნიშნულის გააო აუცილებელი ხდება ღუმლის შერეება და მისი აბაზანის გაშენდა.

ფეროსილიციუმში გამოიშვება დადგენილი გრაფიციის მიხედვით პერიოდულად. $\Phi C 45 \pm \Phi C 90$ ფეროსილიციუმში ცვლაში 4—5 ჯერ გამოიშვება.

შენადნობის გამოშვების უფრო მცირე რიცხვის შემთხვევაში ხდება ღუმელში შენადნობის გადახურება და გამოშვებისას გვაქვს სითბოს დიდი დანაკარგები. ხშირი გამოშვების შემთხვევაში ლი-
22 ს. იაკობაშვილი და სხვ.



ნახ. XIX. 3 ფეროსილიციუმის სადნობ ღუმლის განიკვეთის სქემატური გამოჩახლება.

თონი ვერ ასწრებს საკმაოდ გახუტებას, რის შედეგადაც გვაქვს ციცხვში ჩაყინული სახით ლითონის დანაკარგები. ფეროსილიციუმის გამოშვების ხანგრძლივობა 15 წუთს შეადგენს. გამოშვების დროს ანალოზისათვის აიღება ლითონის სინჯი. შენადნობი შამოტის აგურით ამოგებულ ციცხვში ჩაისხმება, ხოლო იქიდან ჩააოისხმება ანაამოგებულ ქველზე. ზოგაერთი ქარხანა ფეროსილიციუმის ჩამოსხმას ორმხრივი თუჯის ბაყუცებში აწარმოებს, რომლებიც პოკოპკებზეა ჩამოკიდებული. ერთი მათგანი მიერთებულია ამოსაყირავებელ მექანიზმთან.

ლიცვაციის შემცირების მიზნით 75%-ანი ფეროსილიციუმი ჩამოსხმება დაახლოებით 100 მმ-იან ზოდებად, ხოლო 45%-ანი — არა უმეტეს 120 მმ.

ღუქლას ნორმალურა მუშაობის შემთხვევაში ყოველ გამოშვებისას 1 ტონა გამოშვებულ შენადნობზე უნდა გადმოდიოდეს ~30 კგ წილა.

დნობის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ფეროშენადნობების დნობის პროცესის ძირითად ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებელს ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯი წარმოადგენს. ფეროსილიციუმის გამოდნობაზე ნედლი და დამსპარე მასალების ხარჯი მოცემულია XIX. 3 ცხრილში.

ცხრილი XIX. 3

ფეროსილიციუმის გამოდნობაზე მასალების ხარჯი (კგ/ტ)

| მასალები | DC20 | DC25 | DC45 | | DC65 | | DC 75 | |
|--|-----------------|------------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|------|
| | დახურული ღუმელი | ლია ღუმელი | დახურული ღუმ. | ლია ღუმ. | დახურული ღუმ. | ლია ღუმ. | დახურული ღუმ. | |
| კვარციტი, კგ რკინის ბურბულზე, კგ . . . | 370 | 552 | 1015 | 921 | 1520 | 1568 | 1786 | 1930 |
| კოქსფრილა, კგ . . . | 810 | 780 | 560 | 558 | 320 | 343 | 223 | 250 |
| საელექტროლო მასა, კგ | 200 | 280 | 485 | 438 | 665 | 720 | 800 | 845 |
| ელექტროენერჯის ხარჯი (კვტ.ს) Si ამოღება, % | 10 | 8 | 19 | 16 | 45 | 43.3 | 54 | 54 |
| | 2186 | 2819 | 4580 | 4756 | 7400 | 7610 | 8490 | 8440 |
| | 94,3 | 98,5 | 97,9 | 98,2 | 94,9 | 92,1 | 92,3 | 91,8 |

ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ზრდის რეზერვებს შეადგენს: კაჟის მომზადების მეთოდების გაუჯობებსება, სპეციალური აღმდგენლების გამოყენება, დახურული ღუმლების გამოყენება, კაჟის დოზირების სიზუსტის ამაღლება, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციის ამაღლება და სხვ.

ბ) ფეროქრომის წარმოება

ქრომი ერთ-ერთ მალეგირებელ ელემენტს წარმოადგენს, რომელიც ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ფოლადის წარმოებაში XIX. 4 ცხრილში მოყვანილია ამგვარად სამამულო წარმოებაში გამოშვებული ფეროქრომის მარკა და ძირითადი ელემენტების შემცველობა.

ფეროქრომის (ГОСТ 4757-79) ქიმიური შედგენილობა (%-ით)

| ჯგუფი | მარკა | არა უმეტესი | შემკველობა % | | | | | N, არა უმეტესი |
|-----------------------------|-----------|-------------|--------------|-----|------|------|------|----------------|
| | | | C | Si | P | S | Al | |
| ნახშირბად- მცირე | ФХ001А | 68 | 0.01 | 15 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.7 |
| | ФХ001Б | | 0.01 | | 0.03 | | 0.02 | 0.7 |
| | ФХ002А | | 0.02 | | 0.02 | | — | — |
| | ФХ002Б | | 0.02 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ003А | | 0.03 | | 0.02 | | 0.03 | 0.7 |
| | ФХ003Б | | 0.03 | | 0.03 | | — | 0.7 |
| | ФХ004А | | 0.04 | | 0.02 | | — | 0.3 |
| ФХ004Б | 0.04 | 0.03 | — | 0.3 | | | | |
| საშუალო ნახ- შირბადოვანი | ФХ005А | 65 | 0.05 | 1.5 | 0.03 | 0.03 | — | — |
| | ФХ005Б | | 0.05 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ006А | | 0.06 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ006Б | | 0.06 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ010А | | 0.10 | | 0.03 | | 0.3 | — |
| | ФХ010Б | | 0.10 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ015А | | 0.15 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ015Б | | 0.15 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ025А | | 0.25 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ025Б | | 0.25 | | 0.05 | | — | — |
| ФХ050А | 0.50 | 0.03 | — | — | | | | |
| ФХ050Б | 0.50 | 0.05 | — | — | | | | |
| ნახშირბად- უმაღლე | ФХ100А | 65 | 1.0 | 2.0 | 0.03 | 0.04 | — | — |
| | ФХ100Б | | 1.0 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ200А | | 2.0 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ200Б | | 2.0 | | 0.05 | | — | — |
| | ФХ400А | | 4.0 | | 0.03 | | — | — |
| | ФХ400Б | | 4.0 | | 0.05 | | — | — |
| აზოტირე- ბული | ФХ650А | 65 | 6.5 | 2.0 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | — |
| | ФХ650Б | | 6.5 | | 0.05 | | 0.06 | — |
| | ФХ800А | | 8.0 | | 0.03 | | 0.06 | — |
| | ФХ800Б | | | | 0.05 | | 0.08 | — |
| | ФХE00CA | | | | 0.03 | | 0.03 | — |
| ФХ800.Б | 5.0-10.0 | 0.05 | 0.03 | — | | | | |
| აზოტირე- ბული | ФХН100А | 60 | 0.06 | 1.0 | 0.02 | 0.03 | 0.7 | 1.0 |
| | ФХН100Б | 60 | | | 0.03 | | 0.7 | 1.0 |
| | ФХН200А | 65 | | | 0.03 | | — | 2.0 |
| | ФХН200Б | | | | 0.04 | | — | 2.0 |
| | ФХН400А | | | | 0.03 | | — | 4.0 |
| | ФХН400Б | 60 | | | 0.01 | | 0.04 | 4.0 |
| | ФХН1.600А | | | | 0.03 | | — | 6.0 |
| | ФХН60.Б | | | | 0.03 | | — | 6.0 |

ფეროქრომის მარკებში მიღებული აღნიშვნებია: Ф—რკინა, Х—ქრომი, С—სილიციუმი, Н—აზოტი. ასოები А და В უჩვენებს ფოსფორის შემკველობას. რიცხვები ფეროქრომში ნახშირბადის მაქსიმალურ შემკველობას უჩვენებს ნახშირბადმცირე, საშუალო ნახშირბადოვან და ნახშირბადუფ ფეროქრომებში, ხოლო აზოტირებულში — აზოტის მინიმალურ შემკველობას.

ნახშირბადმცირე ფეროქრომის წარმოებაზე ელექტროენერჯისა და მასალების ხარჯი შედარებით დაბია, ვიდრე საშუალო ნახშირბადოვანი და ნახშირბადუხვ ფეროქრომის წარმოებისას და ამიტომ მათთან შედარებით ძვირი ჯდება.

ნედლი მასალები. დედამიწის ქვებში ქრომის საშუალო შემცველობა ~ 0,035% შეადგენს; ძირითად მინერალს ქრომპინელიდები, ე. წ. ქრომიტები წარმოადგენს, რომლებიც შეიცავენ $\leq 52\% \text{Cr}_2\text{O}_3$. დანარჩენ მინარევებს FeO , Al_2O_3 , SiO_2 და MgO შეადგენს. ქრომიტება წარმოქმნიან რამდენიმე სახესხვაობას: თეთრ ქრომიტ FeCr_2O_4 (45,5%Cr), მაგნოქრომიტი (Mg, Fe)- Cr_2O_4 (42%Cr) და ა. შ. ქრომის მადნის ძირითად საბადოებს დონის საბადოები წარმოადგენს. ქრომის მადნებში $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO} > 2,5$. აღუდგენლად ძირითადად დახარისხებული კოქსი იხმარება, რომელიც შეიცავს არა უმეტეს 0,5%S, 0,04%P და წარმოადგენს 10—25 მმ ნაკრებს.

ქრომისა და მისი შენადნობების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. ქრომი წარმოადგენს ვერცხლისფერ თეთრ მბზინავ ლითონს, რომელსაც შემდეგი თვისებები აქვს

| | |
|--|----------|
| ატომური წონა | 51,966 |
| ვალენტობა | 1—6 და 0 |
| სიმკვრივე, გ/სმ ³ | 7,16 |
| დნობის ტემპერატურა, °C | 1903 |

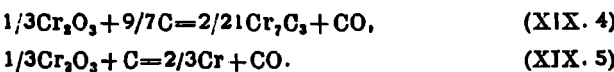
რკინაში ქრომის ხსნადობა ძალზე მაღალია. ნახშირბადსა და სილიციუმთან ქრომი რიგ კარბიდებსა (Cr_7C_3 , Cr_3C_2 და ა. შ.) და სილიციდებს (Cr_7Si , Cr_3Si , და ა. შ.) წარმოქმნის, რომელთა დნობის ტემპერატურებიც $1550 \div 1810^\circ\text{C}$ ინტერვალში მდებარეობს.

რკინასთან შესაძლოა რთული კარბიდების წარმოქმნა. მაგალითად, $6 - 7\% \text{C}$ შემცველობის შემთხვევაში მთელი ნახშირბადი ბმულია კარბიდში $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$. რკინა-სილიციუმ-ქრომის სისტემის შენადნობებში რთული სილიციდები, სილიციუმისა და ქრომის ხსნარები წარმოიქმნება.

თანდათან ქრომი საქვანგულს წარმოქმნის: CrO , Cr_2O_3 და CrO_2 . პირველი ~ 87°C იშლება, მეორე და მესამე დნება 2265 და 1950°C , შესაბამისად. ყველაზე მდგრად ქანგეულად Cr_2O_3 გვევლინება.

გოგირდსა და ფოსფორთან ქრომი რიგ სულფიდებსა და ფოსფიდებს წარმოქმნის: CrS , Cr_3S_2 , Cr_3P და ა. შ. აზოტთან წარმოქმნის მდგრად ნიტრიდებს: Cr_3N და CrN .

ნახშირბადუხვი ფეროქრომის წარმოება. ქრომის მადნში არსებული რკინისა და ქრომის ქანგეულების აღდგენის პროცესი ნახშირბადით შემდეგი რეაქციებით მიმდინარეობს:



ქრომის ქანგეულის ნახშირბადით კარბიდად აღდგენა 1130°C ტემპერატურაზე წარმოებს, ხოლო ელემენტარულ ლითონურ ქრომამდე კი 1240°C . ამიტომ ქრომის ქანგეულების ნახშირბადით აღდგენისას არ შეიძლება თავიდან აცილებულ იქნეს კარბიდების წარმოქმნა. ამასთან, პარალელურად მიმდინარეობს რკინის ქანგეულების აღდგენაც (ნაწილობრივ მიმდინარეობს სილიციუმის აღდგენაც).

სასურველია, წარმოქმნილი წიდის დნობის ტემპერატურა ~ 1650°C შე-

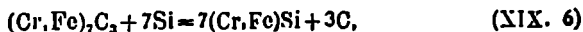
ოდგენდეს. წილის ოპტიმალური შედგენილობა შესაძლოა იყოს: 30–35% SiO₂; 32–36% MgO; 22–28% Al₂O₃ და 3–6% Cr₂O₃. წილის უკონტროლო რაოდენობა კი 0,8 ÷ 1,2.

ნახშირბადუხვი ფეროქრომის გამოდნობა ღია და დახურული უწყვეტი პროცესით წარმოებს. მუშა ძაბვას 140–200 ვ შეადგენს. ღუმელი მაგნეზიტის აგურითაა ამოკვებული,

წილა და შენადნობი ღუმლიდან ცვლაში 3–4 ჯერ გამოიშვება. თხევადი შენადნობი ცუცხვის მეშვეობით ჩამოსხმება თუჯის ბოყეებში. გადასამუშავებელი ფეროქრომი განიცდის გრანულირებას. ელექტროენერჯის ხარჯი ფეროქრომის გამოდნობაზე 3380 ÷ 3500 კვტ. სთ-ია.

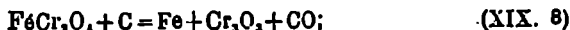
სილიკოქრომის წარმოება შესაძლოა წილური და უწილო ხერხით. დნობა ძირითადად სტაციონარულ ან მბრუნავ აბაზანიან ღია ღუმლებში უწყვეტი პროცესით მიმდინარეობს. აბაზანა ამოკვებულია ნახშირბადის ამონაგით. სილიკოქრომის შედგენილობა და მარკები მოყვანილია XIX. 5 ცხრილში. უწილო პროცესით გამოდნობის ტექნოლოგია ანალოგიურია ფეროსილიციუმის წარმოებისა.

გადასამუშავებელი ფეროქრომის დნობის პროცესში კვარციტებიდან აღდგენილი სილიციუმი შლის რკინისა და ქრომის კარბიდებს შემდეგი რეაქციებით:

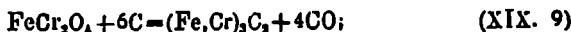


ქრომიტისა და კაჟმიწის ერთდროული აღდგენა შესაძლოა შემდეგი სქემით წარმოვადგინოთ:

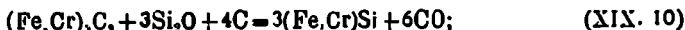
—ნახშირბადის შეზღუდულ შემცველობით რკინის შენადნობის წარმოქმნა



—გაზრდილი ნახშირბადიანი შენადნობის მიერ ქრომის შეთვისებით



—ნახშირბადის შეპკირებისას შენადნობის მიერ სილიციუმის შეთვისებით



—Fe—Cr—Si შენადნობის (50% Si) კარბორუნდის წარმოქმნით.

ცხრილი XIX. 5

ფეროსილიკოქრომის და ხილიკოქრომის შედგენილობა (ГОСТ 11861—77)

| მარკი | შემცველობა, % | | | | |
|-------|---------------|------------------|-----|------|------|
| | Si | Gr. არა უმცირესი | C | P | S |
| ФCX13 | 10–16 | 55 | 6,0 | 0,04 | 0,03 |
| ФCX20 | >16–23 | 48 | 4,5 | 0,04 | 0,02 |
| ФCX26 | >23–30 | 45 | 3,0 | 0,03 | 0,02 |
| ФCX33 | >30–37 | 40 | 0,9 | 0,03 | 0,02 |
| ФCX40 | >37–45 | 35 | 0,2 | 0,03 | 0,02 |
| ФCX48 | >45 | 28 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |

შენადნობებში ნახშირბადის შემცველობა მაქსიმალური სილიციუმის და ციციუმის შენადნობის დაყენებაზე დროს ზრდა მცირდება აღნიშნული გამოწვეულია სილიციუმში სილიციუმის კარბიდის უხვადობითა და მისი თანდათანობითი ამოტოვებით. ციციუმში წარმოქმნილი წილის ქერქის მოცილების შემდეგ აწარმოებენ შენადნობის გრანულირებას ან ზოდებად ჩამოსხმას. XIX. 6 ცხრილში მოყვანილია $40\%Si$ სილიციუმის დნობის პროცესის ტექნიკური კონომიკური მაჩვენებლები.

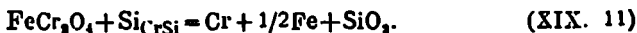
ცხრილი XIX. 6

სილიციუმის წარმოების ტექნიკური-ეკონომიკური მაჩვენებლები

| მაჩვენებლები | უწილო ხერხით | წილი ხერხით | |
|--------------------------------|--------------|------------------|-------------------|
| | | წილის გამდიდრება | წილის გამდიდრებით |
| მასალების ხარჯი, კგ: | | | |
| კვარცი | 890 | 1120 | 1040 |
| ქრომის მადანი | — | 1000 | 954 |
| გადასამუშავებელი ფეროქრომი | 432 | — | — |
| კოქსი | 320 | 600 | 570 |
| გრაფიტის პაროცისი | | | |
| ნარჩენები | 30 | — | — |
| ხის ნაფოტები | — | 113 | 107 |
| ელექტროენერჯის ხარჯი, კვტ. ს/ტ | 4500 | 6350 | 6220 |
| ქრომის იმორეზი, % | 9,3 | 83 0 | 94.0 |

საშუალონახშირბადოვანი ფეროქრომის წარმოება შესაძლებელია ტექნოლოგიური საში სქემით:

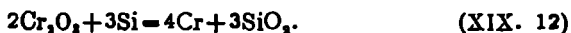
1) უფლესო მეთოდით, რომელიც დამყარებულია ლარიბი სილიციუმისა ($37-34\%Si$ და $40-46\%Cr$) და ნაქროვანი ქრომის მადნების რაფინირებაზე. დნობა მიმდინარეობს მაგნეზით ამოვებულ ლუმლებში. პროცესი შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



2) ფლუსის მეთოდით, რომელიც ნახშირბადმცირე ფეროქრომის წარმოების ანალოგიურია (იხილეთ ქვემოთ);

3) ფეროქრომის განახშირბადიანების მიზნით კონვერტერში ეანგბადის გაქრევი. კონვერტერში თხევადი შენადნობის ჩასხმის შემდეგ აწვდიან დნობის მთლიანი მასის $0,5-0,8\%Al$, რაც უზრუნველყოფს ტემპერატურის მკვეთრ ზრდას. ეს უკანასკნელი კი ქმნის ნახშირბადის დაეანგვის აუცილებელ პირობას. საბოლოო წილი $70-80\% Cr_2O_3$ შეიცავს და გამოიყენება ნახშირბადოვანი ფეროქრომის წარმოებისათვის.

ნახშირბადმცირე და უნახშირბადო ფეროქრომის წარმოება სილიციუმით ხერხით წარმოებს. ამ შემთხვევაში ფლუსად კირი გამოიყენება. აღდგენა შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



რადგანაც წილაში სილიციუმის ეანგის დაგროვება წარმოებს, რაც ხელს-

უშლის ქრომის ეანგეულის აღდგენას, ამიტომ მისში კირი შეყავთ. ეს უკანასკნელი წიდაში SiO_2 -ს აერთებს მდგრად სილიკატად $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, რის შედეგადაც აღდგენის პროცესი შეაჩერებით სრულყოფილ მიმდინარეობს. ღუმელში პარალელურად მიჰდინარეობს Ca , Mg და ა. შ. ეანგეულების აღდგენა. კარბონატული და ელემენტარული ნახშირბადის მოსაცილებლად $0,06\%$ C -ზე დაბალ შემცველობით მადანს წინასწარ წვავენ 1100°C ტემპერატურაზე. გამომწვარ მადანში ნახშირბადის შემცველობა $0,02\%$ არ უნდა აღმატებოდეს.

ნახშირბადმიკრე და უნახშირბადო ფეროქრომის გამოღობა სრაციონარულ ან დამხრელ (მბრუნავ) ღუმელებში პერიოდული პროცესით მიმდინარეობს. ღუმელი მაგნეზიტის აქონაკითაა ამოვებელი. ღუმლის სიძლიერე $2,5-5$ კვტ შეადგენს. მუშა ძაბვა $300-370$ ვ. რაც დაბალია შენადნობში ნახშირბადის შემცველობა, შით მალალია მუშა ძაბვა. მაგალითად, FX095 და FX010 გამოღობა წარმოებს $330-350$ ვ-ზე.

