

ვ. კლდიაშვილი, ა. ლომაშვილი

ელექტრომეტალურგიის საფუძვლები

განხილული და რეკომენდებულია
სს “ქართული ფოლადის” ტექნიკური
საბჭოს მიერ. ოქმი N5, 14.07.2009 წ.

თბილისი
2009

დამხმარე სახელმძღვანელო დაეხმარება ელექტროფოლადსადნობ კომპლექსის მუშაობას პროფესიულ დაოსტატებასა და კვალიფიკაციის ამაღლებაში. აგრეთვე ამ წიგნით შეიძლება დაინტერესდნენ მეტალურგიული ფაკულტეტისა და მონათესავე სპეციალობების სტუდენტები. ქართულ ენაზე მსგავსი ლიტერატურა პრაქტიკულად არ არსებობს, ამიტომ ეს წიგნი დაზღვეული არ იქნება ნაკლოვანებებისაგან. ავტორები მადლიერებით მიიღებენ და გაითვალისწინებენ შენიშვნებს ამ ნაშრომის შემდგომი სრულყოფისათვის.

აღსანიშნავია ის დიდი დახმარება და ყურადღება, რაც ამ ნაშრომის წიგნად გამოცემისას გავეწიეს სს 'ქართული ფოლადის' გენერალურმა დირექტორმა ბატონმა გივი გვიგინიშვილმა და ინოვაციებისა და განვითარების დირექტორმა, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორმა, ბატონმა მიხეილ ჯანიკაშვილმა.

ავტორები მადლიერებით აღნიშნავენ, რომ წიგნის ელექტრონული ვერსიის შედგენაში აქტიური მონაწილეობა მიიღეს სს 'ქართული ფოლადის' თანამშრომლებმა. ქალბატონებმა ელენორა ჩაფიძემ და ნინო ტაბიძემ.

პროფესორ ა. გაბისიანის საერთო რედაქციით

რეცენზენტები: ტექნ. მეცნ. დოქტორი ს. ყურაშვილი
ტექნ. მეცნ. დოქტორი მ. მიქაუტაძე

© საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2009

ISBN 978-9941-14-779-1

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთ ნაწილს (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოუყენებულ იქნას გამოცემის წესობისათვის ნებასთუთა გარეშე.

საუბრო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



Verba volant,
scripta manent

საქართველოში მეტალურგიული წარმოების ბანკოტარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

ისტორიულ ჭეშმარიტებას წარმოადგენს ის გარემოება, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე რკინის გამოდნობას და მისგან სხვადასხვა დანიშნულების ნაკეთობათა დამზადებას ახორციელებდნენ არანაკლებ 2500 წლის წინათ. მრავალრიცხოვანი არქეოლოგიური გათხრები და ამ დროს ნაპოვნი რკინის და სხვა ლითონთა ნაკეთობანი გვიჩვენებენ, რომ საქართველო წარმოადგენს მეტალურგიული წარმოების ერთ-ერთ უძველეს ქვეყანას. საყოველთაოდ აღიარებულ ფაქტს წარმოადგენენ ძველ ბერძენ ისტორიკოსთა მრავალრიცხოვანი მტკიცებები იმის შესახებ, რომ ძველი ქართველი ტომების: ხალიბების, მესხების, ლაზების და სხვათა ძირითად საქმიანობას წარმოადგენდა რკინის, სხვა ლითონთა გამოდნობა და ამითგან როგორც სამეურნეო, ისე სამხედრო დანიშნულების ნაკეთობათა დამზადება. ნათქვამის თვალსაზირო დადასტურებას წარმოადგენს ის, რომ მატერიალური კულტურის რკინისაგან დამზადებული ძეგლების და საგნების გარდა, ქართულ ენაში არსებული ლითონების თითქმის ყველა სახელწოდება ნაციონალური წარმოშობისაა, მაშინ როდესაც ევროპის და მსოფლიოს სხვა რეგიონების ხალხთა ენებში ლითონების სახელწოდებანი უმეტეს შემთხვევაში “ინტერნაციონალურია” - არაევროპული წარმოშობისანი არიან.

რკინის ნაკეთობათა დამზადების ხელოსნობამ საქართველოში განსაკუთრებულ განვითარებას მიაღწია მე-11, მე-12 საუკუნეებში. საყოველთაოდ აღიარებულ ისტორიულ ფაქტს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ აღნიშნულ პერიოდში საქართველოს ლაშქარი შეიარაღებული იყო მაღალხარისხოვანი ფოლადის ხმლებით, შუბებით, ჯაგუნით და სხვა სახის სამხედრო აღჭურვილობით. ნათქვამის უტყუარი დამადასტურებელია ის მატერიალური კულტურის და ლიტერატურის უნიკალური ძეგლები, რომელთა რაოდენობა და მნიშვნელობა ნებისმიერი ცივილიზებული ერის ისტორიას დაამშვენებდა. ამ ძეგლთა რიცხვს მიეკუთვნება გენიალური შოთა რუსთაველის “ვეფხისტყაოსანი”. უკედავი პოემის გამრები შეიარაღებული არიან უმაღლესი კლასის ფოლადის ხმლებით და სხვა იარაღით, რომელნიც

გამორჩევიან განსაკუთრებული თვისებებით, ჭრის უნარით, მოპირკეთების დონით და ხარისხით. ეს გარემოება კი იმაზე მიუთითებს, რომ ისტორიის აღნიშნულ პერიოდში საქართველოში კარგად იყენენ დაუფლებული არა მარტო რკინის და ფოლადის გამოდნობის ტექნოლოგიას, არამედ საკმაოდ მაღალ დონეზე იდგა მათი მექანიკური და თერმიული დამუშავების საკითხიც.

საქართველოს ტერიტორიის პრაქტიკულად ყველა რეგიონში მრავლადაა გაბნეული წიდის ნაყარი, ქურების ნარჩენები, მადნების შემცველი დამუშავებული მთის ქანები და სხვა, რომელნიც მიგვანიშნებენ, რომ რკინის წარმოებას ჩვენში პქონდა საკმაოდ სოლიდური მასშტაბები და გავრცელება როგორც ბარის, ისევე მთის რეგიონებში.

მე-12 საუკუნის დასასრულიდან დაწყებულმა უცხოელ დამპყრობთა მრავალრიცხოვანმა შემოსევებმა გამოიწვიეს რკინის წარმოების პრაქტიკულად სრული განადგურება. ასეთივე ხვედრი ხედა წილად მსუბუქი და ფერადი ლითონების წარმოება-დამუშავებასაც, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ქართველი მეტალურგო-ხელოსნები საუკუნეების განმავლობაში თაობიდან თაობებს გადასცემდნენ რკინისა და ფოლადის ნაკეთობათა დამზადების და სხვადასხვა დანიშნულების საწარმოო ჩევეებს და “საიდუმლოებებს”.

მეცნიერების მიერ დადგენილია ძმების ელიზარაშვილების-ქართველი ხელოსნების-თანამშრომლობის ფაქტი ღიდ რუს მეტალურგთან პ.პ. ანოსოვთან მე-19 საუკუნის დასაწყისში ქ. ზლატაუსტის იარაღის დამამზადებელ ქარხანაში.

ამ თანამშრომლობის მაღალშედეგიანობის მაჩვენებელია ის, რომ პირველმა რუსმა ლითონმცოდნემ, რუსული ლითონმცოდნეობის მამამ, პ.პ. ანოსოვმა მეცნიერულად შეისწავლა, ამოხსნა და აღწერა ბულატის ფოლადის მიღებისა და დამუშავების ტექნოლოგია.

უდავოა

ძმების-ელიზარაშვილების მიერ გადაცემული “საიდუმლოებების” და გამოცდილების გაზიარების მნიშვნელობა რუსი მეცნიერის მოღვაწეობაში-ზლატაუსტის ქარხანაში ბულატის წარმოების დანერგვის საქმეში. ამ ფაქტს შეგნებულად ფარავენ თანამედროვე რუსი ტექნიკის ისტორიის მკვლევარები.

ზემოთაღნიშნული საწარმო-მეცნიერული თანამშრომლობის ფაქტის გარდა, საქართველოს სამეფოს რუსეთის იმპერიასთან შეერთებამ სტიმული მისცა ჩვენს ტერიტორიაზე განლაგებულ მეტალურგიულ საწარმოებს და სახელოსნოებს, რომელთა აღორძინება და დაფუძნება მჭიდროდ იყო დაკავშირებული ერეკლე II სახელთან და მოღვაწეობასთან.

კაპიტალიზმის განვითარებამ რუსეთის იმპერიაში გამოიწვია ის, რომ ახალი მეტალურგიული ქარხნის მშენებლობას აწარმოებენ არა მარტო ცენტრალურ რაიონებში, არამედ პერიფერიულ რეგიონებშიც, მათ შორის საქართველოშიც.

თანამედროვე მეტალურგიული ქარხნის პროტოტიპი შეიძლება ვუწოდოთ სოფელ ჩათახში მომუშავე თუჯსამსხმელო ქარხანას 50მ²-იანი ორი ბრძმედით, რომელიც ფუნქციონირებდა მე-20 საუკუნის 30-იან წლებამდე. ჩათახის ქარხნის ისტორია ტიპიურია ჩვენი რესპუბლიკის ტერიტორიაზე განლაგებული ფერადი და შავი მეტალურგიის საწარმოებისათვის, ჩათახის მეტალურგიული წარმოება განადგურებული იქნა 1795 წელს ალა-შამად-ხანის შემოსევის შედეგად. 1862 წელს ჩათახის ქარხანა აღდგენილ იქნა, მაგრამ უკვე 1875 წელს კვლავ გაჩერდა სათბობის და სახსრების უქონლობის გამო. ჩათახის მეტალურგიული ქარხანა აღდგენილ იქნა 1923 წელს და მუშაობდა 1927 წლამდე. დონბასისა და ქვეყნის სხვა რეგიონებში მძლავრ საწარმოთა მწყობრში ჩადგომის შემდეგ ჩათახის თუჯსამსხმელო ქარხნის მუშაობა ეკონომიურად გაუმართლებელი შეიქმნა.

საქართველოს ტერიტორიაზე თანამედროვე დიდმასშტაბიანი მეტალურგიული წარმოების განვითარებამ განაპირობა ჭიათურის მანგანუმის ბაზაზე აშენებულიყო თანამედროვე ფეროშენადნობების ქარხანა. წარმატებით დაგვირგინდა მშენებლების მეცადინეობა. 1933 წელს ზესტაფონის ფეროშენადნობების ქარხანამ გამოუშვა ქართული ფეროშენადნობის პირველი ტონები. ამ ღირსშესანიშნავი მოვლენის შემოქმედნი და სულისჩამდგამელნი იყვნენ ცნობილი ქართველი მეტალურგები გიორგი ნიკოლაძე და ნიკოლოზ ქაშაკაშვილი.

ამჟამად ზესტაფონის ფეროშენადნობების ქარხანა წარმოადგენს მაღალგანვითარებულ, თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილ საწარმოს, რომელიც მეტალურგიულ წარმოებას ამარაგებს ათასობით ტონა მაღალხარისხოვანი ფეროშენადნობებით, ფეროშენადნობით, სილიკომანგანუმით და სხვადასხვა დასახელების კომპლექსური შენადნობებით.

მე-20 საუკუნის 60-იან წლებში მწყობრში ჩადგა მადნეულის სპილენძის საბადო, რომლის პროდუქცია წარმოადგენს სპილენძისა და ოქროს წარმოების ძვირფას ნახევარფაბრიკატს.

რესპუბლიკის მძიმე ინდუსტრიის მომავალი ფლაგმანის, რუსთავის მეტალურგიული ქარხანის, მშენებლობა დაიწყო ჯერ კიდევ 1944 წელს, მაშინ როდესაც საბჭოთა ხალხი ამთავრებდა ქვეყნის მიწა-წყლის გათავისუფლებას ფაშისტი დამპრობლებისგან.

თავის სახელოვან ისტორიას რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა (ამჟამად სს „ქართული ფოლადი“) ითვლის 1950 წლის 27 აპრილიდან. ქართული თანამედროვე მეტალურგიის ამ ისტორიულ დღეს ფოლადის პირველი ნაღობი გამოუშვა მარტენის საამქრომ.

ფოლადის პირველი ნაღობის გამოშვების მომენტიდან სულ 50 წლამდე ხნის განმავლობაში მარტენის საამქრომ გამოუშვა 50 მლნ-მდე ტონა ფოლადი, რომელიც მოხმარდა სანათობე მიღების, სართო დანიშნულების მიღების, სქელი საამშენებლო ფურცელის, საშუალო სორტული ნაგლინის, საარმატურე ფოლადისა და ლითონკონსტრუქციის სხვა სახეობათა დამზადებას.

მიღების ზედაპირის ლითონდაფარვის საამქროს გაშვებით 1965 წელს დამთავრდა საწარმოს სრული ციკლის მშენებლობა. ამ მდგომარეობამდე ქარხანა ვითარდებოდა თანდათანობით, გეგმაზომიერად ზრდიდა რა ძირითად საამქროების და აგრეგატების საწარმოო სიმძლავრეებს.