ჩამოსხმა წარმოებს თუჯის ან ფოლადის ბრტყელ ბოყვიებში, როპელთა ზედაპირიც კირის ხსნარით არის დაფარული. მკერძი ზოდების მიღებისა და მათში აირების შემცველობის შეკვირების მიზნით ფეროქრომს ჩაჰოსხმის წინ $3-5$ წთ განმავლობაში სპეციალურ ეკუქუქამერებში ამუშავებენ ან ასხაშენ წილის თენით ქვეშ.

წილის შიახლოებითი შედგენილობა შემდეგია: $50-53\%$ CaO ; $26-29\%$ SiO_2 ; $5-7\%$ Al_2O_3 ; $8-11\%$ MgO ; $0,5-0,8\%$ FeO და $3,5-5,5\%$ Cr_2O . ასეთი წილა გამყარებისას წმინდა ფხვნილად იშლება.

გ) ფერო მ ა ნ გ ა ნ უ მ ი

ფერომანგანუმი გამოიყენება თითქმის ყველა შარკის ფოლადების გამოღობისას. მანგანუმი ხასიათდება ეანგბადისაყენ დიდი სწრაფით. ამიტომ ფოლადის წარმოებაში იგი გვევლინება არა მარტო როგორც მალეგირებელ მასალად, არამედ როგორც კარგ ვანქანგეულად. XIX. 7 ცხრილში მოყვანილია ფერომანგანუმის გავრცელებული შარკების ქიმიური შედგენილობა.

ცხრილი XIX. 7

ფერომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა (%) (ГОСТ 4755-80)

| ფერომანგანუმის ჯგუფი | მარკა | Mn, არა ნაკლები | შემკველობა, % | | | |
|-------------------------|----------|--------------------|---------------|------|------|------|
| | | | C | Si | P | S |
| ნახშირბადმიკრე | ФМn0,5 | 85 0 | 0,5 | 2,0 | 0,3 | 0,03 |
| საშუალონახშირბადოვანი | ФМn1,0 \ | 85 | 1,0 | 1,5 | 0,10 | 0,03 |
| | ФМn1,0 | | 1,0 | 2,0 | 0,30 | |
| | ФМn1,6 | | 1,5 | 2,5 | 0,30 | |
| | ФМn2,0 | | 2,0 | 2,0 | 0,35 | |
| ნახშირბადღებო | ФМn78A | 78 · 82 | 7,0 | 2,0 | 0,05 | 0,03 |
| | ФМn78K | | | 1,0 | 0,35 | |
| | ФМn78 | | | 2,0 | 0,35 | |
| | ФМn75AC6 | 75 | 6,0 | 6,0 | 0,05 | |
| | ФМn75C4 | | | 4,0 | 0,15 | |
| | ФМn75C9 | | | 9,0 | 0,45 | |
| | ФМn75 | | | 7,0 | 1,0 | |
| ФМn70 | 70 | 7,0 | 2,0 | 0,55 | | |

ფერომანგანუმის მარკებში მიღებული აღნიშვნებია: Φ —რკინა, Mn —მანგანუმი, A —ფოსფორის დაბალი შემცველობა, K —სილიციუმის დაბალი შემცველობა, C —სილიციუმის მაღალი შემცველობა. ციფრები ნახშირბადში-რე და საშუალონახშირბადოვან ფერომანგანუმში გვიჩვენებს ნახშირბადის მაქსიმალურ შემცველობას, ხოლო ნახშირბადზე ფერომანგანუმში — მანგანუმის მინიმალურ შემცველობას.

მანგანუმისა და მისი შენადნობების ფიზიკურ ქიმიურ თვისებები. მანგანუმი ხასიათდება მოვირცხლისფრო ფერით. ზღი წარმოადგენს პერიოდული სისტემის VIII ჯგუფის გარდამავალ ელემენტს, როპელსაც შემდეგი თვისებები აქვს:

| | |
|--|-------|
| ატომური მასა | 54,94 |
| სიმკვრივე, გ/სმ ³ | 7,4 |
| დნობის ტემპერატურა, °C | 1244 |
| დუღილის ტემპერატურა, °C | 2095 |

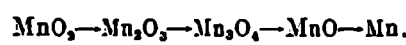
თხევალ მდგომარეობაში რკინა და მანგანუმი ერთმანეთში კარგად იხსნება და ქიმიურ ნაერთებს არ წარმოქმნის. ნახშირბადთან მანგანუმი წარმოქმნის რიგ კარბიდებს: Mn_3C_2 , Mn_2C და სხვ. სილიციუმთან იგი სილიციდებს წარმოქმნის: Mn_2Si , Mn_3Si_2 , $MnSi$, მათგან ყველაზე მდგრადია $MnSi$.

ნახშირბადზე ფერომანგანუმის წარმოებისათვის გამოიყენება მანგანუმის შადანი, მყარი აღმდგენელი — კოქსწვრილა ($\leq 12\%$ ნაცარი, $\leq 11\%$ ტენი, $\leq 2\%$ აქროლადი ნეოთერენბანი, $\leq 0.02\% P$, $3-15\%$ ზოზის ნაჭრები) და პრაქტიკულად დაუეანგავი და დაქუცმაცებული ფოლადის ბურბუშაღა. დნობა სამფაზიან ელექტრორკალურ ლუმელში უწყვეტი პროცესით წარმოებს. თანამედროვე ლუმლების სიმძლავრე 10500 კვტ-ს აღემატება (ხაზობრივი ძაბვა 120—130 ვ და დენის ძალა 33—38 კა). ლუმლის სასარგებლო ფაზური ძაბვა 60 ვ შეადგენს. დაბალი ძაბვის გამო რკალის სიგრძე მოკლეა და ელექტროდები წიდაშია ჩაყვინთული (ურკალო რეეში), რის შედეგადაც მანგანუმის დანაკარგები აქროლავზე ძალზე მინიკლურია. გამოიყენება თეთრმეცობადი ელექტროდები, რომელთა დიამეტრიც 1 მ შეადგენს. ლუმლის ქვედი და კედლები ნახშირის ბლოკებითაა ამოგებული.

დნობის პროცესი შემდეგ სტადიებისაგან შედგება: მასალების გახურება, შრომა და აქროლადების მოცილება, ეანკეულუების აღღვენა და ლითონისა და წიდის გაღნობა.

კაზმის მასალებს ჰიგროსკოპიული ტენი ცილდება კაზმის ჩატვირთვიდან პირველ 10—15 წუთის განმავლობაში. აქროლადები ცილდება 200—1000°C ტემპერატურულ ინტერვალში.

დნობის პროცესში პიროლუზიტიდან მანგანუმის აღღვენა შემდეგი საფეხურებით მიმდინარეობს:



ამათგან MnO_2 და Mn_2O_3 ხასიათდება დისოციაციის დრეკადობის მაღალი წინაშენლობით და დაბალ ტემპერატურებზე მათ შეუქლიათ იოლად გასცენ თავიანთი უანგბადი. შავალითად, პაერზე 530°C-ზე მიმდინარეობს რეაქცია $2MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3 + 1/2O_2$, ხოლო 940°C-ზე იგი დისოციირებს შემდეგ რეაქციებით $3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + 1/2O_2$.

ელექტროლუმლების აღმდგენელ პირობებში ეს გარდაქმნები მიმდინარეობს კიდეე უფრო დაბალ ტემპერატურებში. ნახშირბადი და წყალბადი აღ-

დგენს Mn_2O_3 -ს MnO -მდე, აგრეთვე, დაბალ ტემპერატურებზე.

MnO -ს აღდგენა მკარი ნახშირბადით მიმდინარეობს. შესაძლოა ი. რა რე-
აქციის მიმდინარეობა:



და



აღნიშნული რეაქციები მიმდინარეობს შესაბამისად 1223 და 1420°C ტემ-
პერატურაზე.

წიდიდან მანგანუმის ქვეყანგის აღდგენისათვის საჭიროა მაღალი ტემ-
პერატურა, რადგანაც წილაში MnO სილიკატებში ბმული სახითაა $MnO \cdot SiO_2$,
ან $2MnO \cdot SiO_2$.

შენადნობში მანგანუმის კონცენტრაციის განსაზღვრებად კაზში რკინის
ბურბუმელა შეყავთ. რკინის აჩვენობა აადვილებს, აგრეთვე, მანგანუმის აღ-
დგენას.

ნახშირბადლები ფერომანგანუმში ორი ბეჩხით იწარმოება: ფლუსით და
უფლუსოდ. მეორე მეთოდში შენადნობის გარდა კიდევ მიიღება მანგანუმით
მდიდარი ფოსფორის მცირე შემცველობის წილა, რომელიც გამოიყენება სი-
ლიკომანგანუმისა და ლითონური მანგანუმის წარმებისათვის.

გადასამუშავებელი წილის ტიპური შედგენილობა შემდეგია: 53,2% MnO ,
31,2% SiO_2 , 5,82% CaO , 0,99% FeO , 6,25% Al_2O_3 , 0,02% P_2O_5 , 1,48% MnO
0,65% S . ასეთი წილის დნობის ტემპერატურა 1300—1350°C ფარგლებშია.

ხ ა ხ შ ი რ ბ ა დ უ ხ ვ ი ფ ე რ ო მ ა ნ გ ა ნ უ მ ი ს წ ა რ მ ო ე ბ ა . ამასთან დაკა-
ვშირებით მანგანუმის ქვეყანგის აღდგენისას უფრო ინტენსიურად მიმდინარე-
ობს კარბიდალად აღდგენის რეაქცია, რაც განსაზღვრავს ფერომანგანუმში ნა-
ხშირბადის მაღალ შემცველობას.

წილისა და შენადნობის გამოშვება ერთდროულად ცვლადში 5—6-ჯერ
წარმოებს. შენადნობი ციციხეში იხსნება; ფერომანგანუმში ციციხეიდან ჩამოსხ-
მება ბოყეებში ან კონვეირული ტრის საშხმელო მანქანაზე. წილის მოლიანად
მოცილების მიზნით გამოიყენება შუალეუნი სიფონიანი ბოყეი.

ქვემოთ მოყვანილია 75%-იან ნახშირბადლები ფერომანგანუმის უფლუ-
სო მეთოდით წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები (1 ტონაზე)

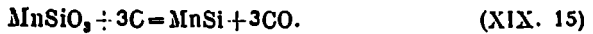
| | |
|--|-----------|
| მანგანუმის მშრალი მადანი, კგ | 2600 |
| რკინის ბურბუმელა, კგ | 100 |
| მშრალი კოქსწვრილა, კგ | 490 |
| ელექტროდის მასა, კგ | 30 |
| ელექტროენერჯის ხარჯი, კვტ. ს. | 2600—3000 |
| მანგანუმის ამოღება, % | 60 |

ს ი ლ ი კ ო მ ა ნ გ ა ნ უ მ ი ს წ ა რ მ ო ე ბ ა . სილიკომანგანუმში გამოიყენება,
როგორც ნახევარპროდუქტი რაფინირებული ფერომანგანუმისა და ლითონუ-
რი მანგანუმის წარმოებისათვის. გარდა ამისა, იგი წარმოადგენს ელექტურ
განწმენკველსა და მაღეგრებელ შენადნობს. XIX. 8 ცხრილში მოყვანილია
სილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა.

სილიკომანგანუმის გამოყენებად კაზმის შედგენილობაში შედის მანგა-
ნუმის მაღანი, უფოსფორო მანგანუმისიანი წილა, კვარციტი და კოქსი. ამ პრო-
ცესში მიმდინარეობს სილიციუმისა და მანგანუმის ერთდროული აღდგენა.

| მარკა | შეშველობა, % | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|-----|------|-------------|
| | Si | Mn | C | P | S |
| | | არა უმცირესი | | | არა უმეტესი |
| CMn23 | ≥26.0 | 60 | 0.2 | 0.05 | 0.03 |
| CMn20 | 20.0-25.9 | 65 | 1.0 | 0.10 | 0.03 |
| CMn20 ¹ | 20.0-25.9 | 65 | 1.0 | 0.25 | 0.08 |
| CMn17 | 17.0-19.9 | 65 | 1.7 | 0.10 | 0.03 |
| CMn17 ¹ | 17.0-19.9 | 65 | 1.7 | 0.35 | 0.03 |
| CMn14 | 14.0-16.9 | 65 | 2.5 | 0.25 | 0.03 |
| CMn14 ¹ | 14.0-16.9 | 65 | 2.5 | 0.35 | 0.03 |
| CMn10 | 10.0-13.0 | 65 | 3.5 | 0.35 | 0.03 |

კაზში ნახშირბადის სიჭარბის შემთხვევაში წარმოიქმნება არა კარბიდები, არამედ მანგანუმის სილიციდები. ეს რეაქცია შესაძლოა წარმოვიდგინოთ ასე:



ამ რეაქციის დაწყების ტემპერატურა 1295°C შეადგენს, სილიკომანგანუმის გამოღობა შესაძლოა სტაციონარულ და მბრუნავქველიან (როგორც ღია, ისე ნახევრადდახურულ და დახურულ) ღუმლებში. ღუმლის სიმქლავრე 63 მკვტ-მდე აღწევს. მუშა ძაბვა 120-160 ვ შეადგენს. ღუმელი ნახშირის ბლოკებითაა ამოგებული.

შენადნობის გამოშვება ყოველ 2 საათში წარმოებს. ჩამოსხმა შუალედური ციკვებით ბოყვებში ან სამსხმელო მანქანაზე წარმოებს. წილები განიცდის გრანულირებასა და გამოიყენება როგორც საშენი მასალები. წილების შიახლოებითი შედგენილობა შექდეგია: 20-25% MnO, 44-47% SiO₂, 10-12% Al₂O₃, 10-12% CaO, 1-1,5% MgO, 1-1,5% FeO და 0,03% P₂O₅.

სილიკომანგანუმის წიღებმა ამჟამად გამოიყენება პოვა თუჯის წარმოებაში, როგორც ერთ-ერთი საკაზმე მასალა.

საშუალო და ნახშირბადმცი რეფრომანგანუმის წარმოება. თანამედროვე რეფრომანგანუმში საშუალო ნახშირბადმცირე რეფრომანგანუმის მიღება წარმოებს მანგანუმის მადნისა და ჟუოსფორო მანგანუმისა წილისაგან მანგანუმის ქანკულუმის აღდგენით. ამ პროცესში აღმდგენლად სილიკომანგანუმში შემაველი სილიციუმი გვევლინება. კაზში კაქმიწის სილიკატის მდგრადი ნაერთის შიხალეზად კირი იხმარება.

საშუალო და ნახშირბადმცირე რეფრომანგანუმი მიიღება მბრუნავ და დაქარელ ღუმელებში, რომელთა სიმქლავრე 3,5 მკვტ-ს აღწევს. ღუმელი ამოგებულია შაგნუბრის ამონაკით. მუშა ძაბვა 130-280 ვ შეადგენს. დნობის პროცესი პერიოდულია და შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება:

1. აბაზანის კირით შეკაზება;
2. წიღის ჩასხმა და ელექტრული დატვირთვის ზრდა;
3. კაზმის მყარი შედგენილობის ჩატვირთვა;
4. კაზმის გაღნობა და შენადნობის დაყვანა;
5. დნობის გამოშვება.

წიღისა და შენადნობის გამოშვება ერთ კარიბქიდან წარმოება. შენადნობი ჩამოსხმება კონვეიერული ტიპის სამსხმელო მანქანაზე ან ლითონის ბო-

ყვებში. წილის შედგენილობა შემდეგია: 27—29% MnO , 28—30% SiO_2 , 33—36% CaO , 1—1,5% MgO , 0,6—1,0% FeO , 1—1,5% Al_2O_3 , 0,01—0,03% P .

ქვემოთ მოყვანილია ფერომაგანუმის (80% Mn) წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები:

| | |
|---|-------|
| მანგანუმის მილანი (48%) კგ. | 1420 |
| სილიკომაგანუმი (20% Si), კგ. | 1000 |
| კირი, კგ. | 800 |
| შახუთი, კგ. | 8,0 |
| ელექტროდის მასა, კგ. | 17 |
| ელექტროენერჯიის ხარჯი, კვტ-ს | 1700 |
| მანგანუმის ამოღება, % | 60—61 |

დ) ფეროვოლფრამი

ვოლფრამი სპეციალური მარკის ფოლადებისათვის წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მალეგიზებელ ელემენტს. ფოლადის ლეგირება ძირითადად ფეროვოლფრამით წარმოებს, ამჟამად წარმოებს შემდეგი შედგენილობის ფეროვოლფრამის მარკების გამოშვება (ცხრ. XIX. 9).

ცხრილი XIX. 9

ფეროვოლფრამის ქიმიური შედგენილობა (ГОСТ 17293-82)

| მარკა | შემცველობა % | | | | | | |
|-------|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | W, არა უმცირესი | Mo | Mn | Si | C | P | S- |
| ФВ80а | 80 | 6,0 | 0,2 | 0,8 | 0,10 | 0,03 | 0,02 |
| ФВ75а | 75 | 7,0 | 0,2 | 1,1 | 0,15 | 0,04 | 0,04 |
| ФВ70а | 70 | 7,0 | 0,3 | 2,0 | 0,3 | 0,06 | 0,06 |
| ФВ70 | 70 | 1,5 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,04 | 0,08 |
| ФВ70Б | 70 | 2,0 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,06 | 0,10 |
| ФВ65 | 65 | 6,0 | 0,6 | 1,2 | 0,7 | 0,10 | 0,15 |

| მარკა | შემცველობა, % | | | | | | |
|-------|---------------|------|------|-----|------|------|------|
| | Cu | AS | Su | Al | Pb | Bi | Sr |
| ФВ80а | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 4,0 | — | — | — |
| ФВ75а | 0,20 | 0,06 | 0,06 | 5,0 | — | — | — |
| ФВ70а | 0,30 | 0,08 | 0,10 | 6,0 | — | — | — |
| ФВ70 | 0,15 | 0,04 | 0,08 | — | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| ФВ70Б | 0,20 | 0,05 | 0,10 | — | — | — | — |
| ФВ65 | 0,30 | 0,08 | 0,20 | — | — | — | — |

ფეროვოლფრამის გამოღობა წარმოებს ვოლფრამიტული ($>60\% WO_3$, 15—17% MnO და $<0,05\% P$) და შელიტური ($>55\% WO_3$, 4,0% MnO და 0,08% P) კონცენტრატებისაგან. აღმდგენლებად ძირითადად გამოიყენება წვრი-

ლი კოქსის სქელფისი, გრანულირებული ფეროსილიციუმისა (68—80%Si) და სილიკოალციუმის დნობის დაფხვნილი ნარჩენების ნარევი, ხოლო ლითონთ-
რპული გამოდნობის შემთხვევაში — პირველადი ალუმინი, რკინა კაზმში ჩვე-
ულურკა ნახაზადღოჯანი ფოლადის ბუზბუშქლათ ან წერილი ნაქრებით
შეიტანება.

ვოლფრამის ქანკეულება — WO_2 და WO_3 1327 და 1377°C დნება, ხო-
ლო W_2O_{11} უკე 900°C ოჯაქლდება. რკინასთან ვოლფრამი იძლევა ორ ონ-
ტარმეტალურ შენაერთს: Fe_2W და Fe_7W_6 . წარმოების მიერ გამოშვებული
ფეროვოლფრამის (74—77%W) დნობის ტემპერატურა 3000°C აღწევს. ამი-
ტომ მათი გამოშვება თხევადი სახით შეუძლებელია.

ვოლფრამი ქანკეულებიდან იოლად აღდგება Al, Si და C-ით. მაგალი-
თად, რეაქციით



მსოფლიო პრაქტიკაში ფეროვოლფრამის წარმოება ნახშირბადთერმული
პროცესით ხორციელდება. დნობა ბლოკზე მიმდინარეობს, რომელიც ღუმლი-
დან გაქარბულ მდგომარეობაში გაჰიტანება. დნობა ძირითადად სამფაზი-
ან მბრუნავბაზანიან ღუმლებში წარშობებს. ღუმლის სიმძლავრე 3500 მგეტ-ს
აღწევს, შუმა ძაბვა კი 149 ± 187 ვ. ამკეარად, წარშობებს პროცესი პერიო-
დულია. მიღებული წილის მიახლოებითი შედგენილობა შემდეგია: 18—22%
 WO_3 , 16—21% FeO; 28—33% SiO_2 ; 10—15% MnO; 8—11% CaO; 1,2—3,0%
MgO, 1,8—3,0% Al_2O_3 .

1 ტ ფეროვოლფრამზე ელექტროენერჯიის ხარჯი 1530 კვტ. ს. შეადგენს.