ყველაზე ღირშესანიშნაე მოვლენებს ქარხნის ცხოვრებაში წარმოადგენდნენ, პირველი ქართული კოქსის (1954წ.), პირველი ქართული თუჯის (1954წ.), პირველი უნაკეირო მილის (1952-53წწ.), პირველი ფურცლის (1955წ.), პირველი არმატურის (1954წ.), პირველი უწყვეტი სხმულ-სლიაბის (1967წ) მიღების დღეები. ქარხნის ტექნიკური განვითარება ამ მოვლენებით არ შემოიფარგლება. მისი ტექნიკური გადაიარაღება და საამქროების რეკონსტრუქცია გაგრძელდება მომავალ წლებში. ქვემოთ მოყვანილია ქარხნის რეკონსტრუქციის ერთ-ერთი სქემის ზოგადი დახასიათება.

რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა, რომლის ერთიანი პროდუქცია შეადგენდა 250 მლნ მანეთზე მეტს წელიწადში, წარმოადგენდა სრული ციკლის საწარმოს, რომელიც სახალხო მეურნეობის სხედასხეა დარგებს ამარაგებდა და მრავალი დანიშნულების უნაკერო ფოლადის მიღებით, სორტული ნაგლინით, ცივადგლინეის მიღებით, არმატურის ფოლადით, ფართო მოხმარების პროდუქციით და სხ.

მე-20 საუკუნის 70-იანი წლების დამდეგს დაიწყო და თითქმის ამ საუკუნის პირველი ათეულის დასასრულამდე გაგრძელდება რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის ტექნიკური გადაიარაღების პროცესი. ამ დროისთვის საწარმოს მომავალი სახე განისაზღვრება ელექტროფოლადსაღნობი საამქროთი ერთი 50 ტონიანი რკალური ლუმლით და უწყვეტი ჩამოსხმის რადიალური

მანქანებით 0,5 მლნ-მდე ტონა ფოლადის ნამზადის წარმადობით წელიწადში, რეკონსტრუირებული მიღების დამამზადებელი საამქროებით, რომელნიც აღჭურვილი იქნებიან თანამედროვე დონის მაღალწარმადული აგრეგატებით, მოწყობილობებით, მანქანებით და დანადგარებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნავთობის სორტამენტის და მანქანათმშენებლობისათვის განკუთვნილი მაღალი სიმტკიცის მიღების და ლითონპროდუქციის სხვა სახეობათა წარმოებას საერთაშორისო და მათ შორის ამერიკული API-ს სტანდარტების მოთხოვნილებების შესაბამისად.

ქარხნის ტექნოლოგიური ციკლიდან ამოვარდებიან და გაუქმებულ იქნებიან შრომის მძიმე პირობების მქონე ისეთი საამქროები, როგორებიცაა ფოლად სადნობი მარტენული წარმოება, პირველი მომჭიმავე დგანი "1000", მილნამზადის დგანი „900/750“ თავიანთი დამხმარე საამქროებით, აგრეგატებით, უბნებით და სხ. ყოველივე ეს შესაძლებელს გახდის გამონათვისუფლდეს დიდი მოცულობის ძირითადი ფონდები, შრომითი და სათბობ-ენერგეტიკული რესურსები, გადაიქცეს რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა თანამედროვე მთლიანად ავტომატიზირებულ რენტაბელურ საწარმოდ, რომელიც ფართოდ გამოიყენებს მეტალურგიული პრაქტიკის მეცნიერულ-ტექნიკურ მიღწევებს. პარალელურად დადებით გადაწყვეტილებას მიიღებს რეგიონის ეკოლოგიური მდგომარეობის მრავალი საჭირობოროტო საკითხი და პრობლემა.

მიუხედავად იმისა, რომ ზემოთაღნიშნული საამქროები უახლოეს პერიოდში ლიკვიდირებულნი იქნებიან, ამჟამად ხორციელდება მრავალი ღონისძიება, რომელთა მიზანი და დანიშნულებაა პერსპექტულ წარმოებებში პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესება, შრომის პირობების გაუმჯობესება, პროგრესული ტექნოლოგიების დანერგვა, ახალი ტექნიკის და დანადგარების გამოყენება-ათვისება. ამ სიტყვების ხორცშესხმის უტყუარი მაგალითია ამჟამად მშენებლობის პროცესში მყოფი ელექტროფოლადსადნობი კომპლექსი 12 ტონიანი ოთხი ინდუქციური ელექტროლუმელით, ღუმელ-ციცხვისა და ფოლადის უწყვეტიჩამოსხმის მანქანის შემადგენლობით, რომელიც ექსპლოატაციაში შევა 2009 წლის ბოლოს და მაღალხარისხოვანი საკუთარი წარმოების ნამზადით მოამარაგებს სორტული გლინვის საამქროს.

1. ზოგიერთი ტექნიკური სიდიდე და შეზარდება

1.1 ტემპერატურული სკალები

ტემპერატურის გასაზომად იყენებენ სხეულების თვისებებს, რომელთა ცვალებადობა დამოკიდებულია უშუალოდ ტემპერატურისგან. საგნების ერთ-ერთი ასეთი თვისებაა მოცულობის შეცვლა ტემპერატურის გაზრდით, რაზედაც დამყარებულია სითხეების და აირების თერმომეტრების მოქმედება.

ტექნიკაში გამოიყენება რამოდენიმე ტემპერატურული სკალა, რომელთაგან ფართოდაა გავრცელებული ე.წ. საერთაშორისო ტემპერატურული სკალა, რომლის მიხედვით წყლის დუღილის ტემპერატურა ნორმალური წნევის პირობებში (ვერცხლისწყლის სვეტის სიგრძე 760 მმ, წყლის სვეტის სიგრძე 10000მმ) მიღებულია 100° -ის ტოლად, ხოლო ყინულის დნობის ტემპერატურა 0° -ს ტოლად, საერთაშორისო ასგრადუსიანი სკალის მიხედვით ტემპერატურა აღინიშნება "t" ასოთი და $^{\circ}\text{C}$ ნიშნით (C ასო წარმოადგენს ლათინური სიტყვის "centum"-ის პირველ ასოს, რაც ქართულად "ასს" ნიშნავს). მაგალითად ნულს ზევით 10° -ის აღსანიშნავად წერენ $t=10^{\circ}\text{C}$, ხოლო ნულს ქვემოთ 15° -ის $t = -15^{\circ}\text{C}$.

ასგრადუსიანი საერთაშორისო სკალის მიხედვით დაგრადუირებულ აირის თერმომეტრებს აქვთ თანაბარი დანაყოფები, ხოლო სითხის თერმომეტრებს აქვთ არათანაბარი დანაყოფები, ვინაიდან სითხეების თერმული გაფართოება ტემპერატურის ცვალებადობის არაპროპორციულია.

განსაზღვრული დროის განმავლობაში პრაქტიკაში გამოიყენებოდა ე.წ. ცელსიუსის ასგრადუსიანი სკალა, რომლის მიხედვით სითხის თერმომეტრის 0° და 100° წერტილებს შორის მანძილი დაყოფილია 100 თანაბარნაწილად.

ამიტომ, რომ ცელსიუსის სკალის მიხედვით განსაზღვრული ტემპერატურის მნიშვნელობები საგრძნობლად განსხვავდებიან ასგრადუსიანი საერთაშორისო სკალის ჩვენებებისგან გარდა იმისა, რომ წერტილისა: 0° და 100°

მეტალურგიულ პრაქტიკაში შედარებით ფართოდ გამოიყენებიან სითხის თერმომეტრები: ვერცხლის წყლის (-39° -მდე) და სპირტის (-114° -მდე ტემპერატურის გასაზომად).

ამერიკის შეერთებულ შტატებში და ევროპის მრავალ ქვეყანაში ფართოდ იყენებენ ე.წ. ფარენგეიტის სკალას, რომლის მიხედვით ცინულის დნობის ტემპერატურა ტოლია + 32° F

ფარენგეიტის სკალიდან ასგრადუსიან სკალაზე და პირიქით ტემპერატურის მნიშვნელობის გადაყვანა-გადანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულებით:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{C});$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (t^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{F});$$

სადაც - t[°]C არის გრადუსების რიცხვი ასგრადუსიანი სკალით;

t[°]F არის გრადუსების რაოდენობა ფარენგეიტის სკალით.

ფიზიკური ქიმიაში გამოიყენება ტემპერატურის აბსოლუტური სკალა, რომლის მიხედვით ცინულის და წყლის დუღილის წერტილებს შორის მანძილი დაყოფილია 100 ნაწილად, მაგრამ ნულოვანი გრადუსის აღმნიშნელი წერტილი მდებარეობს 273 (უფრო ზუსტად 273,16) დანაყოფით ქვემოთ ცინულის დნობის წერტილიდან.

აბსოლუტური სკალის მიხედვით გაზომილ ტემპერატურას აღნიშნავენ “თ“ ასოთი, ხოლო გრადუსების რაოდენობის გამომსახველ რიცხვს თან ახლავს ნიშანი “K”. (მეცნიერ-გამომგონებლის გეარის-კელვინის საპატიეცემულოდ).

$$T = t^{\circ} + 273$$

ამ დამოკიდებულებიდან ჩანს, რომ აბსოლუტური სკალის 0°K-შეესაბამება ასგრადუსიანი საერთაშორისო სკალის -273-ს, ხოლო ასგრადუსიანი სკალის 0°C – აბსოლუტური ანუ კელვინის სკალის +273°K–ს.

ტემპერატურის მოცემული მნიშვნელობის ერთი სკალიდან მეორე სკალაში გადაყვანა წარმოებს ქვემოთმოყვანილი ცხრილით 1.

- 459,4 - 0			0-100					
C		F	C	F	F	C		F
-273	-259,4	—	-17,8	0	32	10	50	122
-268	-450	—	-17,2	1	33,8	10,6	51	123,8
-262	-440	—	-16,7	2	35,6	11,1	52	125,6
-257	-430	—	-16,1	3	37,4	11,7	53	127,4
-251	-420	—	-15,6	4	39,2	12,2	54	129,2
-246	-410	—	-15,0	5	41,0	12,8	55	131,0
-240	-400	—	-14,4	6	42,8	13,3	56	132,8
-234	-390	—	-13,9	7	44,6	13,9	57	134,6
-229	-380	—	-13,3	8	46,4	14,4	58	136,4
-223	-370	—	-12,8	9	48,2	15,0	59	138,2
-218	-360	—	-12,2	10	50,0	15,6	60	140,0
-212	-350	—	-11,7	11	51,8	16,1	61	141,8
-207	-340	—	-11,1	12	53,6	16,7	62	143,6
-201	-330	—	-10,6	13	55,4	17,2	63	145,4
-196	-320	—	-10,0	14	57,2	17,8	64	147,2
-190	-310	—	-9,4	15	59,0	18,3	65	149,0
-184	-300	—	-8,9	16	60,8	18,9	66	150,8
-179	-290	—	-8,3	17	62,6	19,4	67	152,6
-173	-280	—	-7,8	18	64,4	20,0	68	154,4
-169	-273	-459,4	-7,2	19	66,2	20,6	69	156,2
-168	-270	-454	-6,7	20	68,0	21,1	70	158,0
-162	-260	-436	-6,1	21	69,8	21,7	71	159,8
-157	-250	-418	-5,6	22	71,6	22,2	72	161,6
-151	-240	-400	-5,0	23	73,4	22,8	73	163,4
-146	-230	-382	-4,4	24	75,2	23,3	74	165,2
-140	-220	-364	-3,9	25	77,0	23,9	75	167,0
-134	-210	-346	-3,3	26	78,8	24,4	76	168,8
-129	-200	-328	-2,8	27	80,6	25,0	77	170,6
-123	-190	-310	-2,2	28	82,4	25,6	78	172,4
-118	-180	-292	-1,7	29	84,2	26,1	79	174,2

-112	-170	-274	-1,1	30	86,0	26,7	80	176,0
-107	-160	-256	-0,6	31	87,8	27,2	81	177,8
-101	-150	-238	-0,0	32	89,6	27,8	82	179,6
-96	-140	-220	-0,6	33	91,4	28,3	83	181,4
-90	-130	-202	-1,1	34	93,2	28,9	84	183,2
-84	-120	-184	-1,7	35	95,0	29,4	85	185,0
-79	-110	-166	-2,2	36	96,8	30,0	86	186,8
-73	-100	-146	-2,8	37	98,6	30,6	87	188,6
-68	-90	-130	-3,3	38	100,4	31,1	88	191,4
-62	-80	-112	-3,9	39	102,2	31,7	89	192,2
-57	-70	-94	-4,4	40	104,0	32,2	90	194,0
-51	-60	-76	-5,0	41	105,8	32,8	91	195,8
-46	-50	-58	-5,6	42	107,6	33,3	92	197,6
-40	-40	-40	-6,1	43	109,4	33,9	93	199,4
-34	-30	-22	-6,7	44	111,2	34,4	94	201,2
-29	-20	-4	-7,2	45	113,0	35,0	95	203,0
-23	-10	-14	-7,8	46	114,6	35,6	96	204,8
			-8,3	47	116,6	36,1	97	206,6
			-8,9	48	118,4	36,7	98	208,4
			-9,4	49	122,0	37,2	99	210,2
						37,8	100	212,0