ე) ფერო მოლიბდენი

ბუნებაში მოლიბდენის საბადოების ძირითად მინერალს მოლიბდენიტი
წარმოადგენს — მოლიბდენის სულფატი MoS_2 . ნედლი მოლიბდენიტი შეიცავს
~35% S. მისი მოცილების მიზნით მოლიბდენიტის გამდიდრებულ კონცენტ-
რატს დამუხანგველ ატმოსფეროში გამოწვავენ. გამოწვა მიმდინარეობს მრავალ-
ქვედიან ღუმლებში. იქასთან დაკავშირებით, რომ წარმოქმნილი MoO_3 მაღალ
ტემპერატურებში ხასიათდება დიდი აქროლადებით, ამიტომ გამოწვის ზღვრულ
ტემპერატურას 690°C შეადგენს. დაჯანგვის რეაქცია სითბოს დიდი გამოყო-
ფით მიმდინარეობს. 600°C წარმოიქმნება



ამის პარალელურად მიმდინარეობს მოლიბდატების ($CaMoO_4$, $FeMoO_4$ და სხვ.)
წარმოქმნა. 600°C ტემპერატურამდე წარმოქმნილი SO_2 ნაწილობრივ SO_3 -მდე
იქანგება. იგი ურთიერთქმედებს რკინის ეანგეულებთან და წარმოქმნის გოგირდ-
მკეავს მარილს; მაგალითად, $Fe_2(SO_4)_3$, $CuSO_4$ და ა. შ. ამ მარილების წარ-
მოქმნა არასასურველია, რადგან იწვევს კონცენტრატის გაღობასა და აგუ-
ნდვას, რაც აუარესებს გამოსაწვავ ღუმლების მუშაობის პირობებსა და ზრდის
გამომწვარ კონცენტრატში გოგირდის შემცველობას. გამომწვარი კონცენტ-
რატი შეკვეტი შედგენილობისაა: 80—90% MoO_3 ; 3—8% FeO; 3—10% Si_2O_3 ;
0,4—2% Cr_2O_3 ; 0,05—0,15% S და 0,02—0,15% P.

ფერომოლიბდენის წარმოებაში აღმდგენლად $FC75$ მარკის ფეროსილი-
ციუმისა და ალუმინის (2 მმ ზოვის მარკელებს) ან ფეროსილიკოალუმინის ნა-
რევი გამოიყენება. რკინის ნაწილი რკინის მადნის მეშეობით შეაქეთ, ხოლო
318

ნაწილი კი — რკინის ბურბუშელას სახით, წიდას ათხევალეზენ კირისა და მლხობი შპატით. XIX. 10 ცხრილში მოყვანილია ფერომოლიბდენის მარკები და მასში ძირითადი ელემენტების შემცველობა.

ცხრილი XIX. 10

ფერომოლიბდენის მარკები და მასში ძირითადი ელემენტების შემცველობა (ГОСТ 4759-79)

| მარკა | შემცველობა, % | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------|-----|------|------|------|-----|------|
| | Mo, არა უმცირესი | W | Si | C | P | S | Cu | AS |
| | | არა უმეტესი | | | | | | |
| ФМо60 | 60 | 0,3 | 0,8 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,5 | 0,02 |
| ФМо58 | 58 | 0,5 | 1,0 | 0,08 | 0,05 | 0,12 | 0,8 | 0,03 |
| ФМо55 | 55 | 0,5 | 1,0 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,8 | — |
| ФМо55 | 55 | 0,8 | 1,5 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 1,0 | — |
| ФМо52 | 52 | 1,0 | 5,0 | 0,50 | 0,10 | 0,20 | 1,0 | — |

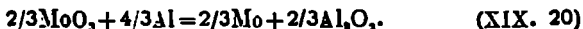
გარდა აღნიშნულისა, ფერომოლიბდენის შედგენილობაში მცირე რაოდენობით შედის C, Cu AS, Sb, Sn, S და P.

მოლიბდენის აღდგენა ნახშირბადით შეჰდები რეაქციით მიმდინარეობს:



ეს რეაქცია კარგად მიმდინარეობს ელექტროლუქლებში. მიუხედავად ამისა, პარალელურად წარმოიქმნება მოლიბდენის კარბიდი MoC, რომელიც ხელს უშლის შენადნობის რაფინირებას.

საბჭოთა კავშირში ფერომოლიბდენის წარმოება მხოლოდ ლითონტერმული მეთოდით მიმდინარეობს. აღდგენის პროცესი შემდეგი რეაქციებით შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



დნობის პროცესში მიმდინარეობს 99% მოლიბდენის ენგეულეების აღდგენა. აღდგენის რეაქციები ეგზოთერმულია.

ფერომოლიბდენის გამოდნობის პროცესში წარმოიქმნება მეტად ბლანტი მაღალკემეწიანი წილა. მისი გათხევადება შესაძლოა, გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, აგრეთვე, რკინის ქვეყანვით და თხამიწით.

ფერომოლიბდენის გამოდნობა ძირითადად წარმოებს შამოტის აფურით აპოგებულ ცილინდრში (კაშეში), რომელიც მოთავსებულია ჩაღრმავებული სილის ფუქზე. სადნობ კაშეს წილის გამოსაშვებად კარბიქე აქვს. ჩატვირთული კაშში იტყენება კაშეში, რომელსაც ამონაგაიანი სახურავი ეხურება. გამოყოფილი აირების გამოსაყვანად მასში მოთავსებულია ხვრელი. პროცესი კაშმის ზემო ზედაპირიდან იწყება დნობა 20—40 წუთს მიმდინარეობს. პროცესის ტემპერატურა 1850—1950°C აღწევს. დნობის დამთავრების შემდეგ შენადნობს 40—50 წუთის განმავლობაში აყოვნებენ, რათა შენადნობის მთელი ნაწილი ჩაჯდეს. შეკვდომ გამოუქვებენ წიდას. შენადნობის ბლოკს 7—8 საათს აყოვნებენ სრულ გაყარებამდე, რის შემდეგაც საბოლოო გაციეებისათვის წყლიან კურკელში ათავსებენ. ბლოკი წყალში ცივდება 4 საათის განმავლობაში. ამის შემდეგ იგი იმსხვრება.

ვ) ფეროვანადიუმი

ამჟამად ვანადიუმის ძირითად წყაროს ურალის რეინის მადნის საბადოები წარმოადგენს, რომლებიც შეიცავენ 0,4—0,8% V₂O₅, დანარჩენს 32—58% Fe₂O₃; 21—26% FeO; 4—16% SiO₂; 2—5% TiO₂; 1—12% Al₂O₃.

მადანში ვანადიუმის მცირე შემცველობამ გამოიწვია მისი წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის გათვლენა, რომელშიც გაერთიანებულია რიგი მეტალურგიული ვადამუშაების მიმდინარეობა:

1. მადნის გამჟღავნება და მომზადება (ავლომერაცია, აგუნდვა);
2. ბრაჰედში 0,4—0,6% V შემცველობის თუჯის გამოღობა;
3. კონვერტერში თუჯიდან ვანადიუმის დაეანკვა და ვანადიუმისანი წილის (7—10% FeO · V₂O₅) მიღება;

4. ჰიდრაპეტალურგიულ ხერხით წილის დამუშავება;
5. კონვერტერულ წილიდან ვანადიუმის ეანგველების გამოყოფა:

ა) წილის არევა სოდასთან (Na₂CO₃) ან სილვინიტთან (NaCl · KCl) და მილისებრ მბრუნავ ლუმლებში მათი 800—850°C გამოწვა წყალში ხსნად ნატრიუმის ვანადიტის Na₂O · V₂O₅ მისილებად;

ბ) ვანადიუმის ფილტრატის გაშრობა და 750°C შეცხობა, რის შედეგადაც მიიღება ტექნიკური 80—90% V₂O₅;

დ) ტექნიკური ვანადიუმის ხუთეანგიდან ელექტროლუმლებში ფეროვანადიუმის გამოღობა: ჯერ ვანადიუმის ხუთეანგის ნაწილობრივი აღდგენა ალუმინდამატებული ფეროსილიციუმით და 21—23% Si-ანი შენადნობის მიღება; მიღებული შენადნობის სილიციუმისაგან რაფინირება 45—50% V ან FeV და 10—15% V₂O₅ წილის მიღება. ამ წილას იყენებენ პირველი ოპერაციისათვის.

ამჟამად შემდეგი მარკისა და შედგენილობის ფეროვანადიუმს უშვებენ (ცხრ. XIX. 11).

ცხრილი XIX. 11

ფეროვანადიუმის მარკა და შედგენილობა (ГОСТ 4760—78)

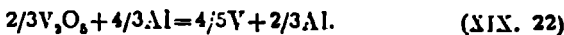
| მარკა | V, არა უმცირესი | შემცველობა, % | | | | | | | |
|--------|-----------------|---------------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|
| | | C | Mn | Si | Cu | AS | Al | P | S |
| ფმკ75A | 75 | 0.1 | 0.4 | 0.8 | 0.1 | 0.05 | 2.0 | 0.05 | 0.05 |
| ფმკ75B | 75 | 0.15 | 0.6 | 1.0 | 0.1 | 0.05 | 2.5 | 0.10 | 0.01 |
| ფმკ35A | 50 | 0.30 | 0.2 | 2.0 | 0.2 | 0.15 | 2.5 | 0.10 | 0.01 |
| ფმკ50B | 50 | 0.75 | 0.2 | 2.0 | 0.2 | 0.05 | 2.5 | 0.10 | 0.01 |
| ფმკ35A | 35 | 0.75 | 2.0 | 2.5 | 0.5 | 0.05 | 1.5 | 0.10 | 0.01 |
| ფმკ35B | 35 | 0.75 | — | 3.0 | 0.5 | 0.05 | 1.5 | 0.20 | 0.01 |
| ფმკ35C | 35 | 1.00 | — | 3.5 | 0.5 | 0.05 | 2.0 | 0.20 | 0.01 |

ვანადიუმის ხუთეანგის სილიციუმით აღდგენა მიმდინარეობს რეაქციით



ამასთან, ერთდროულად შესაძლოა ძნელად აღმდგენადი დაბალი ეანგველების V₂O₅ და VO-ის წარმოქმნა. მათი აღდგენა გაძნელებულია ვანადიუმის სილიციუმის წარმოქმნასთან დაკავშირებით. ამასთან დაკავშირებით კაზმის შედგენილობაში შეაქვს კირი, რომელიც იერთებს კაჟიწის და ხელს უშლის

ვანადიუმის სილიკატის წარმოქმნას. V_2O_5 -ის ალუმინით აღდგენა შესაძლოა შემდეგი რეაქციით წარმოვიღვიროთ:



ბ) ფეროტიტანი

რკინასთან ტიტანი წარმოქმნის ორ შენადნობს $TiFe_3$ და $TiFe$; ნახშირბადთან—მდგრად კარბიდს TiC , რომლის დნობის ტემპერატურა $3177^{\circ}C$ აღწევს; სილიციუმთან—რიგ სილიციდებს, რომელთაგანაც ყველაზე მდგრადს Ti_3Si_2 წარმოადგენს, დნობის ტემპერატურაა $2120^{\circ}C$; ალუმინთან იგი წარმოქმნის $TiAl$ და $TiAl_3$, ხოლო ენგებადთან რიგ ენგეულებს: TiO_2 , Ti_2O_3 , TiO და სხვ., შესაბამისად, მათი დნობის ტემპერატურაა 1950 , 2130 და $2020^{\circ}C$. ტიტანი ფოლადის წარმოებაში გამოიყენება, როგორც კარგი განმეანგველი და მალეგირებელი. იგი გამოიყენება ფეროტიტანის სახით. XIX.—12 ცხრილში მოცემულია ფეროტიტანის მარკები და ქიმიური შედგენილობა.

ცხრილი XIX. 12

ფეროტიტანის მარკები და შედგენილობა, (ГОСТ 4761—90)

| მარკა | შემკვლელობა, % | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|-------------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| | Ti, არა უმცირესი | Al | Si | C | P | S | Cu | V | Mo | Zr | Sn |
| | | არა უმეტესი | | | | | | | | | |
| ФТн68 | 63 | 5 | 0.5 | 0.2 | 0.05 | 0.05 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.1 |
| ФТн65 | 65 | 5 | 1 | 0.4 | 0.05 | 0.05 | 0.4 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 0.15 |
| ФТн:40А | 40 | 9 | 5 | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.05 |
| ФТн:40Б | 40 | 9 | 6 | 0.15 | 0.08 | 0.1 | 3.0 | — | — | — | — |
| ФТн:35 | 35 | 8 | 5 | 0.1 | 0.07 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 0.05 |
| ФТн:30А | 30 | 8 | 5 | 0.15 | 0.04 | 0.04 | 2.0 | 2.0 | 0.4 | 0.2 | 0.04 |
| ФТн:30Б | 30 | 9 | 6 | 0.15 | 0.08 | 0.05 | 2.0 | 2.0 | 0.5 | 0.2 | 0.05 |
| ФТн30 | 30 | 14 | 8 | 0.2 | 0.07 | 0.07 | 3.0 | 3.0 | 1.0 | 0.7 | 0.08 |
| ФТн:5А | 25 | 8 | 5 | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | — | — | — |
| ФТн25Б | 25 | 9 | 7 | 0.2 | 0.08 | 0.08 | 3.0 | 3.0 | — | — | — |
| ФТн20 | 20 | 8 | 6 | 0.2 | 0.15 | 0.08 | 3.0 | 3.0 | — | — | — |
| ФТн20А | 20 | 15.35 | 15 | 35 | 1.0 | 0.08 | 0.03 | — | — | — | — |

ფეროტიტანის წარმოებისათვის ძირითად ტიტანის კონცენტრატა გამოიყენება ($\geq 42\%TiO_2$, $\leq 53,6\%Fe_2O_3$, $\leq 2,5\%SiO_2$ და $\leq 0,04\%P$). ტიტანის კონცენტრატს გოგირდის შემკვლეობის შესამცირებლად დაშენგველ ატმოსფეროში გამოწვავენ $1100-1150^{\circ}C$, რის შედეგადაც გოგირდი $0,1-0,5\%$ და $0,04\%$ -მდე მცირდება. ვარდა ტიტანის (ილმენიტის) კონცენტრატისა, ფეროტიტანის მისაღებად გამოიყენება ლითონური ტიტანის ნარჩენებიც. აღმდგენლად იხმარება მარცვლოვანი მეორეული ალუმინი და 75% -ნი ფეროსილიციუმის ფხვნილი. ფლუსად გამოიყენება კირი და მცირეფოსფორიანი რკინის მადანი ($97\%FeO_3$ შემკვლეობით).

ფეროტიტანის მიღების ყველაზე გავრცელებულ მეთოდს ალუმოთერმული პროცესი წარმოადგენს, რომელიც მსლავრი ენზოთერმული რეაქციით მიმდინარეობს. ფეროტიტანის გამოღწომის პროცესში მიმდინარეობს რკინაში ტიტანის გახსნა და ალუმინთან და სილიციუმთან ტიტანის ნერთის წარმო-

კმნა. მდკრად სილიციდის წარმოქმნასთან ერთად ტიტანის შაქსიმალურ ამო-
ლებასა და შენადნობში ნარჩენი ალუმინის შემცირებას ხელს უწყობს 45—
—75%-ანი ფეროსილიციუმის გამოყენება.

ლოზირებულ კაზმს წინასწარ აუტრევენ და ყრიან სადნობ ხეივანში, საი-
დანაც აწვდიან სადნობ შახტს. სადნობი კაზვი შედგება თუჯის ცილინდრი-
საგან, რომელაც დადგულია ცეცხლგამძლე აგურით ამოგებულ ქველიან ური-
კაზე. კაზვი შედგება: 100 კგ კონცენტრატია, 42—45 კგ ალუმინის ფხვნი-
ლისა, 10,5 კგ კირისა და 0,95—1,85 კგ 75% FeSi -საგან. ერთ დნობაზე მიე-
წოდება 38 ულუფა. პროცესს ქვედიდან იწყებენ. თავდაპირველად ჩაიტვირთე-
ბა 50 კგ კაზვი, რომელსაც ელექტრული ამანათებით ანთებენ. ამის შემდეგ
კაზვი თანაბრად მიეწოდება შახტს. 4 ტონა კონცენტრატის დნობა 15—18
წუთს გრძელდება. დნობის დამთავრების ბოლოს თხევადი მასის ზედაპირზე
მიეწოდება რკინათერმითული ნარევი, რომელიც შედგება 300 კგ რკინის მალ-
ნისა, 56—57 კგ ალუმინის ფხვნილისა, 18—20 კგ ფეროსილიციუმისა და 100
კგ კირისაგან. ეს ნარევი ხელს უწყობს თხევად მასაში წარმოქმნილ ფეროტი-
ტანის ნაწილაკების შედარებით სრულ დალექვას. ხშირად ამ უკანასკნელისა-
თვის იყენებენ წილის ელექტროგახურებას.

გაცივების შემდეგ წარმოქმნილ შენადნობის ბლოკს ასუფთავებენ წიდი-
საგან და წყლით აცივებენ.

ალუმოთერმული დნობის წიდა შეიცავს: 11—13% TiO_2 ; $\leq 0,5\%$ SiO_2 ,
10—14% CaO ; 3—4% MgO ; 0,8—2,0% FeO და 70—74% Al_2O_3 . წილის ჯერა-
დობა 1,3 შეადგენს.

1 ტონა 20% ფეროტიტანის გამოდნობაზე იხარჯება: 980 კგ ელემენ-
ტის კონცენტრატი (42% TiO_2), 420 კგ. ალუმინი, 70 კგ რკინის მადანი, 50
კგ ტიტანის ნარჩენები და 100 კგ კირი.

ფერადი ლითონების მეტალურგია

XX თავი

ზოგადი მიმოხილვა

ფერადი მეტალურგია წარმოადგენს თანამედროვე მძიმე მრეწველობის უმნიშვნელოვანეს დარგს, რომელიც მოიცავს: მადნის მოპოვებას, გამდიდრებას, ფერადი ლითონებისა და შენადნობების წარმოებასა და დამუშავებას. თვით დაყოფა შავ და ფერად ლითონებად — პირობითია. ფერადი ლითონები, თავის მხრივ, პირობითად შესაქლოა დაიყოს ჯგუფებად: 1. მძიმე ლითონები — სმბილენი, ტყვია, თუთია, ნიკელა და კალა; 2. მსუბუქი ლითონები — ალუმინი, მაგნიუმი, კალციუმი, სალიციუმი, ბერილიუმი, ლითიუმი; 3. კეთილშობილი ლითონები — ოქრო, ვერცხლი, პლატინა და მათი ზუნებრივი თანამგზავრები (ოსმიუმი, ირიდიუმი, პალადიუმი, როდენიუმი); 4. იშვიათი ლითონები, რომელიც 4 ჯგუფად იყოფა: ა. ძველნობადი — ვოლფრამი, მოლიბდენი, ვანადიუმი, ნიობიუმი, ტანტალი, ტიტანი და ცირკონიუმი; ბ. მსუბუქი — სტრონციუმი, სკანდინიუმი, რუბიდიუმი და ცეზიუმი; გ. რადიოაქტიური — ურანი, რადიუმი, თორიუმი, აქტინიუმი და პროტაქტიუმი; დ. იშვიათი — გერმანიუმი, გალიუმი, ჰაფნიუმი, ინდიუმი, ლანთანი, ტალუმი, ცერიუმი და რენიუმი.

მდიდარი საბადოების არსებობის მიუხედავად, რეკლუციამდელ რუსეთში ფერადი მეტალურგია წარმოადგენდა წარმოების ჩამორჩენილ დარგს. ძირითადად გამოიყენებოდა მხოლოდ მდიდარი საბადოები. წარმოების ტექნიკა მეტად დაბალ დონეზე იყო. 1913 წ. რუსეთში რაფინირებული სპილენძის წარმოება დაახლოებით 17 ათ. ტ. შეადგენდა, ტყვიის 1.5 ათ. ტ. თუთიის 11 ათ. ტ. 1916—17 წლებში პირველად დაიწვეს ვოლფრამის კონცენტრატის წარმოება. ჯერ კიდევ არ იყო განვითარებული ალუმინის, მაგნიუმის, ნიკელის, კობალტის, კალის, მოლიბდენისა და იშვიათი ლითონების წარმოება. შედარებით უფრო განვითარებული იყო პლატინის, ოქროს, ვერცხლისა და ვერცხლისწყლის წარმოება. XIX ს. 30-იან წლებში ოქროს მოპოვების მხრივ მსოფლიოში რუსეთს პირველი ადგილი ეკავა (თითქმის ერთი მესამედზე მეტი მოდიოდა). მაგრამ XIX ს. დასაწყისში მას სხვა ქვეყნებმა გაუსწრეს და უკვე მე-4 ადგილზე გადაინაცვლა. მრავალი ათეული წლების განმავლობაში რუსეთს პირველი ადგილი ეკავა პლატინის წარმოებაში. XIX ს. დასასრულს რუსეთი აწარმოებდა 500—600 ტ. ვერცხლისწყალს, ანუ მსოფლიო წარმოების პროცენტის 12—14%. ფერადი მეტალურგიის უმეტესი ნაწილი უცხოეთის კონცესიონერების ხელში იყო თავმოყრილი

პირველი მსოფლიო ომისა, უცხოეთის სამხედრო ინტერვენციისა და სამოქალაქო ომის შედეგად ფერადი მეტალურგიის წარმოება გამოყვანილ იქნა მწყობრიდან.

საბჭოთა კავშირში ფერადი მეტალურგიის აღდგენა და აღორძინება 1921 წლიდან დაიწყო. ურალის კალატინსკის სპილენძსადნობ ქარხანაში 1922 წლის მაისში მიღებულ იქნა პირველი საბჭოთა სპილენძი, ხოლო 1925 წლის მაისში მწყობარში ჩადგა აღდგენილი კარაბაშის ქარხანა. თანდათანობით აღორძინდა

აღტანისა და ჩრდილო ოსეთის თეთიისა და ტყვიის წარმოება. 1932 წელს მწყობ-
არში ჩაღდა კავშირში პირველი ვოლხოვის ალუმინის წარმოების ქარხანა. 1933
წელს დაიწყო წარმოება დნეპროვის ალუმინის ქარხანამ. 1934 წელს ურალში სა-
ფუძველი ჩაეყარა ნიკელის წარმოებას. 20-იანი წლების დასასრულს დაიწყო
იშვიათი და სალი შენადნობების ლითონების წარმოება. პირველი და მომდევ-
ნო ბუთწლევებში მძლავრად განვითარდა საბჭოთა კავშირში ფერადი მეტა-
ლურგია. აშენდა და მწყობარში ჩაღდა ახალი საბადოები, გამამდიდრებელი ფა-
ბრიკები, მეტალურგიული და ლითონდასამუშავებელი ქარხნები.

დიდი სამამულო ომის (1941—15) დროს ფერადმა მეტალურგიამ დიდი
ზარალი განიცადა — დანგრეულ იქნა მრავალი ფაბრიკა-ქარხანა. მიუხედავად
ამისა, ომის შემდგომ პერიოდში ფერადი მეტალურგია წარმატებით ვითარდებ-
ოდა. მწყობარში ჩაღდა ისეთი ახალი ქარხნები, როგორცაა: ნორილსკისა
და სტალინსკის ალუმინის ქარხნები, უსტ-კამენოგორსკის ტყვია-თეთიის კომბი-
ნატი, სალშენადნობების ქარხნები და სხვა. აგრეთვე აღდგენილ იქნა ომის
დროს დანგრეული მრავალი საწარმო. ყოველივე ამის შედეგად IV ბუთწლე-
ულის ბოლოს, 1950 წლისათვის, სპილენძის, ალუმინის, ტყვიის, თეთიისა და
სხვ. ფერადი და იშვიათი ლითონების წარმოებამ საგრძნობლად გადააჭარბა
ომამდელ დონეს.

§ XX. 1. სპილენძის მებაღურება

სპილენძის ფართო გამოყენება განპირობებულია მისი მაღალი ელექტ-
როგამტარობით, თბოგამტარობით, ქიმიური მდგრადობით, აგრეთვე ძვირ-
ფასი მექანიკური თვისებებით — კუდალობით, დუნადობითა და სხვ. სპილენძის
შოპოვების 50% ძირითადად იხარჯება ელექტროწარმოებაში (ელექტროგადა-
ცემისა და კავშირგაბმულობის ხაზები, ელექტრომანქანათმშენებლობა და ხე-
ლსაწყობთმშენებლობა). სპილენძი წარმოადგენს კარგ მასალას ქიმიური აპარა-
ტურის დასამზადებლად. დიდი მნიშვნელობა აქვს ამჟამად სპილენძის შენად-
ნობების — ბრინჯაოსა და თითბრის გამოყენებას სახალხო მეურნეობის სხვადა-
სხვა დარგში. რკინის შენადნობებში სპილენძი იხმარება, აგრეთვე, როგორც
მალეგირებელი ელემენტი. სპილენძის დამატებით ზოგიერთი ფოლადის ფიზი-
კურ-ქიმიური და ელექტრული თვისებები საგრძნობლად უმჯობესდება.

ამჟამად სპილენძის ფუძეზე შექმნილია მთელი რიგი შენადნობები ისეთ
ლითონებთან, როგორცაა: Zn, Sn, Al, Be, Ni, Ti და სხვა., აგრეთვე არა-
ლითონებთან — P, S და O. მრავალი მათგანი ხასიათდება ანტიფრიქციული
თვისებებით.

ბოლო წლებში სპილენძი ფართოდ გამოიყენება ფხვნილის მეტალურგი-
აში. შავალითად, ქრომის, ვოლფრამისა და სპილენძის ფხვნილების ფუძეზე
მზადდება ელექტროდები ელექტროკონტაქტები. სპილენძისა და ფოსფორის
შენადნობი (6—8% P) გამოიყენება მისარჩილ მასალად.

ნედლი მასალა. ცნობილი 170-ზე მეტი სპილენძის შემცველი მინერა-
ლიდან მხოლოდ 10—15 გამოიყენება სპილენძის წარმოებაში. მათგან ძირითად
მინერალებს წარმოადგენს: ქალკობირიტი, ანუ სპილენძის ალმადანი
 $CuFeS_4$, რომელიც შეიცავს 34,6% სპილენძს, ყველაზე გავრცელებული მინე-
რალია; ბორნიტი Cu_5FeS_4 52—65% სპილენძის შემცველობით; ქალკობი-
ნი, ანუ სპილენძის კრიალა $Cu_2S, 80\% Cu$ შემცველობით; კოველინი
 CuS (64,4% Cu) და სხვ. გარდა გოგირდშემცველი მინერალებისა, სპილენძის

წარმოებაში დიდი გამოყენება აქვს შის ეანგულებსა და ჰიდროკარბონატებს: კუპრიტს CuO_2 , ტენორიტს CuO , მალაქიტს $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, აზურ-რიტს $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, ქრიზოკოლას $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, ატაკამიტს $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu(OH)}_2$ და სხვ. თეთნაბადი სპილენძი მადნებში იშვიათად გვხვდება.

ჩვეულებრივ, სპილენძის მაღანთან ერთად ფუჭი ქანებიც გვხვდება. მათ შუგანაღრუბში შეიძლება შედიოდეს კვარცი, ბარიტი, პირიტი, მაგნიუმისა და კალციუმის კარბონატი, რკინისა და ალუმინის ეანგულები და სხვ. სპილენძის მადანი, ჩვეულებრივ, კომპლექსურს წარმოადგენს, სადაც სპილენძთან ერთადაა სხვა ფერადი, იშვიათი და კეთილშობილი ლითონების ხაერთები. გარეგანი აღნაგობის მიხედვით სპილენძის მადნები არის: მასფური და ჩაწინწყლული. მასფური მადნები (ჩვეულებრივ, სპილენძის აღმადანი) ვატერეკეტის ლუმლებში უშუალოდ მეტალურგიულ დამუშავებას. ჩაწინწყლულ და კომპლექსურ მადანს წინასწარ ამლიდრებენ. ძალზე ღარიბ და ეანგულ მადნიდან სპილენძის ამოღება ჰიდრომეტალურგიული გზით წარმოებს.

პირომეტალურგიულ პროცესში გამოყენებული მადნის ფიზიკური თვისებებიდან ძირითადი მნიშვნელობა ენიჭება მის ნაპროცენტობას.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით სპილენძის მადანს არის სულფიდური, დაეანგული და შერეული. სულფიდური მადანი, ჩვეულებრივ, პირველადი წარმოშობისაა; დაეანგული კი სულფიდური მადნების მინერალების დაეანგვის შედეგია.

ტექნოლოგიური თვალსაზრისით, მადანაში არასასურველ მინარეცს წარმოადგენს სპილენძის სილიკატის (ქრიზოკოლის) არსებობა, რომელიც ფლოტაციას არ ექვემდებარება. ქრიზოკოლი ძირითადად დაეანგულ მადანში გვხვდება.

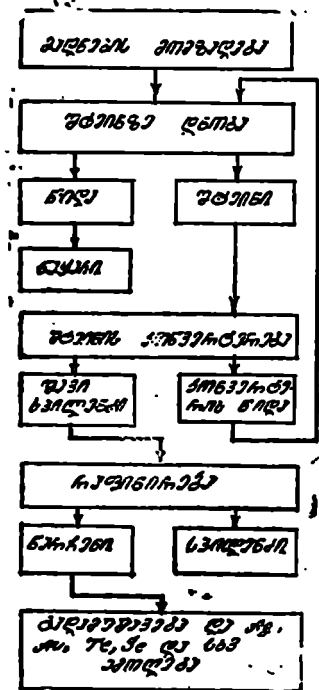
სულფიდური მადნები შეიცავს 1—6% Cu, 8—40% Fe, 9—46% S, 1—6% Zn, 5—55% SiO_2 , 2—12% Al_2O_3 , 0,3—4% CaO, 0,3—1,5% MgO. დაეანგული მადნები კი ~2% Cu, ~1% Fe, 0,1—0,2% S, 60—68% SiO_2 , 10—16% Al_2O_3 , 0,3—0,7% CaO და 0,3—0,7% MgO.

სპილენძის წარმოების ტექნოლოგია. თანამედროვე პრაქტიკაში არსებობს სპილენძის წარმოების 2 ძირითადი ხერხი: პირომეტალურგიული და ჰიდრომეტალურგიული.

პირომეტალურგიული ხერხით სპილენძის შიღება წარმოებს წინასწარ გამლიდრებული ღარიბი მადნიდან, სადაც სპილენძის შემცველობა 1—2% არ აღემატება. ამისათვის მადანს წინასწარ გამოტუტავენ რომელიმე წყალხსნარით, მაგალითად, გოგირდმეფათი, რის შედეგადაც სპილენძი გადადის ხსნარში. ხსნარში გახსნილი სპილენძი შემდგომ ილექება ამ თუ იმ ხერხით. სპილენძის შიღების ან ხერხსა დიდა გამოყენება ვერ პოვა. პირომეტალურგიულთან განსხვავებით ჰიდრომეტალურგიული ხერხით სპილენძთან ერთად შეუძლებელია სხვა თანხმლებლი ძვირფასი, იშვიათი და კეთილშობილი ლითონების შიღება.

შვრალ, ანუ პირომეტალურგიულ, ხერხსა, რომელიც მადნის დნობაში მდგომარეობს და ძირითადად სპილენძის ყველა მადნისათვის გამოიყენება, დიდი გავრცელება პოვა თანამედროვე სპილენძის წარმოებაში.

სპილენძის წარმოება პირომეტალურგიული ხერხით რამდენიმე ძირითადი ოპერაციას შეიცავს: მადნის მოშლდება, სპილენძის შტენენი დნობა, კონვერტერში შტენინის გაქრევა და სპილენძის რაფინირება (ნახ. XX. 1). განვიხილოთ მოკლედ თითოეული ოპერაცია.



ნახ. XX. 1. სპილენძის პარამეტრული რიგული წარმოების სქემა.

აღმართბოდეს, ვინაიდან უკიდურეს შემთხვევაში მოხდება კაზმის შეცნობა და მუშაობის რეჟიმის დარღვევა. თანამედროვე ღუმლების დაამეტრი 6,5—7.5მ შეადგენს, ხოლო სიმაღლე — 9±11,5მ. ასეთ ღუმლების მწარმოებლურობა დღე-ღამეში 200—300 ტ კაზმს შეადგენს. გამოწვევის პროცესში, კაზმის შეცნობის თავიდან აცილების მიზნით, ზას ფლუსს ან ნაბრუნ მასალებს უმატებენ. ღუმლიდან გამოსულ გამომწვარი კონცენტრატში სპილენძის რაოდენობა 16—17%-მდე იზრდება.

გამოწვევის პროცესში ღუმლიდან გამოხული აირები გამოიყენება გოგირდმკვების მისაღებად. გამოსულ აირებს თან მიჰყვება 5—15% კონცენტრატის წვრილი ნაწილაკები. ამიტომ აირების გაწვენდა ციკლონებსა და ლექტროფილტრებში წარმოებს.

ამგვარად, გამომწვარი სპილენძის კონცენტრატი მზადაა შემდგომ ოპერაციისათვის — დნობისათვის.

სპილენძის შტეინის გამოდნობა. გამომწვარი სპილენძის კონცენტრატის გადადნობა წარმოებს შახტურ-ვატერკაეტრას ან ამრეკლ ელექტროღუმლებში, რას შედეგადაც მიიღება სპილენძის შტეინი. ძირითადად იგი შედგება სპილენძისა და რკინის სულფიდებისაგან ($Cu_2S + FeS = 80 + 90\%$); 336

მადნების მომზადება. როგორც აღინიშნა, სპილენძის მადნების გამოიღრების ძირითად ხერხს ფლოტაცია წარმოადგენს, რის შედეგადაც მიიღება სპილენძის კონცენტრატი (8—35% Cu, 40—50% S, 30—35% Fe) ფუჭო ქანების შემცველობით.

სპილენძის მოცილების მიზნით წარმოებს კონცენტრატის წინასწარი გამოწვა. ამის შედეგად ამო წვება დაახლოებით 50% S და მიიღება გოგირდის მცირე შემცველობის გამომწვარი კონცენტრატი. სპილენძით მდიდარი მადნების წინასწარი გამოწვა არ წარმოებს.

კონცენტრატების გამოსაწვავად გამოიყენება მრავალქვედიანი უწყვეტი ქმედების ვერტიკალური ღუმლები. ღუმელში ჩატვირთული მადანი ზემოდან ქვემოთ ქვედიდან ქვედზე გადაადგილება. თანამედროვე ღუმლებს აქვს 8—13 ქვედი, რომელთაგანც ზემოთა ერთი წარმოადგენს გამოშრობს. კონცენტრატის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ შემხვედრი შიშართულებით, ე. ი. ქვევიდან ზემოთ, მოძრაობს აირი და ჰაერი (წვის პროდუქტები). ღუმელში გამოწვის ტემპერატურა 600°C შეადგენს, რომელზედაც მიმდინარეობს გოგირდის ინტენაიური წვა. რეაქცია ეგზოთერმულია და შემდგომ იგი ძირითადად საკუთარ სითბოს ხარჯზე მიმდინარეობს. ამ დროს ტემპერატურა 850°C არ უნდა

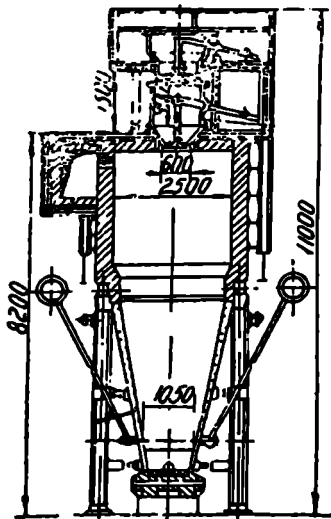
გარდა ამისა, მის შედგენილობაში შედის სხვა ელემენტების სულფიდები და ჯანგეულები (ჩკინის, სილიციუმის, ალუმინის, კალციუმისა და სხვ.).

აღსანიშნავია, რომ კომპლექსური მაღნების დნობის პროცესში მასში შემავალი კეთილმოხილი და იშვიათი ლითონები — ოქრო, ვერცხლი, ტელური, სელენი და სხვ. საგრძნობი რაოდენობით გადადის შტეინში, რომელსაც შემდგომ სპილენძს აცილებენ რაფინირების მეშვეობით.

კაშვიან ლუმლებში ძირითადად გადაშუშავდება გოგირდოვანი სპილენძის სუფთა მადანი. ასეთ ლუმლებს „ვატერვაკეტს“ უწოდებენ. ისინი ფართოდ გამოიყენება, აგრეთვე, ტყეის, ნიკელია და კალის მეტალურგიაში. სხვა ლუმლებთან განსხვავებით ვატერვაკეტის ლუმლებს ცეცხლგამძლე ამონაჯიანი კედლების მეჯივრად აქვს წყლით გამაცხებელი ფოლადის პერანგი — კესონები, რომლებიც გამდინარე წყლით ცივდება. თვით სიტყვა ვატერვაკეტი ინგლისური სიტყვიდან Water jacket — წყლის პერანგისაგან წარმოდგება.

დნობის პროცესში კესონების კედლებზე, რომლებიც შეხებაშია კაზმის გასადნობ მასალებთან, წარმოიქმნება გამყარებული მასის გარკვეული ფენა — ნალენთი, გარნისაჟი. გარნისაჟის სისქე შესაძლებელია ვარგეულიაოთ კესონებში წყლის მიწოდების რაოდენობისა და მისი ტემპერატურის მიხედვით. პორცელანოვანი კვეთის ფორმის ზიხედვით ვატერვაკეტის ლუმლები შესაძლოა იყოს შართკუთხოვანი ან შრგვალი. შრგვალი ლუმლების დიამეტრი იცვლება 0,75-დან 1,5-მ-მდე. იშვიათ შემთხვევაში შეიძლება 2,25 მ-ს აღწევდეს. ფერად მეტალურგიაში ფართო გავრცელება პოვა შართკუთხა კვეთის 2,5 მ სიგრძისა და 1—1,6 მ სიგანის ვატერვაკეტის ლუმლებმა.

ვატერვაკეტის ლუმელი (ნა. XX.?) შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: ქვემო, ანუ შიგა, ქურა, შუა შახტი და ზემო — საკრძე. საკრძიდან წარმოებს კაზმის ჩატვირთვა და ნამწვი აირების გამოყვანა. ქურაში გროვდება დნობის თხევადი პროდუქტები. კაშვი შედგება ვერტიკალურად 1—3 რიგად მოთავსებული კესონებისაგან.



ნა. XX. 2. ვატერვაკეტის შახტური ლუმლის სქემა

ჰაერი ლუმელს ქშინების მეშვეობით მიეწოდება, რომლებიც განლაგებულინი არიან: შრგვალ ლუმლებში წრიულად, შართკუთხაში — სიგრძეში.

საკრძის მოწყობილობის მიხედვით ასხვავებენ: ლიას და დახურულს. ქშინების ცენტრებს შორის მანძილი 20—45 სმ შეიადგენს.

როგორც აღინიშნა, ცივი კაზმი თანდათან ძირს, მაღალ ტემპერატურულ ზონებისაკენ იწევს. ქშინებლდან შეხერილი ჰაერი ლუმლის ქვედა ნაწილში ეანგავს კოქსის ნახშირბადს. კოქსის წვის შედეგად გამოიყოფა დნობისათვის საკმარის რაოდენობის სითბო, ცხელი ნამწვი აირები ზევით მიემართება და ახურებს კაზმს.

ნახშირბადისა და ნახშირყანვის ჯანგეულებთან ურთიერთქმედების შედეგად მიმდინარეობს ლითონების აღ-

დგენა. ღნობის არეში კაზმი მთლიანად გადადის გამდნარ ლითონსა, შტეინსა და წიღაში. ისინი ჩამოედინება ქერაში, სადაც წიღა გამოეყოფა შტეინსა და ლითონს.

ვატერტაკტური ღნობის შემთხვევაში კაზმიდან სასარგებლო მინერალებსა და სხვა კომპონენტების დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მათი დიდი ზომის ნაქრების გამოყენება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ნამწვ აიარებთან ერთად ლუმლის გარეთ გამოიდევნება კაზმის წვრილი ნაწილაკების დიდი რაოდენობა.

ლუმლის ზემო არეში იქმნება აღმდგენელი გარემო, ხოლო ქვედა ნაწილში კი — დამენაველი. ქმნებთან ტემპერატურა 1500°C-მდე აღწევს. ზემო ნაწილში კი — 450°C. ლუმლის ქვედა ნაწილში, უშუალოდ ქმნების ზონაში მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:

ა. კოქსის ნახშირბადის წვა



ბ. გოგირდოვანი რკინიდან გოგირდის წვა



გ. რკინის სილიკატის წარმოქმნა



ლუმლის ზედა ფენაში, როგორც აღვნიშნეთ, აიარების ნაწილის სიბორო კაზმს გადაიქცევა. გარდა ამისა, მიმდინარეობს CO_2 -ის ურთიერთქმედება კაზმის ნახშირბადთან. ამასთან, მაღალ ტემპერატურულ პირობებში კოქსის ნახშირბადის ზემოქმედებით წარმოიქმნება რეაქცია:



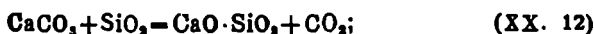
ლუმლის ზედა ზონაში პირიტი იშლება შემდეგი რეაქციით:



წარმოქმნილი გოგირდოვანი რკინა ლუმლის ქვედა ნაწილში იწვის შემდეგი რეაქციით:



FeS და Cu_2S -იდან შემდგარი ადვილდნობადი ევტექტიკები 1000°C-ზე დნება, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ფოროვანი მასა. გაზურებული აიარები ამ ფორმების გავლით ეხება გამდნარ სულფიდების მასას, რის შედეგადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს მეტალურგიული პროცესები, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია:

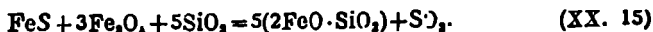
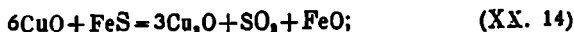


დნობის შედეგად მიღებული შტეინი შეიცავს 8—15% Cu. წილა ძირითადად კირისა და სილიკატებისაგან შედგება. აირებიდან გოგირდის გამოყენება 80% შეადგენს.