100-1000

C		F	C		F
38	100	212	332	630	1166
43	110	230	338	640	1184
49	120	248	343	650	1202
54	130	266	349	660	1220
60	140	284	354	670	1238
66	150	302	360	680	1256
71	160	320	366	690	1274
77	170	338	371	700	1292
82	180	356	377	710	1310
88	190	374	382	720	1328

93	200	392	388	730	1346
99	210	410	393	740	1384
100	212	413,6	399	750	1392
104	220	428	404	760	1400
110	230	446	410	770	1418
116	240	464	416	780	1436
121	250	482	421	790	1434
127	260	500	427	800	1472
132	270	518	432	810	1490
138	280	536	438	820	1520
143	290	554	443	830	1526
149	300	572	449	840	1544
154	310	590	454	850	1562
160	320	608	460	860	1580
166	330	626	466	870	1598
171	340	644	471	880	1616
177	350	662	477	890	1634
182	360	680	482	900	1652
188	370	698	488	910	1670
193	380	716	493	920	1688
199	390	734	499	930	1706
204	400	752	504	940	1724
210	410	770	510	950	1742
216	420	788	516	960	1760
221	430	806	521	970	1778
227	440	824	527	980	1796
232	450	842	532	990	1814
238	460	860			
243	470	878			
249	480	896			
254	490	914			
260	500	932			
266	510	950			
271	520	968			

272	530	906			
282	540	1004			
288	550	1022			
293	560	1040			
299	570	1056			
304	580	1076			
310	590	1094			
316	600	1112			
321	610	1130			
327	620	1148			
538	1000	1832	816	1500	2732
543	1010	1850	321	1510	2750
549	1020	1868	827	1520	2768
554	1030	1886	832	1530	2786
560	1040	1904	838	1540	2804
566	1050	1922	843	1550	2822
571	1060	1940	849	1560	2840
577	1070	1958	854	1570	2858
582	1080	1976	860	1580	2876
588	1090	1994	866	1590	2894
593	1100	2012	871	1600	2912
599	1110	2030	877	1610	2930
604	1120	2048	882	1620	2948
610	1130	2066	888	1630	2966
616	1140	2084	893	1640	2984
621	1150	2102	899	1650	3002
627	1160	2120	904	1660	3020
632	1170	2138	910	1670	3038
638	1180	2156	916	1680	3056
643	1190	2174	921	1690	3074
649	1200	2192	927	1700	3092
654	1210	2210	932	1710	3110
660	1220	2228	938	1720	3128
666	1230	2246	943	1730	3146

671	1240	2264	949	1740	3164
677	1250	2282	954	1750	3182
682	1260	2300	960	1760	3200
688	1270	2318	966	1770	3218
693	1280	2336	971	1780	3236
699	1290	2354	977	1790	3254
704	1300	2372	982	1800	3272
710	1310	2390	988	1810	3290
716	1320	2400	993	1820	3308
721	1330	2426	999	1830	3326
727	1340	2444	1004	1840	3344
732	1350	2462	1010	1850	3362
738	1360	2480	1016	1860	3380
743	1370	2498	1021	1870	3398
749	1380	2516	1027	1880	3416
754	1390	2534	1032	1890	3434
760	1400	2552	1038	1900	3452
766	1410	2570	1043	1910	3470
771	1420	2588	1049	1920	3488
777	1430	2606	1054	1930	3506
782	1440	2624	1060	1940	3524
788	1450	2642	1066	1950	3542
793	1460	2660	1071	1960	3560
799	1470	2678	1077	1970	3578
804	1480	2696	1082	1980	3596
810	1490	2714	1088	1990	3614
			1093	2000	3632

განმარტება:

1. ტემპერატურის ერთი სკალიდან მეორე სკალაში გადაყვანისას ცხრილით სარგებლობის დროს მოცემული ტემპერატურის მნიშვნელობა უნდა მოვუძებნოთ ცენტრალურ უსახელო გრაფაში. ამ ტემპერატურის შესაბამისი ექვივალენტური ტემპერატურა ასგრადუსიან საერთაშორისო სკალაზე უნდა ავიღოთ მარცხენა "C" გრაფიდან, ხოლო ფარენგეიტის სკალაზე – მარჯვენა "F" გრაფიდან.

მაგალითად: ცენტრალურ უსახელო გრაფიდან ვიღებთ რიცხვს 100, ამ რიცხვის დონეზე მარცხნივ და მარჯვნივ გრაფებში ჩაწერილი რიცხვები გვიჩვენებენ, რომ ასგრადუსიანი სკალის 100 გრადუს ტემპერატურაზე შეესაბამება 212 გრადუსი ტემპერატურა ფარენგეიტის სკალაზე, ხოლო იგივე ასგრადუს ტემპერატურას ფარენგეიტის სკალაზე შეესაბამება მისი ექვივალენტური 37,8 გრადუსი ტემპერატურა ასგრადუსიან საერთაშორისო სკალაზე.

2. ტემპერატურის ერთი სკალიდან მეორე სკალაში დაბრუნების ცხრილში მოცემულია ტემპერატურის სიდიდე 2000 გრადუსამდე. მსურველს შეუძლია აღწერილი წესით ერთი სკალიდან მეორე სკალაში გადაიყვანოს მეტალურგიულ პრაქტიკაში გავრცელებული ნებისმიერი ტემპერატურა ზემოთმოყვანილი ფორმულების გამოყენებით.

1.2 ზოგიერთი მათემატიკური და ფიზიკური სიდიდეების მნიშვნელობები:

$$\pi = 3,14159; \quad \frac{\pi}{4} = 0,7854; \quad \frac{1}{\pi} = 0,3183 \quad 2 = 9,8696;$$

$$\sqrt{\pi} = 1,77245;$$

$$g = 9,81 \text{ მ/წმ}^2; \quad g^2 = 96,2361; \quad \sqrt{g} = 3,13209;$$

$$\sqrt{2g} = 4,429; \quad \lg g = 0,99167;$$

$$e = 2,71828; \quad \frac{1}{e} = 0,36788; \quad e^2 = 7,38906; \quad \sqrt{e} = 1,64872;$$

$$\text{ანგსტრემი} = 10^{-8} \text{ სმ} = 10^{-9} \text{ მმ};$$

$$1 \text{ რადიანი} = \frac{180}{\pi} = 57^{\circ}17'; \quad 1^{\circ} = \frac{180}{\pi} \text{ რადიანს}; \quad 1^{\circ} = 0,017 \text{ რადიანს};$$

$$1 \text{ კეტს} = 860 \text{ კკალ} = 367 \quad 10^3 \text{ კგმ} = 1,36 \text{ ცკს}; \quad 1 \text{ კვტ} = 1,36 \text{ ცკ};$$

$$1 \text{ ცმ} = 632 \text{ კკალ} = 270 \text{ } 10^3 \text{ კგმ} = 0,736 \text{ კვტს};$$

$$1 \text{ ტექნიკური ატმოსფერო} = 10000 \text{ კგ/მ}^2 = 1 \text{ კგ/სმ}^2 = 735,6 \text{ მმ.ვ.წყ.სე} = \\ = 10\text{მ.წყ.სე.}$$

$$1\text{მმ ვერცხ.წყ.სე.} = 13,596 \text{ მმ.წყ.სე.}$$

$$1 \text{ ფიზიკური ატმოსფერო} = 10333 \text{ კგ/მ}^2 = 1,033 \text{ კგ/სმ}^2 = 760 \text{ მმ ვერც. წყ.სე.}$$

წნევის ერთეულების უფრო ნათელი გაცნობიერებისთვის საჭიროა აბსოლუტური და ჭარბი წნევების ცნებების გახსენება.

ატმოსფერული წნევის გაზომვისთვის გამოიყენებიან ბარომეტრები, ხოლო დახშულ მოცულობაში (მაგ. სადნობი ან გამახურებელი ღუმელების სამუშაო სიერცეში) – მანომეტრები (თუ სიერცეში ან მოცულობაში წნევა ატმოსფერულთან შედარებით მეტია) ან ვაკუუმმეტრებით (თუ წნევა ატმოსფერულზე ნაკლებია).

მანომეტრები და ვაკუუმმეტრები გამოყენებიან როგორც სითხის, ისე ზამბარების მოქმედების პრინციპებით. ქვემოთ განხილულია სითხოვანი მანომეტრების მუშაობის პრინციპის ორი შემთხვევა: პირველი შემთხვევა, როდესაც სიერცეში (მოცულობაში) წნევა ატმოსფერულ წნევაზე მეტია *იხ.სურათი 1*

დახშულ მოცულობასთან მიეაერთებთ P -ს მაგვარ სითხის მანომეტრს. ეინაიდან მოცულობაში წნევა ატმოსფერულზე მეტია, ამიტომ სითხის დონე მილაკის მარცხენა მუხლში ქვემოთ დაიწეეს, ხოლო მარჯვენაში ამაღლდება.

განვიხილოთ a b მოედანზე მოქმედი ძალები. ჰიდროსტატიკის ძირითადი განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ a b მოედანზე ზევიდან მოქმედი წნევა ტოლია $P_0 + \gamma h$ - სიდიდისა და ამავე მოედანზე ქვევიდან ზევით მოქმედებს ძალა, რომელიც სითხის წნევას წარმოადგენს. ეინაიდან მოედანი a b

წონასწორობაშია, მასზე მოქმედი ძალები ერთმანეთის ტოლია და შეგვიძლია მივიღოთ ტოლობა:

$$P = P_0 + \gamma h,$$

სადაც P_0 აღნიშნავს გარე ატმოსფერულ წნევას, რომელსაც ზომავენ ბარომეტრებით და აღნიშნავენ ასოთი. ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი, γh წარმოადგენს მოცულობაში არსებულ ჭარბ წნევას, რომელიც ტოლია სითხის სრულ წნევისა და ატმოსფერული წნევის სხვაობისა და აღინიშნება $P_{აბ}$ ასოთი. სრულ წნევას P -ს უწოდებენ აბსოლუტურ წნევას და აღინიშნება $P_{აბ}$ – ასოთი. ამრიგად, აბსოლუტური წნევა ტოლია ბარომეტრული და მანომეტრული წნევების ჯამისა ე.ი.

$$P_{აბ} = P_{გ} + P_{აბ}$$

ზემოთ მოყვანილი ტოლობის საფუძველზე შეიძლება შევადგინოთ ტოლობა:

$$P_{აბ} = \gamma h, \text{ და } h = \frac{P_{აბ}}{\gamma}$$

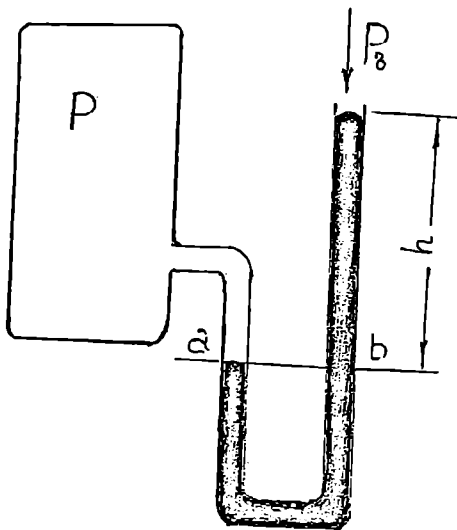
საიდანაც გამომდინარეობს, რომ სითხის ზევით გადაადგილების სიმაღლე h დამოკიდებულია ჭარბი წნევის შეფარდებისგან ($P_{აბ}$) სითხის კუთრი წონისადმი. h სიმაღლეს უწოდებენ პეზომეტრულს, ხოლო თვით მილაკს პეზომეტრს.

წყლის სვეტის სიმაღლე პეზომეტრში ჭარბი წნევის ერთი ფიზიკური ატმოსფეროს ტოლი წნევის მოქმედებისას ტოილ იქნება შემდეგი სიდიდისა:

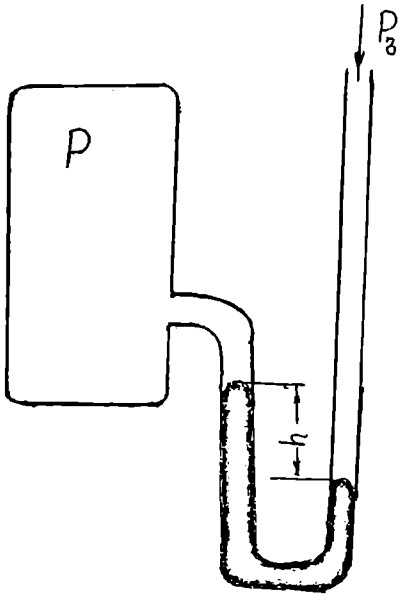
$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{10332}{1000} \text{ კგ/მ}^2 / \text{კგ/მ}^3 = 10,332 \text{ მ. წყ.სე.} = 10332 \text{ მმ. წყ. სე.}$$

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{10000}{1000} \text{ კგ/მ}^2 / \text{კგ/მ}^3 = 10 \text{ მ. წყ.სე.} = 10000 \text{ მმ. წყ. სე.}$$

სადაც 1000 კგ/მ³ არის წყლის კუთრი წონა, ხოლო 10000 კგ/მ².არის ერთი ტექნიკური ატმოსფეროს ტოლი წნევა, ანუ 1კგ/სმ² –ისა.