თანამედროვე სპილენძის წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება ამრეკლი და ელექტროლუმები. მათ ძირითად უპირატესობას შახტურ ვატერვაკტურ ღუმლებთან შედარებით წარმოადგენს ის, რომ ისინი არ მოითხოვენ ნაქროვან მადანს და მაღალხარისხიან სააბობს, აჩიან ეკონომიურნი, ადვილია მათი ექსპლუატაცია, მაღალმწარმოებლურებია. თანამედროვე ალქმელი ამრეკლი ღუმლები მზადდება 30—40 მ სიგრძის, 8—10 მ სიგანისა და 3,5—4,5 მ სიმაღლის (ქვევიდან კამარამდე).

ღუმლის ამონაგო დანასის ან ქრომმანგანეტის აგურებით ამოიგება იმასთან დაკავშირებით, თუ რა შედეგნილობის კაზში იტვირთება მასში. ღუმლის გახურება შესაძლებელია ბუნებრივი აირით, მაშუთით ან ნახშირის ფხვნილით. ჰაერი და სათბობი მიეწოდება წინა ტორსულ კედელში ერთრიგად განლაგებულ ქმინების მეშვეობით. ღუმლის წინა ნაწილში ტემპერატურა 1550—1600°C-მდე აღწევს, ხოლო ბოლო ზონაში — 1250—1300°C. კაზმის ჩატვირთვა კამარაში წარმოებს კელლებთან ახლოს განლაგებული სპეციალური ხერხების საშუალებით. წილა და შტეინის გამოშვება სპეციალური ხერხებიდან პერიოდულად წარმოებს. კაზში ხერხება მის ზემოთ გამავალ გავარვარებულ ეთ აირით, რომელიც წარმოიქმნება სათბობის წვის შედეგად. მთელი აუცილებელი სითბოს დაახლოებით 90% მიიყვანება კაზზე გარედან სათბობის წვით. მხოლოდ ~10% წარმოიქმნება გოგირდის წვის შედეგად.

კაზმის გახურების შედეგად მასში მიმდინარეობს ალდგენითი რეაქციები — ძირითადად სპილენძის ეანგისა და კაინის უმაღლესი ეანგეულებისა:



Cu₂S და FeS უერთდება ერთმანეთს და წარმოქმნის სულფიდების შენადნობს — შტეინს. ამასთან ერთად, ფუქი ქანების დნობის შედეგად წარმოიქმნება წილა, რომელიც უმთავრესად შედგება SiO₂, FeO, CaO და Al₂O₃-გან. მასში სპილენძი შეუძს 0,1—0,5%. ამრიგად, მიღებული შტეინი შედგება 80—90% სპილენძისა და რკინის სულფიდებისაგან: 15—55% Cu, 15—50% Fe, 20—30% S, 0,5—1,5% SiO₂, 0,5—3,0% Al₂O₃, 0,5—2,0% (CaO + MgO), ~2% Zn და Au და Al მცირე რაოდენობა, სპილენძისა და კეთილშობილი ლითონების შტეინიდან ამოღება 96—99,5% შეადგენს.

ბოლო წლებში სპილენძის წარმოებაში ფართოდ დაიწყო გამოყენება ელექტრო ამრეკლმა ღუმლებმა, სადაც დნობის ხანგრძლივობა შედარებით მცირეა, ვიდრე ალქმელ ღუმლებში. ამასთან გამავალი ნაშვვი აირების მიერ კაზმის დანაჯარვები ძალზე მცირეა.

სპილენძის შტეინის ბესემერება. შვი სპილენძის მისაღებად აწარმოებენ მიღებულ თხევადი შტეინის კონვერტერში ჰაერთ გაქრევას. ამ მიზნისათვის თანამედროვე სპილენძის წარმოებაში გამოიყენება ბესემერის ტიპის კონვერტერი. ამ პროცესში გამდნარი შტეინის ფენა გაიქრევა შეკუმშული ჰაერთ. კონვერტერი შესაძლებელია იყოს ვერტიკალური ან ჰორიზონტალური კონსტრუქციის.

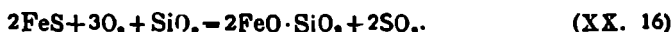
თანამედროვე სპილენძისაგან კონვერტერები ძირითადად ჰორიზონტალ-

ლურია და მზადდება 6—10 მ სიმაღლის და 3—4 მ გარე დიამეტრისა. მათი ტევადობა 100 ტ-ს აღწევს. ისანი ამოგებულა მაგნეზიტის აგურით. თხევადი შტეინის ჩასხმა და მიღებული პროდუქტის გამოშვება კორპუსის ზედა ნაწილის შუაში მოთავსებული ხანის მეშვეობით ხორციელდება. ამავე ხერხის (ხანის) მეშვეობით წარმოებს საშუაო სივრცეიდან აირების გამოშვება. ჰაერის საქმინებას რიცხვი 52-მდე აღწევს, ხოლო დიამეტრი — დაახლოებით 50 მმ. ჰაერის ხარჯი 820 მ³/წთ შეადგენს.

გაქრევია პროცესში მაგნიზიუმის რკინასა და გოგირდის ინტენსიური დაქანვით: გოგირდი გოგირდუხანი აირის სახით გამოიყოფა კონვერტირიდან, ხოლო რკინა კა — რკინას ქანკის სახით გადადის წიდაში და ცილდება კონვერტერის წილის სახით. ამგვარად, რკინისა და გოგირდისაგან განთავსებული სპილენძის შავი სპილენძი ეწოდება და წარმოადგენს სპილენძის შტეინის ბესემერების საბოლოო პროდუქტს.

სპილენძის შტეინის ბესემერების პროცესში განასხვავებენ ორ პერიოდს: პირველი — რკინის სულფიდის დაქანვით და თეთრი შტეინის მიღება; მეორე — რეაქციით თეთრი შტეინიდან შავი სპილენძის მიღება.

პირველად, პირველი პერიოდის ძირითად რეაქციას რკინის სულფიდის დაქანვით და წირმოქმნის რკინის ქანკეულს ეკუთვნის აწილვა წარმოადგენს. ეს უკანასკნელი შეიტანება კონვერტერში, როგორც ფლესი. ამ პერიოდში მიმდინარე რეაქცია შესაძლოა გამოისახოს შემდეგნაირად:



დაგროვებული წილის გამოშვება კონვერტირიდან პერიოდულად წარმოებს, ხოლო თხევადი აბაზანა, შესაბამისად, თხევადი შტეინით ივსება. როდესაც შტეინის აბაზანა მიუახლოვდება ნახევრადგოგირდოვანი სპილენძის შედგენილობას, შტეინის ახალი უფლები და ფლესების დაშტებას შეწყვეტენ. ამის შემდეგ იწყება დარჩენილი მთელი რკინის ამოწვისათვის აბაზანის ხანგრძლივი გაქრევა. ეს პროცესი 6-იდან 25 საათის განმავლობაში გრძელდება. პირველად მიიღება ნახევრადგოგირდოვანი, ე. წ. თეთრი შტეინი.

პირველ პერიოდში ჩასხმული შტეინის ტემპერატურა 1100 ± 1200°C შეადგენს. გაქრევას პროცესში ეკოთუარული რეაქციების შედეგად აბაზანის ტემპერატურა 1250—1350°C აღწევს. შედარებით უფრო მაღალი ტემპერატურის მიღება მიზანშეწონელია; ამიტომ ღარიბი შტეინების გაქრევისას, რომელშიც FeS შექცევლობა დიდია, უპატებენ გამაცივებელ მასალებს. ასეთებია მყარი შტეინი, სპილენძის ნაშეფები, ციხვიდან სპილენძის ქერქები და სპილენძის კონცენტრატები. პროცესის ბოლოს წიდაში სპილენძის შემცველობა 3,0%-მდე აღწევს. ამიტომ თხევად წიდას აბრუნებენ და ასხამენ ამრეკლ ან კაშფურ ღუმლებში.

მეორე პერიოდის ხანგრძლივობა 3 საათამდე გრძელდება. ამ პერიოდში მიმდინარეობს სპილენძის სულფიდის დაქანვით და სპილენძის სულფიდის სპილენძის ქვეანგთან ურთიერთქმედება ლითონური სპილენძის მიღებით:



მიღებულ შავ სპილენძს კონვერტირიდან გამოუშვებენ და ჩამოსხამენ საჩამოსხმელო მანქანაზე. მიღებული სპილენძის შედგენილობა დაახლოებით ასეთია: 98,5 — 99,5% Cu, 0,01 — 0,04% Fe, 0,02 — 0,1% S და Ni, Sn, As, Sb.

Ag, Au მცირე რაოდენობა. კონვერტერის წილა შედგება 22—30% SiO₂, 45—70% FeO, <3% Al₂O₃ და 1,5—3,5% Cu-ისაგან.

შავი სპილენძის რაფინირება. ელექტროტექნიკურ წარმოებაში შავი სპილენძის გამოყენება პრაქტიკულად არ წარმოებს. ამიტომ გასუფთოვებულ მის მიზნით ხდება მისი რაფინირება. რაფინირება 2 ხერხით ხდება: თავდაპირველად ცეცხლით — ალქმედ ღუმელებში, შემდეგ კი ელექტროლიტურით — აბაზანებში. ამასთან, მკვებ მინარეების მოცილებასთან ერთად შესაძლებელია კეთილშობილური ლითონების მოცილებაც (ამოღება). ცეცხლით რაფინირება ალქმედ ამრეკლ ღუმელებში ზიპინარეობს. ამასთან, წარმოებს შავი სპილენძის დნობა, რომლის მინარეებით იქანება სპილენძის ქვეყანგის, ჯანგბადისა და შებერილი ჰერის ჯანგბადის ხარკზე. წარმოქმნილი ქანვეულები ან წილაში გაღადის, ან აქროლდება. ეს პროცესი 24 საათს გრძელდება და შეიცავს შემდეგ ოპერაციებს: გაღნობა, მინარეების დაქანგვა, გახსნილი აირების მოცილება, სპილენძის განქანგვა და ჩამოსხმა.

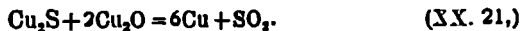
უპირველეს ყოვლისა, სპილენძი იქანება



მიღებული სპილენძის ზეყანგი რეაგირებს მინარეებთან და წარმოებს სპილენძის ალდგენა



ამასთან მიმდინარეობს გოგირდის ამოწვა რექციით



ამ პერიოდში მიმდინარეობს ისეთი ლითონების დაქანგვა, როგორცაა Al, Fe, Ni, Zn, As, Sb და სხვ. კეთილშობილი ლითონები, ჯანგბადთან დაბალი სწრაფვის გამო, პრაქტიკულად არ იქანება. დაქანგვის პერიოდი დაახლოებით 3 საათს გრძელდება. თხევად სპილენძში გახსნილი აირების მოცილება ხდება ლითონების აბაზანის ნედლი ხის ძელების მორევის საშუალებით. ამ პერიოდს ლითონის გაღიზიანებას უწოდებენ. მაღალი ტემპერატურის გავლენით მიმდინარეობს წილის ორთქლისა და მშრალი გამოხდის აირების გამოყოფა, რის შედეგადაც ლითონის აბაზანა ინტენსიურ ღუღილს იწყებს. ეს უკანასკნელი კი ხელს უწყობს დარჩენილი გოგირდის დაქანგვის დამთავრებას, SO₂-ისა და სხვა აირების აბაზანიდან გამოძეებას. ამასთან, მიმდინარეობს რექციები:



ამის შემდეგ წარმოებს სპილენძის განქანგვა, Cu₂O-გან განთავისუფლება ამ მიზნით აბაზანას ხის ნახშირით ფარავენ და თხევად სპილენძში ხის ძელებს შედარებით ხანკარძოვად ჩაყვინთავენ. Cu₂O-ის შემცველობა სპილენძში 0,3—0,5%-მდე მცირდება. მხა სპილენძში შემავალი კეთილშობილი ლითონები (Au და Ag) და As, Sb, Bi, Se და სხვ. აუარესებს მის ტექნიკურ თვისებებსა და ელექტროგამტარობას. ამ მიზნით ხდება მიღებული სპილენძის ელექტროლიტური, ან უელექტროლიტით, რაფინირება.

ელექტროლიტური რაფინირებისათვის ელექტროლიტად გამოიყენება გოგირდმქევაში (10—16%) განხვეებული 12—16%-იანი შაბიამის ხსნარი (CuSO₄·5H₂O). აბაზანა ტყვიით ან ვინიპლასტითაა ამოგებული. ანოდებად

ჩაშვებულა ცეცხლით რაფინირებული სპილენძის ფირფიტები; კათოდად სუფთა სპილენძის თხელი ფირფიტები გამოიყენება. მუდმივი დენის გავლით კათოდზე სპილენძი ილექება, ხოლო ეკვივალენტური რაოდენობით ელექტროლიტში იხსნება სპილენძისაგან დაზარალებული ანოდი. მინარევების ძირითადი ნაწილი ხსნარში ან შლამში რჩება. ამგვარად, მიღებული სპილენძის სისუფთავე 97,9%-ს აღწევს.

§ XX. 2. ნიკელის მებაღურება

ნიკელი ხასიათდება თეთრი-მოვერცხლო ფერით, ძალზე ღენადი და ქედალი თვისებებით. მისი სიმკვრივე 8,7—8,9 მ/სმ³ შეადგენს. ღნობის ტემპერატურა — 1452°C; დუღილის ტემპერატურა — 3000°C. 340—360°C განიკლვის გარდაქმნას, რომელსაც თან სდევს მაგნიტური თვისებების ცვლილება. ამ ტემპერატურაზე დაბლა იგი ფერომაგნიტურია; ზევით — სუსტი პარამაგნიტური. ნიკელის შექანიკური თვისებები დამოკიდებულია მის სისუფთავეზე. 99,94% სისუფთავის ნიკელის სისალე ზინელით 68—78 კგ/კმ² შეადგენს, სიმტკიცის ზღვარი გაღვავებაზე 32,9 კგ/კმ².

თავისი ქიმიური თვისებებით ნიკელი რკინასა და კობალტს უახლოვდება; იგი ხასიათდება საშუალო ქიმიური აქტივობით. ჩვეულებრივ პირობებში ტენის გარეშე ნიკელი ეანგბადთან, გოგირდთან და ჰალოგენებთან საგრძნობლად არ რეაგირობს. გახურებისას კი პირიქით — საკმაოდ ენერგიულად რეაგირობს. ჰაერზე იქანება 500°C-ზე. ნიკელის წვრილი ფხვნილი პაერზე ჩვეულებრივ ტემპერატურულ პირობებში თვითააღებადია. როგორც მყარ (წვრილი ფხვნილი), ისე გამდნარ მდგომარეობაში ნიკელი დიდი რაოდენობით იერთებს წყალბადს, აბასთან წარმოქმნის მყარ ხსნარებს. 0,01% S და 0,0005% Pb ნიკელს ანიჭებს მსხვრეველობას. ეანგბადთან წარმოქმნის მწვანე ფერის ქვეყანგ NiO. ნიკელის ჰიდრატი Ni(OH)₂ ფუძე თვისებებით ხასიათდება. ცნობილია აგრეთვე მორუხო-მოშაო ფერის ეანგი Ni₂O₃ და შავი ორქანგი NiO₂, რომელიც დისოცირებს 70°C-ზე.

ნიკელი ფოლადისათვის წარმოადგენს მეტად ძვირფას მალევირებელ ლითონს, რომელაც ერთდროულად ზრდის მის სიმტკიცესა და პლასტიკურ თვისებებს. ქრომთან ერთად იგი უზრუნველყოფს ფოლადის ანტიკოროზიულ თვისებებს. გარდა ამისა, საკმაოდ მალლა წევს ფოლადის თბომდეგობას. ფართო გამოყენება პოვა ქრომნიკელიანმა უქანგავმა ფოლადმა, სადაც ნიკელის შემცველობა 9—18%-ს აღწევს. გარდა ამისა, ცნობილია ისეთი შენადნობები, სადაც ნიკელი წარმოადგენს ფუქეს. ასეთებია, მაგალითად, ნიკელის ალუმიონთან, მანგანუმთან, ქრომთან, სილიციუმთან, სპილენძთან და სხვ. შენადნობები (ალუშელი, ნიქრომი, ქრომელა, ნიკელინი, მონელი და სხვ). ნიკელისა და რკინის შენადნობი, ე. წ. პერპალოი, ხასიათდება მაღალი მაგნიტური განვლადობით.

ნიკელი გამოიყენება, აგრეთვე, ლითონების მონიკვლებისათვის — ნაქეთობების ზედაპირზე ელექტროლიზით ნიკელის თხელი ფენის (20—30 მიკრონის) დაფენისათვის.

ფართო გამოყენება პოვა ნიკელმა ქიმიური სამედიცინო აპარატურის დამზადებაში.

ნიკელის მთელი წარმოების 80% იხარჯება სპეციალური და საიარალო

ფოლადის ლეგირებისათვის. გარდა ამისა, დიდად გამოიყენება ისეთ შენადლობებში, როგორცაა მონელ-ლითონი, მელქიორი და ა. შ.

ნედლე მასალები. ნიკელის წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება 2 ტიპის მადანი: დაქანგულა და სულფიდური.

სულფიდური მადანი ფართოდ გამოიყენება ნიკელის წარმოებაში. ის წარმოადგენს კომპლექსურ სპილენძ-ნიკელის მადანს. ნიკელშემცველ მინერალურ მასში შედის: პენტლანდიტა ($\text{Fe, Ni}_2\text{S}_3$), პოლიდიმიტი Ni_2S_3 , მილიარტი NiS და სხვ. ეს მადანი აუკუელთის შეიცავს სილანის ჰექსაგონალურ მინერალებს, როგორცაა პაჩიტანი Fe_2S_3 , ქალკონაიტი CuFeS_2 , და ნაწილობრივ სხვა სულფიდებსა და დარაშანთან მინერალებს. სულფიდურ მადანში ნიკელის რაოდენობა შეადგენს 0,5-იდან 4% -მდე (ზოგჯერ 5% -საც აღწევს). სპილენძის რაოდენობა 2,5%-მდეა. მინერალებში ხშირად იმყოფება $\leq 0,2\% \text{Co}$; მცირე რაოდენობით პლატინის ჯგუფის ლითონი: პლატინა, პალადიუმი, როდიუმი და სხვ., აგრეთვე ოქრო, ვერცხლი, სულენი და ტელური.

რადგანაც სპილენძ-ნიკელის მადანი წარმოადგენს ღარიბს, ამიტომ წინასწარ მას ფლოტაციური ხერხით ამზადებენ, რის შედეგადაც მიიღება სპილენძ-ნიკელის კონცენტრატი. იშვიათად აწარმოებენ ნაღების სელექციურ გამდიდრებას, ამის შედეგად ცალ-ცალკე გამოიყოფა ნიკელისა და სპილენძის კონცენტრატები. რადგანაც სპილენძის მთლიანი მოცილება კონცენტრატადან შეუძლებელია, ამიტომ მადნის სელექციურ გამდიდრებას იშვიათად აწარმოებენ.

სულფიდური მადნის გადაუშავება წარმოებს სპილენძის პირომეტალურგული პროცესის მსგავსად. მსხვილნაჭროვანი მდიდარი მადნები და აგლომერატის გადამუშავება ქაშეურ ლუმლებში მიმდინარეობს, ხოლო კონცენტრატებისა და წერილი მადნის — ამრეკლ ან ელექტროლუმლებში.

თავდაპირველად წარმოებს სპილენძ-ნიკელის შტეინის გამოდნობა, რომელიც შემდგომ ჰაერით გაიჭრება კონვერტერში ე. წ. თეთრი ნიკელის შტეინის (ფაინშტეინის) მისაღებად. სპილენძ-ნიკელის შტეინი შეიცავს 6—11% Ni, 3—9% Cu, 48—56% Fe და $\leq 25\% \text{S}$. თუთია ნიკელის შტეინში ნიკელის შე, მცველობა 20—60% -ს აღწევს; გარდა ამისა, შეიცავს 25—50% Cu, 10—20% S, 0,2—1,5% Fe და მცირე რაოდენობით კობალტსა და პლატინის ჯგუფის ლითონებს. ამგვარად, ფაინშტეინის ძირითად შემადგენელს ნიკელის სულფიდი Ni_2S_3 და სპილენძის სულფიდი Cu_2S წარმოადგენს.

კონვერტერში გაჭრების შემდეგ მიღებულ წილა შეიცავს $\leq 65\% \text{FeO}$, 2—5% (Cu+Ni) და 16—25% SiO_2 . კონვერტერის წილა იმსხვრევა და კაზში გამოიყენება ქაშეურ ლუმლებში დნობისთვის.

მიღებული ფაინშტეინი ისხმება შოთხბად და შეზადგენელ ელემენტებზე დაყოფის მიზნით მიეწოდება სპეციალურ ქვაბებს. ამისათვის მას ახურებენ 1135°C -მდე და შემდგომ 575°C -მდე ძალზე ნელა აციებენ. ეს პროცესი შესაძლოა 4 ღვე-ღამემდე მიჰდინაჩობდეს, რის შედეგადაც გამოიყოფა Cu_2S მსხვილი კრისტალური. ნიკელის სულფიდი (Ni_2S_3) უშთავრესად იშლება ლითონის გამოყოფით. ნიკელისა და სპილენძის სულფიდები წარმოქმნის ეფექტიკას და ლითონურ ფაზას. გაჟავების შემდეგ მიღებულს წვრილად ამსხვრევენ და ახდენენ მის მაგნიტურ სეპარაციას. მაგნიტურ ნაწილს შეადგენს სპილენძ-ნიკელის შენადნობი გოკირდის მცირე შემცველობით. მასში არის აგრეთვე ძვირფასი ლითონების მცირე ნაწილიც, რომლის გამოყოფაც სპეციალური დამუშავებით წარმოებს.

დაინგულ მადანს განეკუთვნება პიდროსილიკატური ნიკელის მადანი,

რომელიც შედგება სხვადასხვა მინერალების კომპლექსური შენაერთებისაგან. მაგალითად ნიკელის ჰიდროსილიკატი-გარნიერიტი $Ni_3Si_4O_{10} \cdot 10H_2O$, ნეპთიტი (Ni, Mg) $\cdot [Si_4O_{10}] \cdot [OH]_2$, ნიკელის შემცველი შავნიუმის სილიკატები $nNiO \cdot SiO_2 \cdot MgSiO_3$, ნიკელის შემცველი თიხები—მონტმორილიონიტის, გლახურიტისა და სხვ. ტაისა, კვარციტები, ტალკი ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) და სხვ. ასეთ შაღნებში ნიკელის შემცველობა 7%-მდე აღწევს, კობალტისა კი 0,5%.

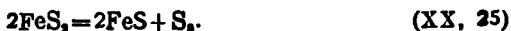
აპრიგად, დაქანული ნიკელის მადანი თიხოვანია და 30%-მდე ტენს შეიცავს. ამიტომ დნობის წინ აუცილებელია მათი დანაკროვნება (დაბრიკიტება ან აგლომერაცია).

აღუკანითა დნობას ღრუს კაზში უკატეპენ პირატს ან თაბაშირს, რომლებიც ნიკელთან და რკინასთან შეერთებით იძლევი შტეინს (Ni_2S_3 და FeS შენადნობს). ამასთან წარმოიქმნება რკინის შემცველი წილა რკინის მოცილება შტეინიდან კონვერტერში კაერის ან ეანგბადის გაქრეკით წარმეებს. ამრიგად, კონვერტერში დაქანაველი რკინა წილაში გადადის, რომელიც უერთდება კონვერტერში დაკატეპულ კარკეკუნ ფლუქსის მეორე მტანილ სილიკატებს. მიღებულა თერთი მტეინი ჩაჰოისხხება, იუხხენება და განიცდის ეანგვიტის გამოწეას, რის შედეგადღი წარმოიქმნება ნიკელის ქვეეანგი. ამ უკანასკნელის გადადნობა ელექტროლუქებში იის ნახჰირთან შეერთით წარმოებს. გადადნობის შემდეგ მიიღება თხევალი ნიკელი.

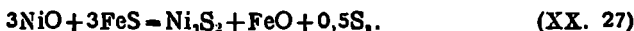
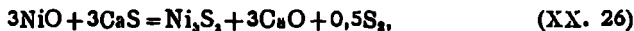
ნიკელის შტეინი (რომტეინი) კაშეურ ღუმლებიდან პერიოდულად გამოიშეება, ბოლო წილა—უწყვეტად. კაშეურ ღუმლებში მალალი ტემპერატურა ხელს უწყობს რკინის აღგენასა და ღრუბლკეკანი რკინის მიღებას. ეს უკანასკნელა უერთდება აირის ფაზის გოგირდს და წარმოქმნის FeS . კიჩქეის დისოციაციის შედეგად წილაში გადადის CaO , რომელიც უერთდება SiO_2 და წარმოშობს სილიკატებს. თაბაშირი $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ კარკეკავს ჰიდრატულ ტენს და აღდება CaS -მდე:



600—700°C პირიტი იშლება რეაქციით



ამკვარად მიღებულა CaS და FeS უერთდება ნიკელის ქვეეანგს რეაქციით.



ამგვარად, ღუმელში მიიღება Si_2S_2 და FeS შენადნობი—შტეინი, რომელშიც შედის 12—80% Ni, 45—60% Fe, 17—23% S და CO—მცირე რაოდენობით. წარმოქმნილ წილაში ნიკელის შემცველობა ~0,15%-ს აღწევს.

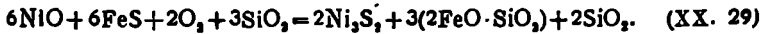
კაშეურ ღუმლებში დნობის პროცესის დასაჩქარებლად შეებერილი ჰაერი ეანგბადით მიდირდება, რაც 40%-ით ზრდის ღუმლის მწარმოებლურობას. ამასთან, 50%-ით ამცირებს კოქსის ხარჯს.

შტეინის გაქრევა კონვერტერში თანდათან მიმდინარეობს: კონვერტერში დროკამოშეებით აწვდაინ 2—4 ტ შტეინს, მასთან კვარცის ფლუქსს. ამ დროს მიმდინარეობს ძირითადად რეაქცია:



ამასთან, გამოიყოფა დიდი რაოდენებით სითბო. 1300°C-ზე მაღლა ტემპერა

ტურის აწევა არასასურველია. ამიტომ ამ შემთხვევაში კონვერტერში უმატებენ გამაცივებლებს — ფერონიკელს, მყარ შტენისა და დაბრუნებულ წიდას. ამ პერიოდის დამახასიათებელი რეაქციაა:



როდესაც კონვერტერში დაგროვდება რკინისაგან გაღარიბებული შტენი, იწყება გაქრევის მეორე პერიოდი — გოგირდოვანი რკინის დაუხანგვა:



ამრიგად, გაქრევის ამთავრებენ ფაინშტენის შიღვით, რომელიც წარმოადგენს Ni და Ni₃S₂ შენადნობს (თეთრი შტენი).

როგორც აღვნიშნეთ, ფაინშტენის შემდგომი დამუშავებისათვის იყენებენ დამუხანგველ გამოწვას. ამ პროცესში მმდინარეობს გოგირდის საგრძნობი მოცილება:



ამის შედეგად პროდუქტში გოგირდის შემცველობა 0,02% არ აღემატება. ბოლო წლებში ფაინშტენის გამოწვას მდულაჩე ფენაში აწარმოებენ. გამოწვის შემდეგ მიიღება 9ა%NiO და 0,2%S. გარდა ამისა, იგი შეიცავს CO, C და Fe შინარეებს.

მიღებული NiO ელექტროდუმლებში განიცდის აღდგენით დნობას. აღდგენილად ხის ნახშირი იხმარება: იშვიათად — ნავთობის კოქსი. აღდგენა მიმდინარეობს 700 ÷ 900°C რეაქციით:



დნობას 1500°C-ზე ამთავრებენ. თხევად ნიკელში იხსნება ნახშირბადი და მიიღება ნიკელის კარბიდა Ni₃C მისი შემცველობა თხევად ლითონში 2,2% აღწევს. ნახშირბადის მოსაცარებლად დნობის ბოლოს აწარმოებენ ე. წ. დაუვანას. ჰარბი ნახშირბადის დაუხანგვისათვის ნიკელის ქვეყანგს უმატებენ:



მიღებული შავი ნიკელი შეიცავს: 99,2—99,6% (Ni + CO); 0,3 ÷ 0,8% Fe, < 0,02% Si, < 0,4% C და < 0,4% Cu. ამიტომ ახდენენ მის შემდგომ ელექტროლიტურ რაფინირებას.

ამ შემთხვევაში ელექტროლიზად ნიკელის სულფატის ხსნარს ხმარობენ. ანოლს შავი ნიკელის ფირფიტები წარმოადგენს. ანოლიდან ხსნარში გადადის ნიკელი, სპილენძი, კობალტი და რკინა. იმისათვის, რომ კათოდზე არ მოხდეს სპილენძის დალექვა, ელექტროლიზებში ათავსებენ მკვრივი ქსოვილის დიაფრაგმებს, რომლებიც არ ატარებენ სპილენძის იონებს. დიაფრაგმის გარეთ მდებარე ელექტროლიტს ანოლიტს უწოდებენ, ხოლო დიაფრაგმის შიგნით — კათოლიტს. ანოლიტი, მინარეებისაგან გასუფთავების მიზნით, უწყვეტად გამოიყვანება გარეთ. უწყვეტი პროცესების შედეგად კათოდზე დაილექება სუფთა ნიკელის ფენა, რომელიც პერიოდულად გამოიტვირთება ელექტროლიზერებიდან. ამგვარად მიიღება სუფთა ელექტროლიტური ნიკელი.

ალუმინი ხასიათდება ვე უცბლისებრ-მოთეთრო ფერით. ზესუფთა ალუმინს-აქვს მოცისფრო ელფერი, ტექნიკური ალუმინი შეიცავს რკინას, სილიციუმსა და სხვა მინარევეებს 99,5—99,7% Al აქვს შემდეგი თვისებები: სიმკვრივე 2,7 მ/სმ³, დნობის ტემპერატურა 659,8°C, დუღილის ტემპერატურა 2500°C, მაღალი თბოგადაცემა, მაღალი ელექტროგამტარობა, კარგი პლასტიკურობა და საკმაო მექანიკური თვისებები.

ალუმინის მექანიკურ თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს მინარევეები, აგრეთვე მექანიკური და თერმული დამუშავება. ალუმინში სხვა ლითონების შეტანა (სპილენძის, მანგანუმის, მანგანუმის, თუთიისა და ა. შ.) და მათი შესაბამისი თერმული დამუშავება გვაძლევს შალალსიმტკიცის შენადნობს. ზოგიერთ შემთხვევაში ალუმინის შენადნობების სიმტკიცის ზღვარი აღემატება ზოგიერთი ლეგირებულ ფოლადების სიმტკიცის ზღვარს.

ალუმინისა და მისი შენადნობების ფართო გამოყენება დაიწყო მანქანათმშენებლობისა და საავიაციო წარმოების განვითარებასთან ერთად. ალუმინის შენადნობებს ხშირად მსუბუქ შენადნობებს უწოდებენ.

თანამედროვე ალუმინის შენადნობები შესაძლოა დაიყოს 2 ძირითად ჯგუფად: სამსხმელო — ფასონური ნაკეთობების წარმოებისათვის, და წნევისით დამუშავების — ფურცლების, მავთულების, ლეროების, მილებისა და სხვ. პროფილიანი ნაგლისის მალეებისათვის. ცნობილია, აგრეთვე, ალუმინის ანტიფორმული შენადნობები. ალუმინის შენადნობები ფართოდ გამოიყენება კვების მრეწველობაში სხვადასხვა კურკლების დასამზადებლად, აგრეთვე, მედიცინის ხელსაწყოების დამზადებისა და სხვ. დარგებში.

უანგბადთან ალუმინის ნათესაობა ძალზე დიდია. მათი შეერთებისას გამოიყოფა დადი რაოდენობის სითბო. ჰაერზე ალუმინის ფხვნილი თვითაალებადია. ალუმინის ზედაპირი ყოველთვის დაფარულია ალუმინის უანგის მდგრადი თხელი ფენით, რომელიც შემდგომ იცავს მის შიგა ძირითად ნაწილს და უანგვისაგან.

თანამედროვე ტექნიკაში ალუმინის შენადნობებიდან ფართო გამოყენება პოვა დურალუმინმა და სილუმინმა.

დურალუმინი, გარდა ალუმინისა, შეიცავს 3,4—4% Cu, 0,5% Mn და 0,5% Mg. რკინისა და სილიციუმის შეკველობა მასში თითოეულის 0,8% ს არ უნდა აღემატებოდეს.

სილუმინი წარმოადგენს ალუმინისა და სილიციუმის შენადნობს. იგი ხასიათდება კარგი სამსხმელო და მექანიკური თვისებებით.

რადგანაც უანგბადთან ალუმინის ნათესაობა საკმაოდ დიდია, ამიტომ იგი გამოიყენება ფოლადის მეტალურგიაში, როგორც კარგი განმუანგველი. ფართო გამოყენება პოვა მან კალციუმისა, ლითიუმისა და სხვ. იშვიათი ლითონების ალუმოთერმული ხერხით წარმოებაში.

ნელცი მასალები. თავისი გავრცელებით ალუმინს დედაწიწის ქერქში სილიციუმისა და რკინის შემდეგ მესამე ადგილი უჭირავს. ალუმინის შემკველ მინერალების რიცხვი მეტად დიდია. მიუხედავად ამისა, წარმოებაში გამოსადევი მინერალების რიცხვი საკმაოდ მცირეა.

თანამედროვე ალუმინის წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება ბოქსიტი.

ალუმინის წარმოება ორ სტადიურ პროცესს წარმოადგენს: თავდაპირველად მდინიდან ქიმიური ან თერმული ხერხით აცილებენ ნახევარპროდუქტს თხამიწას (Al₂O₃), შემდეგ კი ელექტროლიტური ხერხით მიიღება ლითონური ალუმინი.

ბოქსიტი — მათი რთული ქანია, რომელიც თიხამიწის შეიცავს ჰიდრატები. სახით: მონოჰიდრატი $Al_2O_3 \cdot H_2O$ — მინერალეზი დიასპორა და ბიომიტი ან ტრიჰიდრატი $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ — მინერალი ჰიდრაგილიტი და ნიბსიტი. მცირე რაოდენობით თიხამიწა შედის ალუმოსილიკატურ ფორმაში — კაოლინიტში, პალუზიტიში და სხვ. საწარმოო მადანში თიხამიწა 60%-მდეა. ბოქსიტი შეიცავს დაახლოებით 40-მდე ქიმიურ ელემენტს თიხამიწის შემკველობა ბოქსიტში 28—70% შეადგენს, კაემიწისა 20%-ს, რკინის ქანგისა — 50%-ს ტიტანის ქანგისა — 10%-ს.

დანარჩენი მადანი, მათი ამოღების სირთულისა და გავრცელების მიხედვით, 2 ჯგუფად იყოფა: სულფატები და სილიკატები. სულფატები ნაკლებად გავრცელებულია და მათში თიხამიწა შედის ალუმინიტის მინერალის ფორმით — $KAl_2(OH)_6(SO_4)_2$, რომელიც შეიცავს 37% Al_2O_3 ; 11,4% K_2O ; 38, 6% SO_3 და 13% H_2O .

მეორე ჯგუფი — სილიკატები მოიცავს მადნების შედარებით უფრო ფართო წრეს: ამოფრქვეულს (ნეფელინ-სიენიტი, ნეფელინ-აპატიტი, ლაბრადორიტი, ანორტიტი), დალექილს (თიხები) და მეტამორფიულს (მალა-თიხამიწიანი). ყველა ესენა ხასიათდება კაემიწის მაღალი შემკველობითა და ალუმოსილიკატური რთული მინერალებით. თიხამიწის მოცილებისათვის საჭიროა ამ მეტად მტკიცე ქიმიური ბმის ძალების გადალახვა, რაც საგრძნობლად ართულებს ალუმინის წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესს.

ნეფელინ-სიენიტი და ნეფელინ-აპატიტი ქანები. ნეფელინები შედის სიენიტებისა და ურტიტების შედგენილობაში. ურტიტის ძირითად შემადგენელ ნაწილს ნეფელინი და აპატიტი წარმოადგენს. მისი შედგენილობის ფორმულაა $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$. ალუმინის წარმოებისათვის მშობრთავენ მათ ფლოტაციურ გამდიდრებეს ნეფელინისა და აპატიტის კონცენტრატის გამოყოფით. აპატიტის კონცენტრატი მიდის სოფლის მეურნეობისათვის ფოსფორიკის სასუქების მისაღებად, ხოლო ნეფელინი — თიხამიწის მისაღებად. ნეფელინის კონცენტრატი შეიცავს: 20—30% Al_2O_3 , 42—44% SiO_2 , 13—14% Na_2O , 6—7% K_2O , 3—4% R_2O_3 და 2—3% CaO . ნეფელინის კონცენტრატიდან თიხამიწის გარდა მზადდება სოდა.

ლაბრადორიტი წარმოადგენს მინდვრის შპატის ჯგუფის მინერალს 23—25% Al_2O_3 შემკველობით. მის ძირითად მინერალს ლაბრადორი შეადგენს, მასში შედის ნატრიუმის მინდვრის შპატი — ალბიტი ($NaAl \cdot SiO_3$) და კიროვანი მინდვრის შპატი — ანორტიტი ($CaAl_2Si_2O_8$). მათი შემკველობა ლაბრადორში 50—70% აღწევს.

თიხები და კაოლინიტი. ბუნებაში თიხები მეტად გავრცელებული ქანებია. ისინი გვხვდება 40 სხვადასხვა მინერალის სახით. მათ შორის ყველაზე გავრცელებული და შესწავლილ მინერალს კაოლინიტი წარმოადგენს. ეს უკანასკნელი ჩვეულებრივ თიხის მსგავსად წყალთან წარმოქმნის პლასტიკურ ცომისებრ მასას, ხოლო წყლის დიდი რაოდენობის შემთხვევაში — სუსპენზიას. კაოლინიტის ქიმიური შედგენილობაა $Al_2[Si_2O_7] \cdot (OH)_3$ ან $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. სუფთა სახით იგი შეიცავს 40% Al_2O_3 ; 46% SiO_2 და 14% H_2O . მინარეების სახით მასში გვხვდება რკინის ქანგეულები და ტუტეები. 500—600°C გახურების შემთხვევაში კაოლინიტი კარგავს კრისტალიზაციურ ტენს, ხოლო 950°C-ზე ლევა საკმაო თბური ენერჯით.

ალუმინის წარმოებაში, გარდა აღნიშნული მინერალებისა, გამოიყენება კირქვა და მლხობი შპატი.

კირქვა იკვებ ხარახისაა, როგორც ბრძმედის წარმოებაში. მლხობ შპატს, ანუ ფლოროიტს, შეესაბამება ქიმიურა ფორულა CaF_2 (48, 72% F^-). იგი სუფთა სახით ბუნებაში არ გვხვდება. ბუნებრივი ფლოროიტის შეიცავს აგრეთვე კაჟმიწას, კარბონატებს, რკინისა და ალუმინის ეანგეულებს. მას წინასწარ წულის რეცხვით ან ფლოტაციით ამჟღედრებენ, რის შედეგადაც მიიღება კონცენტრატი 95% CaF_2 .

თიხამიწის წარმოება. თიხამიწა Al_2O_3 , თეთრი კრისტალური ნივთიერებაა. მისა დნობის ტემპერატურა 2050°C შეადგენს, დუდილისა კი — 2980°C. უწყლო მდგომარეობაში ცნობილია ორი მოდიფიკაცია: α — Al_2O_3 , —კორუნდი და γ — Al_2O_3 . წითლად შეფერილი α — Al_2O_3 წარმოადგენს ლალს, ხოლო (ვისფრად შეფერილი — საფირონს; ისინი ძვირფას ქვებად ითვლება. α — Al_2O_3 ბუნებაში არ გვხვდება. იგი წარმოიქმნება ალუმინის ჰიდროქსიდის 500—900°C გახურებით; გამოიჩევა მაღალა დისპერსიულობითა და ჰიკროსოპიულობით. 900—1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში გარდაიქმნება α — Al_2O_3 . თიხამიწა ძირითადად გამოიყენება პირველადი ალუმინის ელექტროლიზური ხერხით წარმოებაში.