სურ. 1 სითხის (ვერცხლისწყლის)
მანომეტრი



სურ. 2 სითხის (ვერცხლისწყლის)
გაკუუმმეტრი

ვერცხლისწყლის სვეტის სიმაღლე ერთი ფიზიკური ატმოსფეროს წნევისა და 0° ტემპერატურის პირობებში ტოლი იქნება:

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{10332}{13595} = 0,768 = 760 \text{ მმ ვერცხ. წყ. სე.}$$

წნევის ერთი ტექნიკური ატმოსფეროს შემთხვევაში:

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{10000}{13595} = 0,7356 \text{ მ} = 735,6 \text{ მმ. ვერცხ.წყ.სე.}$$

წნევის გაზომვა კეზომეტრით მოხერხებულია მხოლოდ 1 ატა (აბსოლუტური) წნევამდე. უფრო მაღალი წნევის პირობებში კეზომეტრის გამოყენება უხერხულია, ვინაიდან მილაკის სიგრძე ძლიერ იზრდება.

მეორე შემთხვევა, როდესაც სიერცეში (მოცულობაში წნევა ატმოსფერულ წნეუასთან შედარებით ნაკლებია) იხ.სურ.2.

ვინაიდან დახურულ მოცულობაში წნევა ატმოსფერულ წნეუასთან შედარებით ნაკლებია, სითხის დონე მარცხენა მუხლში უფრო მაღალის, მარჯვენა მუხლთან შედარებით. წნევა a b მოედანზე ტოლი იქნება შემდეგი სიდიდისა:

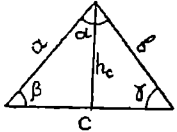

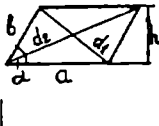
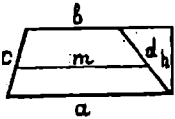
$$P_a = P + \gamma h \quad \text{an} \quad P_b = P_{\text{აა}} + \gamma h$$

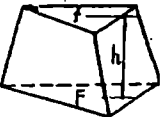
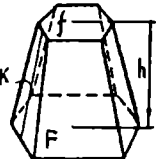


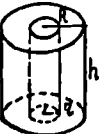
$$P_{\text{აა}} = P_b - \gamma h$$



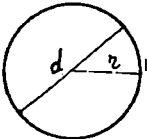

γh სიდიდე განისაზღვრება ვაკუუმეტრის საშუალებით და წარმოადგენს სხვაობას ბარიმეტრულ წნეუასა და მოცულობაში არსებულ წნეუას შორის. მას უწოდებენ გაიშვიათებას (ვაკუუმს) და აღინიშნება როგორც $P_{\text{აა}}$. მოცულობაში აბსოლუტური წნევის გაზომვისათვის გაიშვიათებული სიერცით საჭიროა ბარიმეტრის ჩვენებას გამოვაკლოთ ვაკუუმეტრის ჩვენება ე.ი. $P_{\text{აა}} = P_b - P_{\text{აა}}$.


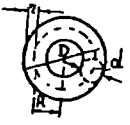
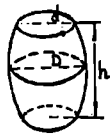
13. ძირითად გეომეტრიულ სხეულთა ზედაპირის ფართობი და მოცულობა

ა) ბრტყელი ფიგურები.

სახელწოდება	ნ ა ხ ა ზ ი	აღნიშვნები	ფორმულები
სამკუთხედი		$P=2p$ - პერიმეტრი; $p=\frac{P}{2}$ ნახევარპერიმეტრი; S - ფართობი; a, b, c - გვერდები; $\alpha\beta\gamma$ - კუთხვები; h_c -სიმაღლე დაშვებული ფუძე C -ზე	$2p=a+b+c$; $S=0.5C \cdot h_c=$ $=0.5a \cdot c \sin \beta =$ $=\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$; $\alpha + \beta + \gamma = 180$ თუ $\alpha = 90^\circ$, მაშინ $a^2+b^2=c^2$ $S=0.5ab=0.5a^2 \operatorname{tg} \beta =$ $=0.25c^2 \sin 2 \beta$;
ოთხკუთხედეი ა) კვადრატი		S - ფართობი; a - გვერდი; d - დიაგონალი;	$a = 0,707d$ $d=1,414a$; $S=a^2=d^2/2$;
ბპარალელოგრამი		S - ფართობი; a, b - გვერდები; α - მახვილი კუთხე; h - სიმაღლე; d_1, d_2 - დიაგონალები;	$S=a \cdot h$; $d_1^2 + d_2^2 = 2(a^2 + b^2)$; თუ $a=b$ (რომბი) $S=a \cdot h=a^2 \sin \alpha = 0,5d_1 \cdot d_2$ $d_1=2a \cos \frac{\alpha}{2}$; $d_2=2a \sin \frac{\alpha}{2}$;
ა) ტრაპეცია		S - ფართობი; a, b - ფუძეები; c, d - გვერდები; α - კუთხე; m - შუა ხაზი (აერთებს არაპარალელურ გვერდების შუა წერტილებს, იგი პარალელურია a და b ფუძეებისა);	$S=0,5(a+b) h=mh$; თუ $d=C$, მაშინ $S=(a \cdot \cos \alpha) C \sin \alpha$;

სახელწოდება	ნ ა ხ ა ზ ი	აღნიშვნები	ფორმულები
წაკვეთილი პირამიდა		f, F - ფუჭების ფართობი; h - სიმაღლე; V - მოცულობა;	$V = \frac{1}{3} h (F + f + \sqrt{Ff});$
წაკვეთილი სწორი პირამიდა		f, F - ფუჭების ფართობი; h - სიმაღლე; p, P - ფუჭების პერიმეტრი; K - აპოფემა; S _{გვ} - გვერდითი ზედაპირი; V - მოცულობა;	$S_{გვ} = \frac{1}{2} (p + P) K;$ $V = \frac{1}{3} h (F + f + \sqrt{Ff});$
სწორი ცილინდრი		r - რადიუსი; h - სიმაღლე; S _{გვ} - გვერდითი ზედაპირი; S - სრული ზედაპირი;	$S_{გვ} = 2\pi r h;$ $S = 2\pi r (r + h);$ $V = \pi r^2 h;$
წაკვეთილი სწორი ცილინდრი		r - რადიუსი; h ₁ და h ₂ - მაქსიმალური და მინიმალური მსახველები; S _{გვ} - გვერდითი ზედაპირი; S - სრული ზედაპირი; V - მოცულობა;	$S_{გვ} = \pi r (h_1 + h_2);$ $S = \pi r [h_1 + h_2 + r + \sqrt{r^2 + (\frac{h_1 - h_2}{2})^2}];$ $V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2};$
ცილინდრული მილი		R - გარე რადიუსი; r - შიგა რადიუსი; $\rho = \frac{R+r}{2}$ - საშუალო რადიუსი; h - სიმაღლე; V - მოცულობა;	$V = \pi h (R^2 - r^2);$ $V = 2\pi r h (R^2 - r^2) \rho;$

სახელწოდება	ნ ა ხ ა ზ ი	აღნიშვნები	ფორმულები
სწორი წრიული კონუსი		<p>r - რადიუსი; h - სიმაღლე; l - მსახველი; S_{გე} გვერდითი ზედაპირი; S - სრული ზედაპირი; V - მოცულობა;</p>	$l = \sqrt{r^2 + h^2};$ $S_{\text{გე}} = \pi r l = \pi r \sqrt{r^2 + h^2};$ $S = \pi r (r + l);$ $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h;$
სწორი წრიული წაკვეთილი კონუსი		<p>R ქვემო ფუძის რადიუსი; r ზემო ფუძის რადიუსი; h - სიმაღლე; l - მსახველი;</p>	$l = \sqrt{h^2 + (r^2 - R^2)};$ $S_{\text{გე}} = \pi l (R + r);$ $S = \pi [R^2 + r^2 + l (R + r)];$ $V = \frac{\pi}{3} h (R^2 + r^2 + Rr);$
სფერო		<p>r - რადიუსი; d - დიამეტრი; S - ზედაპირი; V - მოცულობა;</p>	$S = 4 \pi r^2 \cong 12,57 r^2;$ $S = \pi d^2 \cong 3,142;$ $S = \sqrt[3]{36 \pi V^2} \cong 4,836 \sqrt[3]{V^2};$ $V = \frac{4}{3} \pi r^3 \cong 4,189 r^3;$ $V = \frac{1}{6} \pi d^3 \cong 0,524 d^3;$ $V = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{S^3}{\pi}} \cong 0,094 \sqrt{S^3};$ $r = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{S}{\pi}} \cong 0,282 \sqrt{S};$ $r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \cong 0,620 \sqrt[3]{V};$
სფერული სექტორი		<p>r - სფეროს რადიუსი; a ბრტყელი ჭრილის რადიუსი; h - სიმაღლე; S_{გე} გვერდითი ზედაპირი; S - სრული ზედაპირი; V - მოცულობა;</p>	$a^2 = h (2r - h);$ $S_{\text{გე}} = 2 \pi r h;$ $S = \pi r (a + 2h);$ $V = \frac{2}{3} \pi r^2 h;$

სახელწოდება	ნ ა ხ ა ზ ი	აღნიშვნები	ფორმულები
სფერული სეგმენტი		<p>r - სფეროს რადიუსი; a - ბრტყელი კრძლის რადიუსი; h - სიმაღლე; $S_{გე}$ - გვერდითი ზედაპირი; S - სრული ზედაპირი; V - მოცულობა;</p>	<p>$a^2 = h(2r-h)$; $S_{გე} = 2\pi r h = \pi(a^2+h^2)$; $S = \pi(2rh+a^2) = \pi(h^2+2a^2)$; $V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2+h^2) =$ $= \frac{1}{3}\pi h^2(3r-h)$;</p>
ტორი (რგოლი)		<p>R - სფეროს ბრუნვის ცენტრის რადიუსი; $D=2R$; r - მბრუნავი სფეროს რადიუსი; $d=2r$ S - ზედაპირი; V - მოცულობა;</p>	<p>$S=4\pi r^2 R \cong 39,48Rr$; $S = \pi^2 D d \cong 9,870 D d$; $V = 2\pi^2 R r \cong 19,74r^2$; $V = \frac{\pi^2}{4} d^3 \cong 2,467 D d^2$;</p>
წრიული კასრი (მსახველი - წრესაზის რკალი)		<p>d - ქედის, ძირის დიამეტრი; D - მაქსიმალური დიამეტრიც; h - სიმაღლე; V - მოცულობა;</p>	<p>$V \cong 0,262h(2D^2+d^2)$; $V \cong 0,0873h(2D+d)^2$;</p>

14 ს ი თ ბ ო ტ ე ვ ა დ ო ბ ა

ხევედრითი სითბოტევადობა (ან შემოკლებით სითბოტევადობა) ეწოდება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გადაეცემა რაიმე ნივთიერების წონის ან მოცულობის ერთეულს (1კგ, 1მ³ ან 1 კმოლს) და გამოიწვევს მისი ტემპერატურის 1° -ით გაზრდას. იმის მიხედვით, თუ ნივთიერების რაოდენობის რომელიც ერთეულს გადაეცემა სითბო, განარჩევენ წონით, მოცულობით და მოლურ სითბოტევადობას.

წონით სითბოტევადობა აღინიშნება C - ასოთი და მისი განზომილებაა:

$$\left[\frac{\text{კკალ}}{\text{კგ } ^\circ\text{C}} \right];$$

მოცულობითი სითბოტევადობა აღინიშნება C^l - ასოთი და მისი განზომილებაა:

$$\left[\frac{\text{კკალ}}{\text{მ}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \right];$$

მოლური სითბოტევადობა აღინიშნება μC - ასოთი და მისი განზომილებაა:

$$\left[\frac{\text{კკალ}}{\text{კმოლ } ^\circ\text{C}} \right];$$

სითბოტევადობის მნიშვნელობა (სიდიდე) დამოკიდებულია ნივთიერების ტემპერატურისგან.

აირების სითბოტევადობა დამოკიდებულია არამარტო ტემპერატურისგან, არამედ იმ პროცესისგანაც, რომლის დროსაც მას გადაეცემა სითბო. ამ მხრივ განარჩევენ სითბოტევადობას მუდმივი მოცულობის და მუდმივი წნევის დროს. პირველ შემთხვევაში აირის გახურებისას, მისი მოცულობა არ იცვლება, ხოლო მეორე შემთხვევაში - წნევა. ამასთან, სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს, იზობარული სითბოტევადობა C_p - ყოველთვის მეტია მუდმივი მოცულობის დროს არსებულ, იზოქორულ C_v სითბოტევადობასთან შედარებით. ასეთი დამოკიდებულება აიხსნება იმით, რომ ნივთიერების (აირის) მუდმივი წნევის დროს გახურებისას სითბოს ნაწილი იხარჯება მის გაფართოებაზე, ხოლო ნაწილი - ნივთიერების (აირის) შინაგანი ენერჯის გაზრდაზე. ნივთიერების (აირის) მუდმივი მოცულობის დროს გახურებისას კი

მთლიანი რაოდენობა იხარჯება მხოლოდ შინაგანი ენერგიის გაზრდაზე. მყარი და თხევადი ნივთიერებებისათვის C_p და C_v შორის სხვაობა შედარებით მცირეა. იდეალური აირისთვის:

$$C_p - C_v = R,$$

სადაც, R არის იდეალური აირის უნივერსალური მუდმივა.

წონით და მოცულობით სითბოტევადობას შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$C = C' \nu = \frac{C'}{\gamma} \quad [\text{კკალ/კგ } ^\circ\text{C}];$$

$$C' = C \gamma = \frac{C}{\nu}, \quad [\text{კკალ/მ}^3 \text{ } ^\circ\text{C}];$$

სადაც γ არის კუთრი წონა, კგ/მ³ ;

ν - კუთრი მოცულობა, მ³/კგ;

15 სითბოგამტარობის, სითბოგადაცემის და სითბოგაცემის კოეფიციენტები, მათი ფიზიკური არსი

სითბოგამტარობის კოეფიციენტი (სითბოგამტარობა) λ , [კკალ/მ.სთ. $^\circ\text{C}$], წარმოადგენს სითბოს რაოდენობას, რომელიც 1 საათის განმავლობაში გაივლის სხეულის 1მ² ფართზე 1მ მანძილზე, როდესაც ამ მანძილის საწყის და საბოლოო წერტილებს შორის ტემპერატურის სხვაობა 1 $^\circ\text{C}$ შეადგენს.

სითბოგადაცემის კოეფიციენტი, K , [კკალ/მ²სთ $^\circ\text{C}$.] წარმოადგენს სითბოს რაოდენობას, რომელიც ერთი საათის განმავლობაში გაივლის გასასხურებელ და გამახურებელ გარემოთა გამყოფი კედლის 1მ² ფართზე, როდესაც ამ გარემოთა ტემპერატურის სხვაობა 1 $^\circ\text{C}$ -ის ტოლია;

სითბოგაცემის კოეფიციენტი, α [კკალ/მ²სთ °C] წარმოადგენს სითბოს რაოდენობას, რომელიც ერთი საათის განმავლობაში გადაეცემა გამახურებელი გარემოსაგან სითბოს მიმღები ზედაპირის 1მ² ფართზე, ან 1მ² სითბოსგამცემ ზედაპირიდან გასახურებულ გარემოს, როდესაც გამახურებელ გარემოსა და სითბოს მიმღებ ზედაპირს შორის, ან სითბოსგამცემ ზედაპირსა და გასახურებელ გარემოს შორის ტემპერატურის სხვაობა 1°C-ს შეადგენს.

1.6 ხაზოვანი და მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტები

მყარი სხეულების ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტი, α წარმოადგენს სხეულის ერთი °C-ით გახურებით გამოწვეულ ხაზოვანი ზომის ცვალებადობის შეფარდებას მისი საწყისი ხაზოვანი ზომისადმი. ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურისგან. ტემპერატურის მცირე ცვალებადობის შემთხვევაში სარგებლობენ შემდეგი გამოსახულებით:

$$l = l_0 (1 + \alpha t) ,$$

სადაც l არის სხეულის ხაზოვანი ზომა t °C ტემპერატურის დროს,
 l_0 - სხეულის ხაზოვანი ზომა 0 °C ტემპერატურაზე;

მყარი სხეულის მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი, $\beta = 3\alpha$;

1.7 განზომილებათა ერთეულების სისტემები

ა) სისტემები: CGS (სანტიმეტრი, გრამი, წამი);

MTS (მეტრი, ტონა, წამი);

ამ სისტემაში ძალის ერთეულებია: დინი (დნ, dN), გრამი (გ), სტენი (სტნ, sn) და ტონა (ტ).

CGS სისტემაში: 1 დინი= 1გ მასა x აჩქარებაზე, რომელიც ტოლია 1სმ/წმ²=1 [გსმ/წმ²];

1გ ძალა = 1გ მასა x აჩქარებაზე, რომელიც ტოლია 981 სმ/წმ² =981დნ;

1დნ = 1გძალა/981 = 0,0010197 გ ძალა;

MTS სისტემაში: 1 სტენი = 1 მასა x აჩქარებაზე, რომელიც ტოლია 1 მ/წმ²
= 1 [ტმ/წმ²] = 10⁸ დნ;

მუშაობის ერთეულებია: ერგი (ე) ;

1 ერგი = 1დნ x სმ = გსმ/წმ² x სმ = გსმ²/წმ² = 0,0010197 გსმ.

სიბლანტის ერთეულებია: პუაზი (P), სანტიპუაზი (cP), სტოქსი (st),
სანტისტოქსი (cSt).

სითხეების სიბლანტე განისაზღვრება შინაგანი ხახუნის ძალებით, რომელნიც წარმოიშებიან სითხის ერთი ფენის ან ნაწილაკების მიმართ. შინაგანი ხახუნის ძალების მიერ გამოწვეული მხები დაძაბულობა, τ პროპორციულია სინქარის გრადიენტისა სითხის მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით. ეს დამოკიდებულება მათემატიკურად გამოსახება შემდეგი ფორმულით:

$$\tau = \mu \frac{d\omega}{dy}, \text{ [კგ/მ}^2\text{] ;}$$

სადაც, μ არის აბსოლუტური სიბლანტის კოეფიციენტი;

$\frac{d\omega}{dy}$ - სინქარის გრადიენტი;

სიბლანტის ერთეული CGS სისტემაში არის პუაზი

1 პუაზი = 1გ/სმ.წმ = 0,0102 კგწმ/მ² ; 1 cP = 0,01 P;

$\mu = \gamma\rho$; $\gamma = \frac{\mu}{\rho}$ არის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი;

ρ - სითხის სიმკვრივე, მ²/წმ;

CGS სისტემაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულია სტოქსი, 1 სტოქსი = 1სმ²/წმ; 1 სანტისტოქსი = 0,01 სტოქსი.

პრაქტიკაში სითხის სიბლანტეს ზომავენ პირობითი სიბლანტის გრადუსებში ვისკოზიმეტრის საშუალებით.

კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტისა და პირობითი სიბლანტის გრადუსებს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$y = 0,0731^{\circ} \text{ პს} \quad 0,0631^{\circ} \text{ პს, [სმ/წმ];}$$

სადაც ° პს არის პირობითი სიბლანტის გრადუსები;

ბ) ერთეულების საერთაშორისო სისტემა.

1960 წლის ოქტომბერში ზომის და წონის მსოფილიო XI კონფერენციაზე მიღებულ იქნა ერთეულების საერთაშორისო სისტემა, რომელიც აღინიშნება სიმბოლითი „SI“. ერთეულების საერთაშორისო სისტემის საფუძველს წარმოადგენენ ექვსი ძირითადი ერთეული, რომელთა სახელწოდება და შემოკლებითი აღნიშვნები ГОСТ 9867 მიხედვით მოცემულია შემდეგ ცხრილში. შემოკლებითი აღნიშვნები ქართულ ენაზე არასტანდარტულია; ისინი მოცემულია ქართულ ტექნიკურ ლიტერატურაში დამკვიდრებული ფორმების მიხედვით.

ძირითადი ერთეულები

ცხრილი 2.

სიდიდის დასახელება	განზომილების ერთეული	შემოკლებითი აღნიშვნები		
		ქართული	რუსული	ლათინური ან ბერძნული
სიგრძე	მეტრი	მ	М	m
მასა	კილოგრამი	კგ	кг	kg
დრო	წამი	წმ	сек	s
ელექტოდენის ძალა	ამპერი	ა	а	A
თერმოდინამიკური ტემპერატურა	კელვინის გრადუსი	°K	°K	°K
სინათლის ძალა	სანთელი	ს	св	cd

ერთეულების საერთაშორისო სისტემის დამატებითი და წარმოებული ერთეულები (ГОСТ 9867-ის მიხედვით).

ცხრილი 3.

სიდიდის დასახელება	ბანჯომილების ერთეული	შემოკლებითი აღნიშვნები			ერთეულის ზომა
		ქართული	რუსული	ლათინური ან ბერძნული	
1	2	3	4	5	6
დ ა მ ა ტ ე ბ ი თ ი ე რ თ ე უ ლ ე ბ ი					
ბრტყელი კუთხე	რადიანი	რად	рад	rad	-
მოცულობითი კუთხე	სტერადიანი	სტრ	стер	st	-
წ ა რ მ ო ე ბ უ ლ ი ე რ თ ე უ ლ ე ბ ი					
ფართი	კვადრატული მეტრი	მ ²	м ²	მ ²	(18 ²)
მოცულობა	კუბური მეტრი	მ ³	м ³	მ ³	(18 ³)
სიხშირე	ჰერცი	ჰ	Гц	Hz	1(1 ¹)
სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)	კილოგრამი კუბურ მეტრზე	კგ/მ ³	кг/м ³	kg/m ³	(1კგ):(1 ³ მ ³)
სიჩქარე	მეტრი წამში	მ/წმ	м/сек	მ/ს	(18წ):(1 ¹ წმ)
კუთხური სიჩქარე	რადიანი წამში	რად/წმ	рад/сек	rad/s	(1რად):(1 ¹ წმ)
აჩქარება	მეტ.წამზე კვად.ში	მ/წმ ²	м/сек ²	მ/ს ²	(18):(1 ¹ წმ ²)
კუთხური აჩქარება	რად.წმ-ზე კვად.ში	რად/წმ ²	рад/сек ²	rad/s ²	(1რად):(1 ¹ წმ ²)
ძალა	ნიუტონი	ნ	Н	N	(1კგ):(18):(1 ¹ წმ ²)
წნევა (მექანიკური დაძაბულობა)	ნიუტონი კვადრატულ მეტრზე	ნ/მ ²	Н/ м ²	N/m ²	(16):(18) ²
დინამიკური სიბლანტე	ნიუტონ წმ.კვად.მ-ზე	ნ.წმ/მ ²	Н.сек/ м ²	Ns/m ²	(16):(1 ¹ წმ):(18) ²
კინემატიკური სიბლანტე	კვადრატული მეტრი წამზე	მ ² /წმ	м ² /сек	მ ² ·ს	(18 ²):(1 ¹ წმ)
მუშაობა, ენერჯია სითბოს რაოდენობა	ჯოული	ჯ	дж	J	(16):(18)
სიმძლავრე	ვატი	ვტ	Вт	W	(1კგ):(1 ¹ წმ)
ელექტრობის რაოდენობა	კულონი	კ	К	C	(1ა):(1 ¹ წმ)
ელექტროძაბვა, ელექტროპოტენციალების სხვაობა, ელექტრომაგნიტური ძალა	ვოლტი	ვ		V	1(ვტ):(1ა)
ელექტროველის დაძაბულობა	ვოლტი მეტრზე	ვ/მ	В/м	V/m	(1ვ):(18)
ელექტროწინაღობა	ომი	ომი	ом	Ω	(1ვ):(1ა)
ელექტროტევადობა	ფარადა	ფ	ф	F	(1ვ):(1ვ)
მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი	ვებერი	ვბ	Вб	Wb	(1კ):(18მ)

ცხრილი 3. (დასასრული)

1	2	3	4	5	6
ინდექციურობა	ჰენრი	ჰნ	ჰH	HH	(η)(λ)
მაგნიტური ინდექციურობა	ტესლა	ტს	тл	T	(η)(λ) ²
მაგნიტური ველის დაძაბულობა	ამპერი მეტრზე	აშ	a/m	A/m	(λ)(λ)
მაგნიტომომოძრავებელი ძალა	ამპერი	ა	a	A	(λ)
სინათლის ნაკადი	ლიუმენი	ლმ		Lm	(λ X)(λ ტრ)
სიკაშკაშე	სანთელი კუადრატულ მეტრზე	სშ	/ 2	cd/ m ²	(λ)(λ) ²
განთებულობა	ლუქსი	ლქს		Lx	(λ მ)(λ) ²

საერთაშორისო სისტემის ერთეულების შედარება სხვა სისტემებისა და სისტემების გარეშე ერთეულებთან:

მექანიკური ერთეულები

ა) მასის ერთეულები

$$1\text{კგ}=10^{-3}\text{კგ}$$

$$1\text{კგ}=10^3$$

$$1\text{მ.ტ.ე}=9,81\text{კგ}$$

$$1\text{კგ}=0,102\text{მ.ტ.ე.}$$

$$1\text{ტ}=10^3\text{კგ}$$

$$1\text{კგ}=10^{-3}\text{ტ}$$

$$1\text{მ.ა.ე}=1,66 \cdot 10^{-27}\text{კგ}$$

$$1\text{კგ}=6,02 \cdot 10^{20}\text{მ.ა.ე.}$$

ბ) ძალის ერთეულები

$$1\text{დნ}=10^{-5}\text{ნ}$$

$$1\text{ნ}=10^5\text{დნ}$$

$$1\text{კგ}=9,81\text{ნ}$$

$$1\text{ნ}=0,102\text{კგ}$$

$$1\text{ტ}=9,81 \cdot 10^3\text{ნ}$$

$$1\text{ნ}=1,02 \cdot 10^{-4}\text{ტ}$$

გ) მუშაობის, სითბოს და ენერჯის ერთეულები

$$1\text{ერგი}=10^{-7}\text{ჯ}$$

$$1\text{ჯ}=10^7\text{ერგს}$$

$$1\text{კგმ}=9,81\text{ჯ}$$

$$1\text{ჯ}=0,102\text{კგმ}$$

$$1\text{კალ}=4,19\text{ჯ}$$

$$1\text{ჯ}=0,239\text{კალ}$$

$$1\text{კეტ.სთ}=3,6 \cdot 10^3\text{ჯ}$$

$$1\text{ჯ}=2,78 \cdot 10^{-4}\text{ეტ.სთ}$$

დ) სიმძლავრის ერთეულები

იერგ/წმ=10⁻⁷ ვტ

იეტ=10⁷ ერგ/წმ

იკგ/წმ=9,81ეტ

იეტ=0,102 კგ/წ

ივ.დ.=736 ვტ

იეტ=1,36 10⁻³ვ.დ.