თანამედროვე პრაქტიკაში თიხამიწის წარმოების 3 ხერხი არსებობს: 1. სველი ტუტიანი, 2. მშრალი ტუტიანი და 3. ქიმიურ-თერმული.

თიხამიწის მიღების სველი ტუტიანი ხერხი ყველაზე გავრცელებულია როგორც საბჭოთა კავშირში, ისე საზღვარგარეთ. აღნიშნული ხერხი დამუშავებულ იქნა რუსეთში XIX ს. 90-იან წლებში კ. ბაიერის მიერ. ტექნოლოგიაში საგრძნობი გაუმჯობესება შეიტანეს საბჭოთა მეცნიერებმა დ. მანოვებმა, ფ. ვოლფმა და სხვ. ეს ხერხი გამოიყენება 2—5% SiO_2 შემცველ ბოქსიტებიდან თიხამიწის წარმოებისათვის. წერილად დამსხვრეულ ბოქსიტს მწვავე ნატრიუმის ხანარით ამუშავებენ, რის შედეგადაც მისგან გამოიტუტება თიხამიწა და მიიღება ნატრიუმის ალუმინატის (NaAlO_2) ხსნარი. გაფილტრული ალუმინატის ხსნარს ურევენ ალუმინის ჰიდროქსიდის გარკვეულ რაოდენობას, რის შედეგადაც ხანგრძლივად (100—120 სთ) ნელა ირევა. ამის შედეგად მიმდინარეობს ალუმინატის ხსნარის დაშლა: დაილექება კრისტალური ალუმინის ჰიდროქსიდის $\text{Al}(\text{OH})_3$. ამ უკანასკნელს რეცხავენ, გაფილტრავენ და 1200°C გამოწვავენ, რის შედეგადაც მიიღება უწყლო თიხამიწა α — Al_2O_3 . ეს უკანასკნელი მიღის ელექტროლიზში.

მშრალი ტუტიანი ხერხი (შეცნობა) მაღალკაემიწიანი (>5% SiO_2) მდინიდან (დაბალხარისხიანი ბოქსიტები, ნეფელინები, თიხები და კალინები) სუფთა თიხამიწის მიღების საშუალებას იძლევა. ამ ხერხის დამუშავებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით საბჭოთა მეცნიერებს ა. იაკოვკინს, ე. ლილევეს, ვ. მახელსა და სხვ. ბოქსიტსა და კირქვას აფხვიერებენ და სოდასთან ერთად ურევენ ერთმანეთში. მიღებული კაზში შეიცნობა 1200—1300°C მბრუნავ მილა ღუმელებში. ბოქსიტის ალუმინის ეანგი რეაგირებს სოდასთან და წარმოქმნის წყალში ხსნად ნატრიუმის მეტალალუმინატს $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, მხოლოდ კაემიწა წარმოქმნის ორმაგ კალციუმის სილიკატს $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. შეცნობილი მასა გამოიტუტება სოდის ხსნარით. ხსნარში გადადის ნატრიუმის ალუმინატი, რომელშიდაც გასწილია კაემიწის მცირე რაოდენობა. ამ უკანასკნელის მოცილება ხდება სიციცალურ ავტოკლაგებში კირის დამატებით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება კალციუმის ალუმოსილიკატი $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ და ნაეკაჟი. ალუმინის ჰიდროქსიდის გამო-

საყოფად სუფთა ალუმინატის ხსნარს შლიან კარბონიზაციის მეთოდით, ე. ი, ხსნარში საციკლების აირის გატარებით, რომელშიც შეღის ნახშირჟანგი. ალუმინის ჰიდროჟანგს აცილებენ და კალცინაციით ამუშავებენ, რის შედეგადაც წილებმა უწყლო თიხანიწა. დარჩენილი სოდის მონოჰიდრატი $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ განიცდის კალცინირებას, რომელიც შემდგომ კაზმის დოზირებისათვის გამოიყენება.

ქიმიურ-თერმული, ანუ ალუმინატ-კალციუმის, ხერხი პირველად ნემუშავებულ იქნა 1915 წელს რუსეთში ა. კუნეცოვისა და ე. ეუკოვსკის მიერ. მათი საწარმოო სქემა დამუშავებულ იქნა 30-იან წლებში, ბოქსიტის, კირისა და კოქსის კაზმის დნობით წარმოიქმნება კალციუმის ალუმინატის $(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ წილა. დნობა შესაძლოა წარმოებდეს როგორც ელექტროლუმბებში, ასევე ბრძმედში. წილები განიცდის სოლიანი ხსნარით გამოტუტვას, რის შედეგადაც რჩება ნატრიუმის ალუმინატის ხსნარი. ეს უკანასკნელი ჩვეულებრივი წესით სუფთა თიხამიწაზე გადამუშავდება.

კრიოლიტისა და ფთორიდების წარმოება. კრიოლიტი თეთრი ფერის კრისტალურ ნივთიერებას წარმოადგენს. იგი შედგება ალუმინისა და ნატრიუმის უთორილებისაგან $\text{Na}_3\text{AlF}_6(3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3)$. ბუნებაში თავისუფალი სახით იგი იშვიათად მოიპოვება და ხელოვნური წესით მზადდება.

კრიოლიტის მიღების ყველაზე გავრცელებულ ხერხს შეაქვრი ხერხი წარმოადგენს. ნედლ მასალად გამოიყენება მლზობი შპატი, გოგირდმეყავა, ალუმინის ქანგის ჰიდრატი და კალცინირებული სოდა. მიღების პროცესი 2 სტადიად იყოფა:

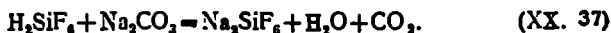
I სტადია — მლზობი შპატისა და გოგირდმეყავას ნარევის 200°C გახურებით ფთორწყალბადის მიღება:



კონცენტრატში არსებულ კაემიწიდან ფთოროვან სილიციუმის წარმოქმნა



ბოლო რეაქციის მიმდინარეობა ღუმელს გარეთ მთავრდება. აირადი H_2SiF_6 მინარევებისაგან გაწმენდის შემდეგ ვერტიკალურ კოშკში წყლით შთანთქმება და მიიღება ლზობის მეყავა (წყალბადფთორმეყავა) და სილიციუმფთოროვანი შეყავას ნარევი. ლზობის მეყავას გაწმენდისათვის ემატება სოდის მცირე რაოდენობა, რის შედეგადაც მიმდინარეობს რეაქცია



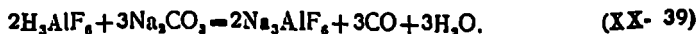
სილიციუმფთოროილული ნატრიუმი ილექება და ამ პროცესის შედეგად მიიღება გაწმენდილი ლზობის მეყავა.

II სტადია — ლზობის მეყავას მარილების წარმოება (Na_2AlF_6 , AlF_3 და NaF).

კრიოლიტის მისაღებად ლზობ მეყავას ხსნარს უმატებენ $\text{Al}(\text{OH})_3$ და Na_2CO_3 გარკვეულ რაოდენობას და კრიოლიტს ხარშავენ. უპირველესად მიიღება ფთორალუმინის მეყავა.



შემდგომ მიღებულ მეყავას სოდით ანიეიტრალბენ

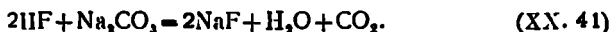


ამაგად, მიღებული კრიოლიტი (Na_3AlF_6) დაილექება, იფილტრება და შრება სპეციალურ როლებში.

ალუმინის ფთორიდის მიღებისათვის ლზობ მკაფას ნეიტრალიზაციას ალუმინის ჰიდროქსიდით აწარმოებენ



ნატრიუმის ფთორიდის მიღებისათვის ლზობ მკაფას ანეიტრალეზენ სოდის ხსნარით



ალუმინის ელექტროლიტური ხერხით მიღება. ამჟამად ალუმინის მიღება თიხამიწიდან ელექტროლიზის ხერხით ხორციელდება, სადაც ელექტროლიტად კრიოლიტ გამოიყენება. მისი დნობის ტემპერატურა $\sim 1020^\circ\text{C}$ შეადგენს, გამდნარ კრიოლიტში გახსნილია თიხამიწა. ელექტროლიტის დნობის ტემპერატურას დაბლა დასაწევად მაგნიუმისა და კალციუმის ფთორიდებსა (AlF_3 , CaF_2) და ნატრიუმის ქლორიდს (NaCl) უმატებენ, რომელთა საერთო რაოდენობაც 10% არ აღემატება.

ელექტროლიზის პროცესი ელექტროლიზერებში ხორციელდება, რომელთაც ალუმინის აბაზანებს უწოდებენ. ანოდებად ჩაშვებულია გრაფიტის ელექტროდი, ხოლო კათოდებად კი — გრაფიტის ქვედი და კედლები. მუდმივი დენის ვაკუის შედეგად მიმდინარეობს შენაერთების დისოციაცია — განსაკუთრებით თიხამიწის. აბაზანის ოპტიმალურ ტემპერატურას $950-970^\circ\text{C}$ შეადგენს. მუშა ძაბვა 4—4,5 ვ და დენის ძალა 75 კა. ელექტროლიტში თიხამიწა იხსნება მთელი კაზმის დაახლოებით 10 %-მდე. ალუმინი თავს იყრის ქვედზე, რომლის ზემოთაც ელექტროლიტია მოთავსებული. უანგბადი ანოდის ნახშირბადთან წარმოქმნის CO_2 , ქოლდება და გამოიყოფა ატმოსფეროში. ალუმინის ანოდება ჩვეულებრივ 3—4 დღე-ღამეში ერთხელ წარმოებს. ამგვარად, ელექტროლიზის პროცესი შესაძლოა წარმოვიდგინოთ შემდეგი ჯამური რეაქციებით



ამის შედეგად ძირითადად იხარჯება თიხამიწა და ელექტროდის ნახშირბადი. მიღებული პირველადი ალუმინი შეიცავს როგორც ლითონურ (Fe , Si , Cu , Zn და სხვ.), ისე არალითონურ (Al_2O_3 , C და სხვ.) მინარეებს. გარდა ამისა, მასში გახსნილია წყალბადის, აზოტის, უანგბადის, ნახშირბადის, ნახშირორბანისა და გოგირდის აირების გარკვეული რაოდენობა.

ამ მინარეგებ: საგან გაწმენდის მაზნით ახდენენ მიღებულ ალუმინის რაფინირებას.

ალუმინის რაფინირება. მიღებული პირველადი ალუმინის არალითონური მინარეებისაგან რაფინირებისათვის ძირითადად გამოიყენება მისი ხელახალი გადადნობა დახრილქვედიან ლუმლებში. ამ დროს შედარებით უფრო მძიმე მინარეების ნაწილაკები ქვედზე ილუქება, ხოლო ალუმინი გამოიწვევა ლუმლიდან.

აირების მოსაყვარებლად თხევად ალუმინს ქლორის აირით გააქრევენ.

ლითონური მინარეების მოცილება ანოდური გახსნის ხერხით წარმოებს, რომლის დროსაც ელექტროლიზის პროცესი გამოიყენება: აბაზანაში ანოდად ჩაშვებულა რაფინირებული ალუმინი, რომელიც მუდმივი დენის გავლით განუწყუტლავ იხსნება ელექტროლიტში. კათოდზე წარმოებს ალუმინის დალექვა, რის შედეგადაც მიიღება 99,99% სიუფთავის ალუმინი.

ბოლო წლებში დაიწყეს ელექტროლიზით მიღებული ალუმინის ზონური დნობით რაფინირება. ამისათვის ჩამოსხმება (15—20) ÷ (230—300) მმ ცეროები, რომლებიც შექმდომს გრაფიტის ფხვნილთან ერთად თავსდება კვარცის მილში, სადაც შეიქმნება ვაკუუმი. კვარცის მილის გარეთ მათავსებულა მალალი სიხშირის დენია რგოლური ინდუქტორი. ინდუქტორის შიგნით დნება ალუმინის 10—15 მმ გარკვეული ზონა; ღეროს სხვა ნაწილი მყარი რჩება. ინდუქტორი გადაადგილდება ღეროს გასწვრივ (1 მმ/წთ სიჩქარით), რომლის დროსაც იმავე სიჩქარით და მიმართულებით გადაადგილდება გამდნარი ალუმინის ზონაც. ამასთან შინარეები კონცენტრირდება თხევადი ალუმინის ზონაში და მასთან ერთად ღეროს ბოლოსაკენ გადაადგილდება. 10—15 ასეთი ოპერაციის ჩატარების შემდეგ ღეროს ამოიღებენ და მის ბოლოს ჩამოკრიბან (~80—100 მმ). დარჩენილი ალუმინის ნაწილის სისუფთავე 99,9999% აღწევს.

§ XX. 4. მაგნიუმის წარმოება

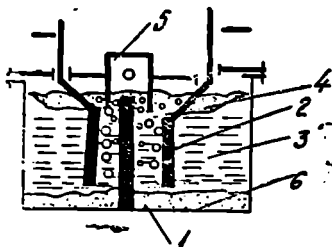
მაგნიუმი თეთრი მოვერცხლისფერო მსუბუქი ლითონია მკვეთრი ბზინვა რებით. სიმკვრივე 20°C შეადგენს 1,74 გ/სმ³, დნობის ტემპერატურა 651°C-ია, დუღილის ტემპერატურა 1120°C. ოთახის ტემპერატურაზე თხელი ეანგეულის აფსკის წარმოქმნის გამო მაგნიუმი მუქდება. 550—600°C პაერის ატმოსფეროში იწვის კაჟაჟა თეთრი სინათლით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება MgO და Mg₃N₂. გახურებისას იგი კარგად უერთდება აზოტს, გოგირდს, ქალოგენებსა და სხვ. არალითონებს.

ამჟამად ბუნებაში ცნობილია დაახლოებით 200-მდე მაგნიუმის შემცველი მინერალი: მაგნეზიტი MgCO₃, დოლომიტი MgCO₃·CaCO₃, ბიზოფიტი MgCl₂·6H₂O, კარნალიტი KCl·MgCl₂·2H₂O, კიზერიტი MgSO₄·H₂O და სხვ. ლითონური მაგნიუმი ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ტექნიკის შრავალ დარგში: სასიგნალო და გამანათებელ რაკეტებში, საავიაციო ამწებ ყუბარებში, ნიკელისა და მისი ზოგი შენადნობების განეანგვისა და განგოგირდებისათვის, ძნელად აღსადგენ ლითონების მისაღებად (ტიტანი, ვანადიუმი და სხვ.), თუჯისა და ფოლადის განგოგირდებისათვის, მაღალი სიმტკიცის თუჯის მისაღებად, ფოტოგრაფირების პროცესში და სხვ.

სუფთა სახით ლითონური მაგნიუმი დიბალი სიმტკიცის გამო კონსტრუქციებში არ გამოიყენება. მაგნიუმის შენადნობები ხასიათდება დიბალი კუთრი წონით და მაღალი მექანიკური თვისებებით. განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მაგნიუმისა და ალუმინის შენადნობებს, რომელთა მექანიკური თვისებები დურადეუმის უახლოვდება. მაგნიუმის შენადნობი ალუმინის შენადნობთან შედარებით 30%-მდე ამცირებს დეტალების წონას. ზოგიერთი შენადნობი შეიცავს ლითიუმს, ბერილიუმს, კალციუმს, ტიტანს, ტყვიას, კალას, ცირკონიუმს, ვერცხლსა და სხვ ზოგიერთი მათგანი მკვეთრად ზრდის მხურვალმედეგობას. მასში მანე შინარეებდად ითვლება რკინა, სპილენძი, სილიციუმი და ნიკელი, რომლებიც დაბლა წევენ კოროზიულ მედეგობასა და მექანიკური თვისებებს.

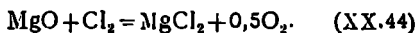
მაგნიუმის შენადნობი დამუშავების სახის მიხედვით არის სამსხველო და დასამუშავებელი.

მაგნიუმის მიღება. თანამედროვე ტექნიკაში მაგნიუმის მიღება გამდნარი მაგნიუმის ქლორიდების ელექტროლიზით წარმოებს. ელექტროლიზის დნობის ტემპერატურის დაწვეისა და ელექტროგამტარობის გაზრდის მი-

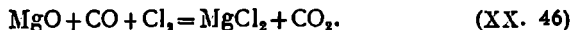


ახ. XX. 3. მაგნიუმის წარმოების ელექტროლიზურის ქვეშა

ზნით მასში შეჰყავთ NaCl CaCl_2 და KCl . ამგვარად, ელექტროლიზისათვის აუცილებელია მაგნიუმის ქლორიდის არსებობა. ამჟამად მისი მიღება მაგნიუმის ქანვის ქლორირებით წარმოება კარნალიტიდან წყლის გამოცლით. მაგნიუმის ქანვის ქლორირება $500-700^\circ\text{C}$ მიმდინარეობს



ნახშირბადის არსებობის შემთხვევაში პროცესი იოლდება



მაგნიუმის ქანვის ქლორირება სპეციალურ ქაშვურ ელექტროლუმბებში მიმდინარეობს, სადაც სითბო კაშვში არსებული ნახშირის ბრეკეტების არსებობით გამოიყოფა. ქლორი მიეწოდება გახურებული ნახშირის ბრეკეტებს. მაგნიუმის ქლორიდი თავს იყრის ღუმლის ქველზე, საიდანაც იგი პერიოდულად გამოიშვება.

XX.3 ნახაზზე მოცემულია მაგნიუმის ელექტროლიზურის სქემატური გამოსახულება. ანოდად გამოყენებულა გრაფიტის ფირფიტა 1, კათოდად—ფოლადის ფირფიტა 2. რადგანაც მაგნიუმის კუთრი წონა გაცილებით მცირეა ვიდრე ელექტროლიტისა 3, ამიტომ იგი ამოტივტივდება და თავს იყრის მის ზედაპირზე 4. ამასთან, წარმოებს ქლორის გამოყოფაც. ქლორისა და წარმოქმნილი მაგნიუმის ურთიერთქმედების თავიდან აცილების მიზნით ელექტროლიზურის ზემოთ მოთავსებულია სპეციალური გამყოფი დიაფრაგმა 5. აბაზანის ქველზე თავს იყრის შლამი 6. მაგნიუმის მოხდა დღე-ღამეში ერთხელ წარმოებს. ამისათვის ელექტრული გახურების ვაკუუმური ციციხეები გამოიყენება მიღებული მაგნიუმი შეიცავს მინარევეს (Fe , Na , K , CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , KCl და MgO), რის გამოც აწარმოებენ მის რაფინირებას ფლუსის ქვეშ გადაღობით ან გამოხდით. რაფინირებული მაგნიუმი სამსხველო მანქანებზე შოთებად ჩამოსხმება.

გარდა აღნიშნულისა, ბოლო წლებში სამსხველო მაგნიუმს იღებენ მისი ქანგეულებისაგან აღდგენის ხერხით. აღდგენა ნახშირბადით, სილიციუმით ან CaCl_2 -ით წარმოებს.

§ XX. 5. ტიტანის წარმოება

ტიტანი მიეკუთვნება ბუნებაში ფართოდ გავრცელებულ ელემენტებს. მიწის ქერქში მისი შემცველობა $0,6\%$ შეადგენს.

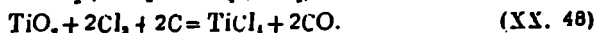
სუფთა ტიტანი ხასიათდება მაღალი მექანიკური თვისებებით, კოროზიული მდგომარეობით, მურვალქვედვობითა და მცირე სიმკვრივით ($4,5 \text{ მ/სმ}^3$). მისი დნობის ტემპერატურა 1630°C აღწევს, დუღილისა კი 3000°C . ტიტანი აქტიურად შთანთქავს წყალბადს, აზოტსა და ქანგბადს, რომლებიც ანიჭებენ მას მსხვერვალობას. ჰაერზე ჩველებრივი ტემპერატურისას იგი ფერს არ იცვლის. გავარჯარების შემთხვევაში წარმოიქმნება ტიტანის ქანგისა Ti_2O_3 და ნიტრიდის TiN ნაერთი. მაღალ ტემპერატურაზე ტიტანი აქტიურად რეაგირებს ნახშირბადთან, სილიციუმთან, ფოსფორთან, გოგირდსა და სხვ. მდგრადია

ზღვის წყლებში, აზოტმტავაში, ტენიან ქლორში, მძლავრ ტუტეებსა და სხვ. ტუტეების მრავალ დარგში ტიტანი გამოიყენება როგორც საკონსტრუქციო მასალა, მაგალითად, თვითმფრინავთმშენებლობაში, რაკეტულ მშენებლობაში, ხელსაწყოთმშენებლობაში, აჭრეოვე კონცენტრირებული აზოტისა და განზავებული გოგირდმჟავის ტრანსპორტირების და რეზერვუარების დასამზადებლად.