ე) წნევის ერთეულები

1დნ/სმ²=0,16/მ²

16/მ²=10დნ/სმ²

1კგ/მ²=9,81 ნ/მ²

16/მ²=0,102 კგ/მ²

1ატმ (1კგ/სმ²)=9,81 10⁴ ნ/მ²

16/მ²=1,02 10⁻⁵ატმ

1ეერცხ.წყ.სე.მმ=133 ნ/მ²

16/მ²=7,50 10⁻³ ეერცხ.წყ.სე.მმ

1წყ.სე.მმ=9,81 ნ/მ²

16/მ²=0,102 წყ.სე.მმ

1ბარი=10⁵ ნ/მ²

16/მ²=10⁻⁵ ბარი

სახელმძღვანელოს მასალებში გამოყენებულია ერთეულების ამგვარად ყველაზე გავრცელებული მეტრული სისტემა. ქვემოთ მოცემული ცხრილის საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი სისტემის ერთეულის გადაყვანა საერთაშორისო სისტემაში.

განზომილებათა ერთეულები ძველ და ახალ საერთაშორისო სისტემებში

ცხრილი 4.

სიდიდის დასახელება	აღნიშვნა	სიდიდის მნიშვნელობა	
		ახალი განზომილებით	ძველი განზომილებით
1	2	3	4
I. მ ე ქ ა ნ ი კ უ რ ი ს ი დ ი დ ე ე ბ ი			
მასა	m	1მგ 1კგ	1ტ 1000ტ
სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)	γ	1კგ/მ ³ 1მგ/მ ³	0,001კგ/სმ ³ 1კგ/სმ ³
ძალა	F	16 9,816 ~ 105	0,102კგ~0,1კგ 1კგ
დაძაბულობა: დენადობის ზღვარი სიმტკიცის ზღვარი	σ _T σ _B	1მგ/მ ² 9,81 მნ/მ ² ~ 10მგ/მ ²	0,102კგ/მმ ² ~0,1კგ/მმ ² 1,02კგ/მმ ² ~1კგ/მმ ²

1	2	3	4
წნევა	P	186/მ ² 0,098186/მ ² ~ 0,1 მმ/მ ²	10,2ატმ-10ატმ 1 ატმ
მუშაობა, ენერგია	A	1ჯ 9,81ჯ ~ 10ჯ	0,102კგმ-0,1კგმ 1კგმ/წმ
სიმძლავრე	W	1ეტ 9,81 ეტ ~ 10 ეტ	0,102კგმ/წმ-0,1კგმ/წმ 1კგმ/წმ
დარტყმითი სიბლანტე	a _н	1მჯ/მ ² 0,0981 მჯ/მ ² ~ 0,1მჯ/მ ²	10,2კგმ/სმ ² -10კგმ/სმ ² 1კგმ/სმ ²
II. დროის და სივრცის სიდიდეები			
მოცულობა	V	1მ ³ 1დმ ³	1000 ლ 1 ლ
ხაზოვანი სიჩქარე	g	1მ/წმ 0,278 მმ/წმ	3600 მ/სთ 1 მ/სთ
კუთხური სიჩქარე	n	1რად/წმ 0,1047-რად/წმ-0,1რად/წმ	9,55 ბრ/წთ 1 ბრ/წთ
ბრტყელი კუთხე	α	1რად 0,01745რად	$\frac{180^\circ}{\pi} = 57,17$ 1°
III. ელექტრო სიდიდეები			
დენის სიმკვრივე	i	1ა/მ ² 18ა/მ ²	მკა/მმ ² 1ა/მმ ²
IV. სითბური სიდიდეები			
ტემპერატურა	T	°K 273°K 0°K °K -273	°C+273 0°C -273°C °C
სითბური სიმძლავრე	q	1ეტ 4,19 ეტ	0,24 კალ/წმ 1 კალ/წმ
სითბოს რაოდენობა	Q	1ჯ 4,19ჯ	0,24 კალ 1 კალ

განზომილებათა მეტრული სისტემა

ცხრილი 5.

შეღარება ძირითად ერთეულთან	აღნიშვნები		
	ძართული	რუსული	ლათინური
1	2	3	4
1. სიგრძის განზომილებები			
ძირითადი ერთეული - მეტრი	მ	М	m
1 კილომეტრი = 1000მ	კმ	км	km
1 დეციმეტრი = 0,1მ	დმ	дм	dm
1 სანტიმეტრი = 0,01მ	სმ	см	sm
1 მილიმეტრი = 0,001მ	მმ	мм	mm
1 მიკრონი = 0,000001მ	მკ	мк	μ
2. ზედაპირის განზომილებები			
ძირითადი ერთეული - კვადრატული მეტრი	მ ²	М ²	м ²
1 კვ.კილომეტრი = 1000000მ ²	კმ ²	км ²	km ²
1 კვ.ჰექტომეტრი (ჰექტარი)=10000მ ²	ჰა	га	ha
1 კვ.დეციმეტრი = 0,01მ ²	დმ ²	дм ²	dm ²
1 კვ.სანტიმეტრი = 0,0001მ ²	სმ ²	см ²	sm ²
1 კვ.მილიმეტრი=0,000001მ ²	მმ ²	мм ²	mm ²
3. მოცულობის განზომილებები			
ძირითადი ერთეული - კუბური მეტრი	მ ³	М ³	м ³
1 კუბ.დეციმეტრი (ლიტრი)=0,001მ ³	დმ ³	дм ³	dm ³
1 კუბური სანტიმეტრი=0,000001მ ³	სმ ³	см ³	sm ³
4. ტევადობის განზომილებები			
ძირითადი ერთეული - ლიტრი	ლ	л	l
1 ჰექტოლიტრი = 100ლ	ჰლ	гл	hl
1 დეცილიტრი=0,1ლ	დლ	дл	dl
1 სანტილიტრი=0,01ლ	სლ	сл	cl
1 მილილიტრი=0,001ლ	მლ	мл	ml

1	2	3	4
5. წონის განზომილებები			
ძირითადი ერთეული - გრამი	გ	რ	გ
1 ტონა=1000კგ=1000000გ	ტ	Τ	t
1 ცენტნერი=100კგ=100000გ	ც	Ц	c
1 კილოგრამი=1000გ	კგ	кг	kg
1 მილიგრამი=0,001გ	მგ	мг	mg

1.8 მყარი სხეულების ფიზიკური პარამეტრები

ცხრილი 6.

მასალების და ნივთიერებების დასახელება	ϑ ო ნ ა, კმ/მ				სითბობა- ტარობის კოეფიციენტი, λ, კკალ/მ.სთ°C	წონითი სითბო- ტევადობა
	1	2	3	4	5	6
აგური იზოლაციური	-	550	-	-	0.12	-
აგური სამშენებლო	1400-1600	1400-1600	-	-	0.40	0.22
აგური ცეცხლგამძლე დინასის	2300-2480	-	1660-1920	-	0.75-1.45	0.29-მდე
ბოქსიტის	2600-4200	-	-	-	0.31-0.33	0.2
დოლომიტის	2800-2900	-	-	-	-	0.19-0.22
ქარბორუნდის	3100-3200	-	2100-2650	-	10	0.16
კორუნდის:	-	-	-	-	-	-
ჩეულებრიეი	3900-4200	-	1840-2500	-	-	-
კოქსოვანი	3000	-	1200-1400	-	-	0.5
მაგნეზიტის	3440-3600	-	21180-2600	-	3.00-3.90	0.35
ქრომომაგნეზიტის	3700-3900	-	-	-	-	-
ქრომიტის	4000	-	2300-2620	-	-	0.17-0.22
შამოტის	2500-2700	-	1900	-	0.80-1.45	0.30
ანტრაციტი	1400-1700	1400-1700	900	-	-	0.22
ალუმინი	2700	26700	-	-	175.00	0.22
ასბესტი	2100-2800	-	-	-	-	-
ასბესტის ბოჭკო	-	-	470	-	0.01	0.20
ასბესტოს მუქალი	1200	770	-	-	0.10	0.20
ასფალტი	1100-1500	2110	-	-	0.60	0.40
ბაბიტი თეთრი	7100	7100	-	-	-	-
ბამბა მინის	200	-	-	-	0.03	-
ბამბა წილის	-	250	-	-	0.06	-
ბეტონი	1800-2450	2300	-	-	1.10	0.27
ბისმუტი სხმული	9820	9620	-	-	-	-
ბრინჯაო (7-14%მნ)	7400-8900	7400-8900	-	-	55.00	0.09
გოგირდი თეთნაბადი	-	2070	-	-	-	0.18
გრანიტი	2510-3050	2510-3050	-	-	-	0.20
გრაფიტი	1900-2300	1900-2300	-	-	-	0.20
დოლომიტი	2900	2900	1680-1740	-	-	0.22

ზუგდიდის რაიონი	4000	4000	-	-	-
თბილისი რაიონი	950	1650	-	0.25	0.20
თბილისის მუნიციპალიტეტი	8520-8620	8600	-	73.50	0.09
თბილისის მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტი	1670-2850	1670-2850	-	-	-
ცენტრალური რაიონი	-	1850	-	0.89	0.26
სამხრეთი რაიონი	1520	1520	-	-	0.22
თბილისის მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტი	-	200-400	-	0.40	0.5
კახეთის რაიონი	2200	-	-	-	-
კახეთის მუნიციპალიტეტი	2200	-	-	-	-
კახეთის მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტი	920-960	-	-	-	-
კახეთის მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტი	2500-2800	2500-2800	1350-1560	0.62	0.20
კახეთის მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტი	900-1300	900-1300	-	-	0.22
სამხრეთი რაიონი	1150-1250	1150-1250	600-700	-	-
სამხრეთი რაიონი	2460-2840	2700	1440-1700	00.60-0.80	0.14
კორპორატიული მფლობელობის მიწები	240	45	-	0.33	-
კორპორატიული მფლობელობის მიწები	-	190	-	0.04	0.45
კოქსის (ნატრის) მფლობელობის მიწები	1400	1400	450-500	-	0.20
კოქსის (ფხვინის) მფლობელობის მიწები	-	450	-	0.16	0.29
ლინკოლინის მფლობელობის მიწები	1150-1300	1180	-	0.16	-
მაგნიზის (ფხვინის) მფლობელობის მიწები	-	216	-	0.06	-
მაგნიზის მფლობელობის მიწები	-	8140	-	20.00	0.10
მარილის მფლობელობის მიწები	2150-2170	2150-2170	-	-	-
მარილის მფლობელობის მიწები	2500-2850	2700	-	1.12	0.10
მატყის მფლობელობის მიწები	-	200	-	0.04	0.22
მიწის მფლობელობის მიწები	2400-3900	2500	-	0.64	0.16
მიწის მფლობელობის მიწები	2000-2500	2000-2500	-	0.50-2.00	-
მიწის მფლობელობის მიწები	1600-1900	1500	-	0.12	-
ტენიანი მიწები	-	1700	690	0.57	0.48
ნაკარი მფლობელობის მიწები	2000	2000	600-900	-	0.20
ნაკარი ტენიანი მიწები	-	-	1400	-	0.20
ნახევრის (ხის) მფლობელობის მიწები	200	200	-	0.06	-
ნახევრის (ხის) მფლობელობის მიწები	-	-	-	-	-
არყის მფლობელობის მიწები	-	-	170-200	-	-
ფიჭვის მფლობელობის მიწები	-	-	120-150	-	-
ნიკელის მფლობელობის მიწები	-	11200	-	50.0	0.11
ნაქროვის მფლობელობის მიწები	-	8200	-	-	-
რკინის მფლობელობის მიწები	-	7850	-	50.00-60.00	0.11
რკინის მფლობელობის მიწები	1200	1200	-	0.14-0.33	0.33
სოფლის მფლობელობის მიწები	-	1450	900-1200	-	-
სურსათის მფლობელობის მიწები	8600-9100	8600-9100	-	-	-
სპილენძის მფლობელობის მიწები	8800	8800-8950	-	330.00	0.09
ტორფის მფლობელობის მიწები	510	-	370-420	-	0.33
ფაფურის მფლობელობის მიწები	2400	2400	-	0.89	0.26
ფოლადის მფლობელობის მიწები	-	7900	-	39.00	0.11
ფეხის მფლობელობის მიწები	-	7600	-	-	-
ფეხის მფლობელობის მიწები	-	2800	-	1.28	-
ფოსფორის მფლობელობის მიწები	-	1820	-	-	-
ქარხის მფლობელობის მიწები	-	2900	-	0.50	0.21
ქუჩის მფლობელობის მიწები	-	-	-	-	-
მშენებლის მფლობელობის მიწები	1200-1650	1500	1600	0.28	0.19
სეფის მფლობელობის მიწები	1900-2050	-	-	0.97	0.50
ქრომის მფლობელობის მიწები	-	7100	-	-	-
ჟინის მფლობელობის მიწები	880-920	920	-	1.94	0.54
ველურლოის მფლობელობის მიწები	-	1400	-	-	-
ველურლოის მფლობელობის მიწები	820-1950	1900	1400	-	-
ვიდაბეტონის (ნატრის) მფლობელობის მიწები	-	2150	-	0.80	0.21
ვიდა ბრძანების მფლობელობის მიწები	2500-3000	-	500-700	-	-
თუჯის მფლობელობის მიწები	7000-7800	7000-7800	-	-	-
რუხის მფლობელობის მიწები	6700-7600	7220	-	54.00	0.12
საინჟინერო მფლობელობის მიწები	7250	7250	-	-	-

19 ელემენტების ფიზიკურ-ქიმიური კონსტანტები

ცხრილი 7.