ამჟამად ცნობილია ტიტანის შემცველი მინერალების 60 სახეობაზე მეტი. მაგრამ ტიტანის წარმოებისათვის ძირითად მინერალებს წარმოადგენს რუტილი TiO_2 და ილმენიტი $FeTiO_3$. უფრო ნაკლები მნიშვნელობა გააჩნია $CaTiO_3$ —პეროკსიტს, $(Ca, Cl) \cdot (Ti, Fe) \cdot O_2$ —ენოპიტსა და სხვ. განსაკუთრებული გავრცელება პოვა ილმენიტის კონცენტრატმა, რომელიც მიიღება რკინის ტიტან-მაგნეტიტური მადნის გამოადრებით. კონცენტრატი ძირითადად შედგება: $40-45\% TiO_2$, $\leq 30\% FeO$, $\leq 20\% Fe_2O_3$ და $5-7\%$ ფუჭი ქანებისაგან. ეს უქანასკნელი შეიცავს CaO , MgO , Al_2O_3 და SiO_2 .

ტიტანის მიღება ა. როგორც აღინაშნა, ტიტანის მისაღებად ძირითადად ილმენიტის კონცენტრატისაგან ხდება. გარდა ამისა, გამოიყენება ელექტროლუქებში გამოდნობილი ტიტანის შემცველი თუჯის წილები, რომელთა შედგენილობაშია $70-80TiO_2$.

კაზნის წინასწარ ფხვნიან, აურევენ და ნახშირთან ერთად ზრეკების სახით $< 600^\circ C$ უქაეროდ პრესავენ, რომლებიც შემდგომ ვერტიკალურ ქაშვურ ელექტროლუმებში განიცდიან ქლორირებას



ტიტანის ტეტრაქლორიდი მიიღება ორთქლის სახით. მასთან ერთად აირში გადადის სხვა ქლორიდებიც $SiCl_4$, $FeCl_3$ და ა. შ. შათვან ტიტანის ტეტრაქლორიდს გამოყოფენ რაკტიფიკაციის ბერხით, ე. ი. დულილის ტემპერატურაზე სხვაობის გამოყენებით. მიღებულ $TiCl_4$ შემდგომ ალადგენენ ლითონურ მანგიუმით



მიღებული ტიტანის მყარი ნაწილაკები შეაქვთ მასალად—დრუბლად. დარჩენილ თავად $MgCl_2$ სპეციალური კარიბჭის მეშვეობით დუშლადან უშვებენ. ტიტანის ღრუბელი მასში დარჩენილი $MgCl_2$ მოსაღიღებლად განუკის ვაკუუმში დარტულიანება. გასუფთავებულ ტიტანის ღრუბელს გადაადნობენ ვაკუუმურ რკალურ ელექტროლუქებში. ელექტროლად გამოიყენება გრაფიტი ან თვით გადასადნობი ტიტანის ღრუბები. ამის შედეგად მიიღება $99,7\%$ სისუფთავის ტიტანი.

უფრო მეტად გასუფთავების მიზნით გამოიყენება ე. წ. იოდიური მეთოდი, რომლის დროსაც ვიილება TiI_4 . ამ მიზნით ტიტანის ღრუბელს ათავსებენ სპეციალურ რეტორტაში, რომელიც მოთავსებულია თერმოსტატში $100-200^\circ C$ ტემპერატურაზე. რეტორტაში სპეციალური საზარჯებით იოდის ამპულას ტეხავენ. ამასობაში რეტორტაში მოთავსებულ ტიტანის მავთულებში ატარებენ დენს, რის შედეგადაც იოდის ხურდება $1300-1400^\circ C$ -მდე. იოდის ორთქლი ურთიერ თქმელებს ტიტანის ღრუბელთან რეაქციით



მიღებული TiI_4 იშლება გაუარკარებელი ტიტანის მავთულთან შეხებისთანავე და წარმოიქმნება სუფთა ტიტანის კრისტალები და თავისუფალი იოდი. ამგვარად მიიღება $99,99\%$ სისუფთავის ტიტანი.

ლიტერატურა

1. იაკობაშვილი ს. ბ. შედეგებს პროცესების თეორია. თბილისი, „განათლება“, 1979.
2. Башенко В. В. Электроннолучевые установки. Л. «Машиностроение», 1972.
3. Бигеев А. М. Металлургия стали. М., «Металлургия», 1977.
4. Ванюков А. В., Зайцев В. Я. Теория пирометаллургических процессов. М., «Металлургия», 1973.
5. Вегман В. Ф. и др. Металлургия чугуна. М., «Металлургияиздат», 1978.
6. Воскобойников В. Г. и др. Общая металлургия. М., «Металлургия», 1979.
7. Воскобойников В. Г., Макаров Л. П. Технология и экономика переработки ископаемых, М., «Металлурия», 1977.
8. Гольдштейн Н. Л. Краткий курс теории металлургических процессов. Св., Металлургияиздат, 1961.
9. Егоров А. В., Моржин А. Ф. Электрические печи. М., Металлургия, 1975.
10. Еднерал Ф. П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Изд. 4-е, М., «Металлургия», 1977.
11. Есня О. А. Гельд П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. I—II. М., Металлургияиздат, 1962—1966.
12. Ефименко Г. Г. и др. Металлургия чугуна. К., «Выша школа», 1981.
13. Жуховицкий А. А., Шварцман Л. А. Краткий курс физической химии. М., «Металлургия», 1979.
14. Лакомский В. И. Плазменно-дуговой переплав. К., «Техника», 1974.
15. Латаш Ю. В., Медовар Б. И. Электрошлаковый переплав. Под ред. акад. Б. Е. Патона, М., «Металлургия», 1970.
16. Линчевский Б. В. и др. Металлургия черных металлов. М., «Металлургия», 1980.
17. Линчевский Б. В. Вакуумная металлургия стали и сплавов. М., «Металлургия», 1970.
18. Ойкс Г. Н., Иоффе Х. М. Производство стали. М., «Металлургия», 1975.
19. Поволоцкий Д. Я. и др. Электрометаллургия стали и ферросплавов. М., «Металлургия», 1974.
20. Свечанский А. Д., Смелянский М. Я. Электрические промышленные печи. Ч. II. Дуговые печи. М., «Энергия», 1970.
21. Свойства жидких доменных шлаков. Справочные пособия. М., «Металлургия», 1975.
22. Севрюков Н. Н. и др. Общая металлургия. Изд. 3-е, М., «Металлургия», 1976.
23. Севрюков Н. Н. Металлургия цветных металлов. М., «Металлургия», 1969.
24. Строганов А. Н., Рыс М. А. Производство стали и ферросплавов. М., «Металлургия», 1979.
25. Фарнасов Г. А. и др. Плазменная плавка. М., «Металлургия», 1968.
26. Филиппов С. И. Теория металлургических процессов. М., «Металлургия», 1967.
27. Явойский В. И. и др. Металлургия стали. М., «Металлургия», 1973.
28. Явойский В. И. Теория процессов производства стали. М., «Металлургия», 1963.
29. Якобашвили С. Б. Поверхностные свойства сварочных флюсов и шлаков. К., «Техника», 1970.

| | |
|---|----|
| შესავალი | 9 |
| პირველი ნაწილი | |
| მეტალურგიული პროცესების ფიზიკურ-ქიმიური საფუძვლები | |
| I თავი. ქიმიური თერმოდინამიკის ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები | 7 |
| § I. 1. თერმოდინამიკის პირველი კანონი | 7 |
| § I. 2. ჰესის კანონი და რეაქციის თბური ეფექტის გამოთვლა | 10 |
| § I. 3. თბოტევადობა | 12 |
| § I. 4. თერმოდინამიკის მეორე კანონი და მისი მათემატიკური გამოსახულება | 14 |
| § I. 5. იზოტროული და იზობარული პოტენციალები, მაქსიმალური მუშაობა | 15 |
| II თავი. ქიმიური წონასწორობა | 18 |
| § II. 1. მოქმედ მასათა კანონი | 18 |
| § II. 2. რეაქციების მაქსიმალური მუშაობა და წონასწორობის მუდმივა | 20 |
| § II. 3. წონასწორობის მუდმივის არაპირდაპირი განსაზღვრა | 23 |
| § II. 4. ფაზათა კანონი | 24 |
| § II. 5. ლე შატელეს პრინციპი | 25 |
| § II. 6. ნივთიერებათა აქტივობა და აქტივობის კოეფიციენტი | 27 |
| III თავი. წვის თერმობის ზოგადი საფუძვლები | 28 |
| § III. 1. ნახშირჟანგის წვა | 28 |
| § III. 2. წყალბადის წვა | 31 |
| § III. 3. წყლის ორთქლის წარმოქმნის რეაქციის წონასწორობა | 32 |
| § III. 4. C—CO ₂ -ის ურთიერებები | 33 |
| § III. 5. ნახშირბადის წვის რეაქციის წონასწორობა | 37 |
| § III. 6. წვის პროცესების კინეტიკა | 38 |
| IV თავი. შენეირების თერმული დისოციაციის და წარმოქმნის პროცესები | 41 |
| § IV. 1. ენგულუმების მდგრადობის რაოდენობრივი მახასიათებლები | 41 |
| § IV. 2. რკინის ენგულუმების გარდაქმნები და რკინა-ენგულუმის სისტემის მდგრადობის დიაგრამა | 46 |
| § IV. 3. კარბონატების წარმოქმნა და დისოციაცია | 52 |
| V თავი. ენგულუმების აღდგენის თერმობის საფუძვლები | 59 |
| § V. 1. ზოგადი წარმოდგენები | 59 |
| § V. 2. მყარი ნახშირბადით, ნახშირჟანგითა და წყალბადით ენგულუმების აღდგენის პროცესის თერმოდინამიკა | 60 |
| § V. 3. ენგულუმის ლითონთერმული აღდგენა | 63 |
| § V. 4. რკინის ენგულუმების აღდგენის რეაქციების თერმოდინამიკა | 65 |
| § V. 5. რთულ სისტემებში ენგულუმების აღდგენის პროცესი | 70 |
| § V. 6. რკინის ენგულუმების აღდგენის ნექანოზში და კინეტიკა | 71 |
| VI თავი. მეტალურგიული წილების ბუნება | 75 |
| § VI. 1. წილების როლი მეტალურგიაში | 75 |
| § VI. 2. წილების შედგენილობა და აღნაგობა | 75 |
| § VI. 3. თანამედროვე შეხედულებანი გამდნარი წილების აღნაგობაზე | 77 |
| § VI. 4. გამდნარი წილების ფიზიკური თვისებები და ზედაპირული მოვლენები | 79 |
| § VI. 5. წილების ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზი | 85 |
| მეორე ნაწილი | |
| თუქვის მეტალურგია | |
| VII თავი. სპეზმე მახალები და მათი მომზადება | 88 |

| | | |
|------|--|-----|
| | § VII. 1. რკინის მადნების კლასიფიკაცია და ზოგადი დახასიათება | 85 |
| | § VII. 2. საბჭოთა კავშირის ძირითადი რკინის საბადოები | 93 |
| | § VII. 3. მანგანუმის მადნები და მათი ძირითადი საბადოები | 95 |
| | § VII. 4. წარმოების ნარჩენები და მდნობები | 97 |
| | § VII. 5. ბრძმედში გამოყენებული საბზობი და მისი დახასიათება | 98 |
| | § IV. 6. დნობისთვის მადნის წინასწარი მოზადება | 101 |
| | § VII. 7. მადნის დანაკროვნების ძირითადი მეთოდები | 112 |
| VIII | თავი. ბრძმედის აგებულება | 119 |
| | § VIII. 1. ბრძმედის პრდფილი | 119 |
| | § VIII. 2. ბრძმედის საძირკველი და ლორფინი | 122 |
| | § VIII. 3. ბრძმედის ამონაგი | 123 |
| | § VIII. 4. ჩამტვირთი აპარატი და საკერძეში კაზმის განწილება | 125 |
| IX | თავი. ბრძმედული პროცესი | 129 |
| | § IX. 1. ნედლი მასალებიდან ტენისა და აქროლდების მოცრლება. კარბონატების დამლა | 129 |
| | § IX. 2. ბრძმედში რკინის ეანგეულების აღდგენის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები | 130 |
| | § IX. 3. ბრძმედში მამდნარე აღდგენითი პროცესები | 133 |
| | § IX. 4. ბრძმედში თუჯის დესულფურაცია | 139 |
| | § IX. 5. ბრძმედში თუჯისა და წილის წარმოქმნა | 143 |
| X | თავი. ბრძმედში მამდნარე წვის პროცესები და დნობის პროდუქტები | 146 |
| | § X. 1. ქურაში მამდნარე პროცესები | 146 |
| | § X. 2. ბრძმედის სიმადლესა და განიკვეთში აირების, ტემპერატურის, შედგენილობის, რაოდენობისა და წნევის ცვლილება | 149 |
| | § X. 3. ბრძმედის პროდუქტები | 152 |
| XI | თავი. საბრძმედე საამქრო და მისი მოწყობილობა | 157 |
| | § XI. 1. საბრძმედე საამქროს გეგმა | 157 |
| | § XI. 2. ნედლი მასალების საწყობი და ბრძმედში კაზმის მიწოდება | 159 |
| | § XI. 3. ბრძმედის საამქროს პერსაბერი მოწყობილობა | 161 |
| | § XI. 4. საბრძმედე საამქროდან თუჯისა და წილის გამოტანა | 163 |
| XII | თავი. ბრძმედის მუშაობა, მისი რეგულირება და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები | 165 |
| | § XII. 1. ბრძმედის ამუშაება | 165 |
| | § XII. 2. ბრძმედული პროცესის წარმართვა და კონტროლი | 167 |
| | § XII. 3. ბრძმედული პროცესის ატრომატიზაცია | 168 |
| | § XII. 4. ბრძმედის ჩაქრობა და რემონტი | 169 |
| | § XII. 5. საბრძმედე საამქროს წყლითა და ორთქლით მომარაგება | 171 |
| | § XII. 6. ბრძმედული დნობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები | 171 |
| | § XII. 7. კოქსის ხარჯის განსაზღვრა | 173 |
| | § XII. 8. ბრძმედული დნობის მატერიალური და თბური ბალანსი | 174 |
| | § XII. 9. ბრძმედული წარმოების განვითარების პერსპექტივები | 175 |
| | § XII. 10. რკინის ბრძმედგარეშე მიღება | 177 |
| | მესამე ნაწილი | |
| | ფოლადის მტკალოურგია | |
| XIII | თავი. ზოგადი მიმოხილვა | 181 |
| | § XIII. 1. ფოლადის წარმოების განვითარების მოკლე ისტორია | 181 |
| | § XIII. 2. ფოლადის ძირითადი თვისებები, გამოყენება და კლასიფიკაცია | 183 |
| | § XIII. 3. ფოლადისდნობი პროცესების ძირითადი რეაქციები | 186 |
| | § XIII. 4. აირი ფოლადში | 198 |
| | § XIII. 5. ფოლადში არალითონური ჩანარები | 203 |

| | | |
|-------|--|-----|
| | § XIII. 6. ფოლადის განეახვა | 206 |
| | § XIII. 7. ფოლადის ლეგირება | 209 |
| XIV | თ ა ვ ი. ფოლადის კონვერტერული წარმოება | 210 |
| | § XIV. 1. ბესემერის პროცესი | 211 |
| | § XIV. 2. ბესემერის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი | 217 |
| | § XIV. 3. თომასის პროცესი | 218 |
| | § XIV. 4. თომასის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი | 221 |
| | § XIV. 5. ეანგბად-კონვერტერების აღნაგობა და თავისებურებანი | 222 |
| | § XIV. 6. ეანგბად-კონვერტერული პროცესი | 227 |
| | § XIV. 7. გვერდითი გაქრევის კონვერტერული პროცესი (მცირე ბესემერება) | 230 |
| | § XIV. 8. უხვფოსფორიანი თუჯის გადამუშავების მეთოდები | 233 |
| | § XIV. 9. კონვერტერული პროცესის ავტომატიზაცია და დნობის კონტროლი | 236 |
| XV | თ ა ვ ი. ფოლადის წარმოება მარტენის ლუმელში | 237 |
| | § XV. 1. მარტენის ლუმლის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი | 237 |
| | § XV. 2. მარტენის პროცესის ნედლი მასალები | 241 |
| | § XV. 3. მარტენის ლუმლის საბოლოოები | 243 |
| | § XV. 4. მარტენის პროცესის ნაირსახეობა | 244 |
| | § XV. 5. ეანგბადით მარტენის პროცესის ინტენსიფიკაცია | 258 |
| | § XV. 6. თბური რეჟიმის ავტომატური რეგულირება | 259 |
| | § XV. 7. მარტენის პროცესის მატერიალური და თბური ბალანსი | 261 |
| | § XV. 8. მარტენის საამქროს აღწერილობა | 264 |
| | § XV. 9. სსრ კავშირში მარტენის პროცესის პერსპექტივები | 266 |
| XVI | თ ა ვ ი. ფოლადის წარმოება ელექტრორკალურ და ინდუქციურ ლუმლებში | 269 |
| | § XVI. 1. ელექტრორკალური ლუმლების დახასიათება | 269 |
| | § XVI. 2. ფოლადსაღნობ ელექტროლუმლების კონსტრუქცია და კვანძები | 270 |
| | § XVI. 3. ელექტროდნობისათვის მასალების მომზადება | 277 |
| | § XVI. 4. ფოლადის დნობა ფუქე ელექტრორკალურ ლუმლებში | 278 |
| | § XVI. 5. ფოლადის დნობა ზევე ელექტრორკალურ ლუმლებში | 282 |
| | § XVI. 6. ფოლადის დნობა ინდუქციურ ლუმლებში | 284 |
| XVII | თ ა ვ ი. მაღალხარისხოვანი ფოლადების წარმოება | 289 |
| | § XVII. 1. ზოგადი მიმოხილვა | 289 |
| | § XVII. 2. თხევადი ლითონის ეკუთვნი და მუშავება | 289 |
| | § XVII. 3. ინერტული აირებით ლითონის გაქრევა | 294 |
| | § XVII. 4. თხევადი ლითონის სინთეზური წილებით რაფინირება | 295 |
| | § XVII. 5. ეკუთმურ ლუმელში ფოლადის წარმოება | 297 |
| | § XVII. 6. ელექტროწილური დნობით ფოლადის წარმოება | 303 |
| | § XVII. 7. პლაზმურ-რკალური დნობის ფოლადის წარმოება | 307 |
| XVIII | თ ა ვ ი. ფოლადის ჩამოსხმა და გამყარება | 310 |
| | § XVIII. 1. ფოლადის ჩამოსხმის მეთოდები | 310 |
| | § XVIII. 2. ფოლადის ჩამოსხმის ტექნოლოგია | 316 |
| | § XVIII. 3. მშვიდი და მღვდარე ფოლადების ჩამოსხმის თავისებურებანი და სხმულის აღნაგობა | 321 |
| | § XVIII. 4. ფოლადის ზოდის ქიმიური არაერთგვაროვნობა | 323 |
| | § XVIII. 5. ფოლადის ზოდის დეფექტები | 325 |
| | მეთოხე ნაწილი | |
| XIX | თ ა ვ ი. ფეროშენადნობების წარმოება | 327 |
| | § XIX. 1. ფეროშენადნობების წარმოების მეთოდები | 327 |
| | § XIX. 2. ფეროშენადნობების ლუმლების ზოგადი დახასიათება და კონსტრუქციის ელემენტები | 330 |
| | § XIX. 3. ფეროშენადნობების წარმოება | 334 |

რედაქციის გამგე ე. ანდლუღაძე
რედაქტორი პ. ლაბარტყავა
სამბატერო რედაქტორი ო. მესხი
ტექნიკური რედაქტორი თ. შანჭგაღაძე
უფროსი კორექტორი ნ. ქაფიანიძე
კორექტორი ი. შანჭგაღაძე
გამომცემი ლ. ჯაბარაშვილი

ИБ № 3039

გადაეცა ასაწყობად 15. 10. 86, ხელმოწერილია ოსაბეჭდად 7. 10. 87, ქაღალდის
ზომა 70×100/16, საბეჭდი ქაღალდი № 2, გარნიტურა ეენა, ბეჭდვა მაღალი,
ნაბეჭდი თაბახი 23,75, პირობითი ნაბეჭდი 30,88, პირობითი საღებავგატარება 31,04,
საღებავის ხარისხი 2000

უკ 14061

ტოლი 2 000
ფახი 1 შან. 10 კაპ.

შეკვ. № 240

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, ორჯონიკიძის ქ. № 50.
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Орджоникидзе, № 50

1987

სპი-ს სტამბა, თბილისი, ლენინის ქ. № 77
Типография ГПИ, Тбилиси, ул. Ленина № 77