ელემენტების დასახელება	ქიმიური ნიშანი	სგ.	სიმკვრივე 20°C-ზე, გ/სმ ³	ღრუბის ტემპერატურა, °C	ფულის ტბა-რა (760მმ აუცილებელი ბოლო წნევის ძონის) °C	წინითი ხვედრობი სითბოს ტბა-რა ოქსიდის ტბა-ზე კალკულაცია °C	საზრდანი ბუნებრივების კონცენტრაციები ოქსიდის ტბა-ზე 10 ⁻³	სითბოტბა-რის კონცენტრაციები ოქსიდის ტბა-ზე კალკულაცია °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
აზოტი	N	-	1,1649 10 ⁻³	-209.86	-195.78	0.2470	-	0.600 10 ⁻⁴
ალუმინი	Al	9.99	2.70	660.10	2330	0.2140	2.40	0.480
არგონი	Ar	-	1.6626 10 ⁻³	-189.2	-185.9	0.1252	-	0.406 10 ⁻⁴
ბარიუმი	Ba	39.25	3.50	704	1600	0.0680	-	-
ბერილიუმი	Be	4.96	1.84	1284	2967	0.4250	1.23	0.3847
ბისმუტი	Bi	21.33	9.83	271.30	1460	0.0290	1.345	0.018
ბორი	B	4.70	2.34(აბორუელი) 3.30(კრისტალური)	2300	2550	0.3091	0.20	-
ბრომი	Br	25.62	3.12	-7.20	58.80	0.0703	-	-
გალიუმი	Ga	11.80	5.90	29.80	1983	0.0788	1.83	-
გაფნიუმი	Hf	15.66	13.30	"2000	>3200	-	-	-
გერმანიუმი	Ge	13.54	5.35	955	2700	0.0733	-	-
გოგირდი	S	15.46	2.07	112.80	444.60	0.1750	6.75	0.00063
დარიშხანი	As	13.10	5.73	814	-	0.0772	0.47	-
ვანადიუმი	V	8.84	5.96	1730	3000	0.1153	-	-
ვერცხელი	Ag	10.27	10.50	960	2193	0.0558	1.89	0.974
ვერცხლისწყალი	Hg	14.80	13.55	-38.87	356.58	0.0333	-	0.0248
თორიუმი	Th	20.20	11.50	1845	3500	0.0276	1.23	-
ინდიუმი	In	15.70	7.30	156.40	2100	0.0568	3.30	0.057
იოდი	J	25.70	4.93	113.50	184.40	0.0523	9.30	10.4 10 ⁻⁴
ირიდიუმი	Ir	8.60	22.40	2443	4900	0.0322	0.64	0.141
იურბიუმი	Yb	-	-	824	1800	-	-	-
იტრიუმი	Y	-	5.50	1490	4100	-	-	-
კადმიუმი	Cd	12.99	8.65	320.9	766	0.0547	2.98	0.217
კალციუმი	K	45.40	0.86	62.3	760	0.1770	8.40	0.230
კალკიუმი	Ca	26.10	1.55	850	1440	0.1550	2.20	-
კალა	Sn	16.30	7.31	232	2337	0.0541	2.10	0.157
კობალტი	Co	6.77	8.70	1492	3135	0.1080	1.25	0.160
კრიპტონი	Kr	-	3,488 10 ⁻³	-169.0	-153.20	-	-	0.212 10 ⁻⁴
ლანთანი	La	22.60	6.15	920	1800	0.0446	-	-
ლითიუმი	Li	13.00	0.53	186	1380	0.8100	5.80	0.160
მაგნიუმი	Mg	14.00	1.74	650	1100	0.2430	2.57	0.370
მანგანუმი	Mn	7.40	7.46	1260	2150	0.1070	2.30	-
მოლიბდენი	Mo	9.40	10.20	2625	4800	0.0647	0.51	0.346
ნატრიუმი	Na	23.00	0.971	97.7	883	0.228	7.10	0.320
ნახშირბადი	C	5.41	2.22	-	4000	0.1650	0.79	0.057
ნიკელიუმი	Nd	20.50	7.05	1024	-	0.0447	-	-
ნეონი	Ne	-	0,8387 10 ⁻³	-248.7	-246.1	-	-	1.092 10 ⁻⁴
ნიკელი	Ni	6.59	8.90	1453	2800	0.1065	1.35	0.198
ნიობიუმი	Nb	10.80	8.60	2416	3300	0.0645	0.72	-
ოსმიუმი	Os	8.38	22.50	2700	4400	0.0340	0.61	-
პალადიუმი	Pd	8.37	11.90	1552	3560	0.0586	1.17	0.186
პლატინა	Pt	9.10	21.45	1769	4000	0.0317	0.89	0.167
რადიუმი	Ra	45.20	5.00	700	1140	-	-	-
რადონი	Rn	50.45	4.40	-70.80	-61.70	-	-	-
რენიუმი	Re	8.90	20.50	3167	-	0.0346	-	-

ცხრილი 7. (დასასრული)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
როდიუმი	Rh	8.23	12.44	1960	4500	0.0598	0.89	0.213
რუბიდიუმი	Rb	55.87	1.53	38.80	679	0.0802	9.00	-
რუთენიუმი	Ru	8.33	12.20	2450	4500	0.0610	0.85	-
სამარიუმი	Sm	41.96	7.71	1052	-	-	-	-
სელენი	Se	16.40	4.81	220	685	0.0840	3.70	-
სტიბიუმი	Sb	18.39	6.62	630.50	1440	0.0493	1.13	0.0444
სტრონციუმი	Sr	33.70	2.60	770	1360	-	-	-
სპილენძი	Cu	7.21	8.95	1083	2582	0.0915	1.65	0.920
ტალიუმი	Tl	17.24	11.85	304	1457	0.0311	2.80	0.9315
ტანტალი	Ta	10.90	16.60	3000	>4100	0.0356	0.65	0.130
ტელური	Te	20.45	6.24	452	1007	0.0468	1.68	0.01438
ტიტანი	Ti	10.60	4.50	1660	>3000	0.1420	0.71	-
ტყვი	Pb	18.30	11.34	327.30	1750	0.0300	2.95	0.084
ურანი	U	12.73	18.70	1132	-	0.0276	-	-
ფოსფორი	P	17.00	1.82	44	282	0.1770	12.50	-
ფტორი	F	-	-	-223	-188	-	-	-
ქლორი	Cl	-	-	-101	-34.10	0.1240	1.14	0.172 10 ⁻⁴
ქრომი	Cr	7.29	7.10	1500	2300	0.1200	0.81	0.165
ცეზიუმი	Cs	69.95	1.90	29.70	690	0.0521	9.70	-
ცეროი	Ce	20.30	6.90	804	1400	0.0500	-	-
ციროკონიუმი	Zr	14.30	6.40	1860	>2900	0.0660	0.63	-
თუთია	Zn	9.16	7.14	420	907	0.0900	3.0	0.268

1.10 ზოგიერთი საკაზმე და სხვა მასალების ნაყარი წონა

ცხრილი 8.

მასალების მასახელება	კმ/მ	მასალების მასახელება	კმ/მ
რკინის ჯართი:			
შიმე	2500-3100	რკინის მადნის აგლომერატი	1700-
საშუალო	1100-2000		2000
მსუბუქი	300-1000	მანგანუმის მადანი	1700-
მიღების ნაჭრები	1000-მდე		2000
ფოლადის ჯართი		მაგნეზიტი (ფხენილი)	2100-
შიმე	2800-3500		2160
ბურბუშელა	1800-2200	წიდა: ბრძმედის	
თუჯი შოთისებრი	2800-3000	გრანულირებული 20-30%, ტენით	500-700
თუჯის და ფოლადის წერილი ჯართი	1800-2200	მარტენული	1600- 1800
ხენჯი რკინის	1900-2000	ბესემერული	1600- 1800
რკინის მადნები:			
მაგნიტური რკინაქვა	2500-3500	კირქვა	1500-
წითელი რკინაქვა	2000-2800		1700
მურა რკინაქვა	1200-2000	კირი: ნამქრალი გამომწვარი	600-700 450-500

2. ფიზიკური ძიების ძირითადი კანონები

2.1 აიროვანი მდგომარეობის ძირითადი კანონები

ბუნებაში ნივთიერებები იმყოფებიან სამ აგრეგატულ მდგომარეობაში: მყარი, თხევადი და აიროვანი სახით. აგრეგატულ მდგომარეობებს შორის განსხვავება განისაზღვრება მოლეკულებს შორის არსებული მანძილის მნიშვნელობისა და შეჭიდულობის ძალების სიდიდისგან. მოლეკულებს შორის არსებული მანძილის დიდი მნიშვნელობის დროს მათ შორის მოქმედი ურთიერთშეჭიდულობის ძალები მცირეა. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს აიროვან მდგომარეობას. თხევად და მყარ სხეულებში მოლეკულებს შორის არსებული მანძილი უმნიშვნელოა, ამიტომ მათ შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალები გაცილებით მეტი მნიშვნელობით ხასიათდებიან აირებთან შედარებით. სითხეები ადვილად იცვლიან თავიანთ ფორმას, მაგრამ ძლიერ წინააღმდეგობას უწევენ მოცულობის შეცვლას. მყარ სხეულებში კი მოლეკულები იჭერენ განსაკუთრებულ მდგომარეობას ერთმანეთის მიმართ, წარმოქმნიან რა სივრცულ კრისტალურ ცხაურს.

გარეშე პირობებისგან დამოკიდებულებით (ტემპერატურის და წნევის ცვალებადობა) ნივთიერებები იკაეებენ ერთ-ერთ აგრეგატულ მდგომარეობას.

ნებისმიერი აირის ფიზიკური მდგომარეობა ხასიათდება სამი ძირითადი პარამეტრით: ტემპერატურით (T), წნევით (P) და მოცულობით (V). აიროვანი მდგომარეობის შესწავლის დროს საჭიროა იდეალური აირის ცნების დადგენა.

იდეალური ეწოდება ბუნებაში არ არსებულ აირს, რომლის მოლეკულები აბსოლუტურად დრეკადია და მათ შორის ურთიერთშეჭიდულობის ძალები ნულის ტოლია. ამასთან იდეალური აირის მოლეკულები იკაეებენ უსასრულოდ მცირე მოცულობას აირის მოლეკულებთან შედარებით. აირის მოცულობა ეწოდება სივრცეს, რომელშიც გადაადგილდებიან მოცემული აირის შემადგენელი მოლეკულები.

სინამდვილეში არსებულ აირებს ეწოდება რეალური აირები. რეალური აირების მოლეკულები იკაეებენ განსაზღვრულ მოცულობას და ხასიათდებიან შეჭიდულობის ძალებით. ქვემოთ განხილული აიროვანი მდგომარეობის კანონები ეხებიან იდეალურ აირებს. იდეალური აირების ყველა კანონი მიახლოებით გამოიყენება რეალური აირებისათვის.

ფიზიკიდან ცნობილია ბოილ-მარიოტისა და გეი-ლუსაკის კანონები იდეალური აირებისათვის.

ბოილ-მარიოტის კანონის არსი გამოითქმება შემდეგნაირად: უცვლელი ტემპერატურის პირობებში აირის წნევისა და მოცულობის ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა. მათემატიკურად ეს კანონი გამოისახება ტოლობით:

$$P \cdot V = \text{Const},$$

სადაც P- არის წნევა;

V- მოცულობა;

Const მუდმივი სიდიდე, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მოცემული აირის გვარობის, ტემპერატურისა და რაოდენობისაგან. თუ V_1 და V_2 -ის საშუალებით ავლნიშნავთ აირის მოცულობებს სხვადასხვა წნევების: P_1 და P_2 მნიშვნელობის დროს, მაშინ:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad \text{ან} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1};$$

შარლ გეი-ლუსაკის კანონი ახასიათებს აირის მოცულობის ცვალებადობას ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით და გამოითქმება შემდეგნაირად: უცვლელი წნევის დროს აირის მოცულობა იცვლება აბსოლუტური ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულად. მათემატიკურად ეს კანონი გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{V}{T} = \text{Const},$$

სადაც, V - არის აირის მოცულობა;

T - აბსოლუტური ტემპერატურა;

Const მუდმივი სიდიდე, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მოცემული აირის გვარობის, რაოდენობისა და წნევისაგან;

ავოგადროს კანონის მიხედვით ნებისმიერი აირი უცვლელი მნიშვნელობის წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ტოლ მოცულობაში შეიცავს მოლეკულების ერთი და იგივე რიცხვს.

დაუშვათ ორი ტოლი მოცულობის ჭურჭელში (M^3) მოლეკულების რიცხვი შეადგენს M-ს ერთი და იგივე წნევისა და ტემპერატურის დროს. აირის წონა პირველ ჭურჭელში ტოლია γ_1 , კგ/მ³, ხოლო მეორე ჭურჭელში γ_2 , კგ/მ³, რაც ემთხვევა მოცემული აირების კუთრ წონებს. თუ აირების მოლეკულურ წონებს ავლნიშნავთ μ_1 და μ_2 ასოებით, მაშინ:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}; \quad \gamma \quad \nu = 1; \quad \gamma_1 \quad \nu_1 = 1; \quad \gamma_1 = \frac{1}{\nu_1}; \quad \gamma_2 = \frac{1}{\nu_2};$$

$$\text{ე.ი. } \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}; \quad \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}; \quad \mu_1 \rho_1 = \mu_2 \rho_2; \quad \text{ბოლო ტოლობა}$$

ზოგადი სახით დაიწერება შემდეგნაირად:

$$\mu \rho = \text{Const};$$

ე.ი. ყველა აირისათვის ერთი და იგივე წნევის და ტემპერატურის პირობებში მოლეკულური წონისა და კუთრი მოცულობის ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა. ამ ტოლობის არსის გასაგებად საჭიროა კილოგრამ/მოლეკულის ცნების გახსენება.

კილოგრამ-მოლეკულა, ან შემოკლებით მოლი ეწოდება აირის იმ რაოდენობას, რომლის წონა კილოგრამებში რიცხობრივად მისი მოლეკულური წონის ტოლია. მაგალითად: ვინაიდან აზოტის მოლეკულური წონა შეადგენს 28 - ს, მისი ერთი მოლი აიწონის 28 კილოგრამს. ასევე ჟანგბადის ერთი მოლი აიწონის 32 კგ-ს, წყალბადის - 2 კგ-ს და ა.შ.

თუ ნებისმიერი აირის კუთრ მოცულობას ν , მ³/კგ გავამრავლებთ კილოგრამების რიცხვზე, რომელიც ტოლია მისი მოლეკულური წონისა μ , მაშინ მივიღებთ ერთი მოლი აირის მოცულობას $\mu \nu$; თუ ამ ნამრავლს ავღნიშნავეთ ასოთი $V \mu$ მაშინ შეგვიძლია დაეწეროთ:

$$\mu \nu = V \mu = \text{Const};$$

ე.ი. მოლის მოცულობა ერთი და იგივე წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ყველა აირისათვის მუდმივი სიდიდეა. მაგალითად: აზოტისთვის, რომლის კუთრი მოცულობა 0°C და 760 მმ ვერცხ.წყ.სე.წნევის პირობებში: $\nu_0 = 0,8$ მ³/კგ, მოლი მოცულობა ტოლი იქნება სიდიდისა:

$$V_{0\mu} = \mu \nu_0 = 28 \cdot 0,8 = 22,4 \text{ მ}^3;$$

ჟანგბადისთვის, რომლის კუთრი მოცულობა 0°C და 760მმ ვერცხ.წყ.სე.წნევის დროს $\nu_0 = 0,7$ მ³/კგ, მოლის მოცულობა შეადგენს:

$$V_{0\mu} = \mu \nu_0 = 32 \cdot 0,7 = 22,4 \text{ მ}^3;$$

ამრიგად, მოლის მოცულობა ყველა აირისათვის ნორმალურ პირობებში (ტემპერატურა 0°C, ხოლო წნევა - 760მმ ვერცხ.წყ.სე) ტოლია 22,4 მ³.

ნებისმიერი აირის კუთრი მოცულობა და კუთრი წონა ნორმალურ პირობებში მოლეკულური წონის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$\nu_0 = \frac{22,4}{\mu}, \text{ მ}^3/\text{კგ}$$

$$\gamma_0 = \frac{1}{\nu_0} = \frac{\mu}{22.4}, \text{ ნმ}^3/\text{კმ}$$

თუ ადგილი აქვს აირის წნევისა და ტემპერატურის ერთდროულ შეცვლას, მაშინ მათ შორის ურთიერთდამოკიდებულება ერთი კილოგრამ-მოლეკულა აირისათვის განისაზღვრება ე.წ. აირების მდგომარეობის განტოლებით, რომელიც პირველად დი.მენდელეევიმ დაადგინა:

$$\frac{PV}{T} = \text{Const},$$

სადაც ჩონსტ, აღინიშნება ღ ასოთი და ეწოდება აირების უნივერსალური მუდმივა:

$$\frac{PV}{T} = R; \quad PV = RT,$$

სადაც P არის წნევა;

V - ერთი მოლი აირის მოცულობა;

T აბსოლუტური ტემპერატურა კელვინის სკალის გრადუსებში. აირის განსხვავებული რაოდენობისათვის, რომელიც შეიცავს n მოლს, მდგომარეობის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$PV = nRT;$$

ვინაიდან ავოგადროს კანონის მიხედვით სხვადასხვა აირების ტოლ მოცულობებში ერთი და იგივე წნევის და ტემპერატურის პირობებში მოლეკულების რიცხვი ტოლია, ამიტომ ნორმალურ პირობებში (ტემპერატურა უდრის 0°C, ხოლო წნევა - 760 მმ ვერცხ.წყ.სე.) ერთი მოლი ან ერთი კილოგრამ-მოლეკულა აირი დაიკავებს 22,4მ³ მოცულობას.

აირების უნივერსალურ მუდმივას, ღ-ის რიცხობრივი მნიშვნელობის განსაზღვრის მიზნით იყენებენ ფორმულას (ნორმალურ პირობებში: აირის წნევა უდრის 1 ატმ. ე.ი. 760 მმ.ვერცხ.წყ.სე.=10336 კგ/მ², მოცულობა შეადგენს 22,4მ³, ხოლო ტემპერატურა - 0°C);

$$\mu R = \frac{PV}{T} = \frac{10336 \cdot 22.4}{273} = 848 \text{ კგ/მოლ. } 0^\circ\text{C};$$

$$R = \frac{848}{\mu}, \text{ კგ/მოლ. } 0^\circ\text{C};$$

ე.ი. ნებისმიერი აირის მოლეკულური წონის მიხედვით ადვილად განისაზღვრება აირების მუდმივას რიცხობრივი მნიშვნელობა.

2.2 მასების მოქმედების კანონი

ცნობილია, რომ ქიმიური რეაქციის სინქარე პირდაპირპროპორციულია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების კონცენტრაციისა. დაუშვათ A და B ნივთიერებებს შორის მიმდინარეობს ქიმიური უკურეაქცია, რომლის შედეგად წარმოიშებიან ნივთიერებანი C და D :

$$A+B=C+D$$

პირდაპირი რეაქციის სინქარე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$V_1=K_1 \cdot C_A \cdot C_B$$

სადაც K_1 არის პირდაპირი რეაქციის სინქარის კონსტანტა, რომელიც დამოკიდებულია საწყისი ნივთიერებების გვარობისა და ტემპერატურისაგან; C_A და C_B - A და B ნივთიერებების კონცენტრაციები დროის მოცემულ მომენტში;

პირდაპირი რეაქციის განეთარების შედეგად საწყისი ნივთიერებების, A და B კონცენტრაციები მცირდება, ხოლო რეაქციის შედეგად წარმოშობილი ნივთიერებების, C და D კონცენტრაციები იზრდება. ეს გამოიწვევს უკურეაქციის სინქარის გაზრდას. უკურეაქციის სინქარე გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$V_2=K_2 \cdot C_c \cdot C_D,$$

სადაც K_2 არის უკურეაქციის სინქარის კონსტანტა, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია რეაქციის პროდუქტების, C და D გვარობისა და ტემპერატურისაგან;

C_c და C_D - c და d ნივთიერებების კონცენტრაციები დროის განხილულ მომენტში;

პირდაპირ და უკურეაქციას შორის წონასწორობა დამყარდება, როდესაც მათი სინქარეები გათანაბრდება,

$$V_1= V_2 \quad \text{ე.ი.}$$

$$K_1 C_A \cdot C_B = K_2 \cdot C_c \cdot C_D \quad \text{ან} \quad \frac{K_1}{K_2} = \frac{C_c \cdot C_D}{C_A C_B} = K_c,$$

სადაც K_c არის რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა, რომელიც დამოკიდებულია საწყისი ნივთიერებების და რეაქციის პროდუქტების გვარობასა და ტემპერატურისაგან.

თუ საწყისი ნივთიერებების და რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციებს შესაბამისად ავლინებთ ასობით: [A], [B], [C] და [D], მაშინ რეაქციის წონასწორობის განმსაზღვრელი განტოლება მიიღებს სახეს:

$$K_C = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

ვინაიდან ქიმიური რეაქციების უმეტესობაში მონაწილეობენ A და B ნივთიერებების რამოდენიმე მოლეკულა: $mA+nB=pC+qD$, ამიტომ ამ რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა განისაზღვრება განტოლებით:

$$K_C = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^m [B]^n}$$

ეს განტოლება გამოხატავს მასების მოქმედების კანონს, რომელიც გამოითქმება შემდეგნაირად: წონასწორობის პირობებში რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციების ნამრავლის შეფარდება საწყისი პროდუქტების კონცენტრაციების ნამრავლისადმი მოცემულ ტემპერატურაზე, წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. მაგალითად: რეაქციისათვის $2CO+O_2=2CO_2$ წონასწორობის კონსტანტა ტოლი იქნება სიდიდისა:

$$K_C = \frac{[CO_2]^2}{[CO]^2 [O_2]}$$

აიროვანი ნივთიერებების კონცენტრაცია შეიძლება გამოიხატოს მათი პარციალური წნევების საშუალებით, ამასთან წონასწორობის კონსტანტა აღინიშნება ასოთი K_p ე.ი.

$$K_p = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}^2 P_{O_2}}$$

სადაც P_{CO_2} , P_{CO} და P_{O_2} ნახშირორჟანგის, ნახშირჟანგის და ჟანგბადის პარციალურ წნევებს წარმოადგენენ.

2.3 წონასწორობის დარღვევის პრინციპი

ბუნებში ადგილი აქვთ უაუქცევად და არაუაუქცევად ქიმიურ რეაქციებს. უაუქცევადი ეწოდება ისეთ რეაქციას, რომლის შედეგად წარმოშობილი პროდუქტები ერთმანეთთან რეაგირებით წარმოქმნიან ამ რეაქციის საწყის პროდუქტებს. უაუქცევადი რეაქციების დამახასიათებელი თავისებურება ის არის, რომ ისინი ბოლომდე არასდროს არ ვითარდებიან.

არაუკუქცევადი ეწოდება ისეთ რეაქციას, რომელიც მიმდინარეობს საწყისი პროდუქტების სრულ გარდაქმნამდე საბოლოო პროდუქტებად. არაუკუქცევადობის ძირითადი პირობაა რეაქციის პროდუქტების მოცილება მისი მოქმედების სფეროდან. მაგალითად: ნახშირბადის დაჟანგვის რეაქცია მარტენული ღუმელის აბაზანაში არის არაუკუქცევადი, ვინაიდან ამ რეაქციის ერთ-ერთი პროდუქტი CO განუწყვეტლად სცილდება რეაქციის ზონას, ინტენსიურად გადადის ლითონის აბაზანიდან ატმოსფეროში, ღუმელის საშუალო სიერცეში.

წონასწორული ეწოდება ისეთ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში რეაქციაში არ შეიმჩნევა რაიმე ცვლილება. წონასწორობა მყარდება არა იმიტომ, რომ რეაქცია წყდება, არამედ იმიტომ, რომ პირდაპირი და უკურეაქციის სიჩქარეები ერთმანეთს უტოლდება.

ქიმიური რეაქციის წონასწორობა ხასიათდება გარკვეული ტემპერატურით, წნევით და საწყისი და საბოლოო პროდუქტების კონცენტრაციით. თუ შეიცვლება ერთ-ერთი მათგანი, წონასწორობა დაირღვევა და რეაქცია განვითარდება ერთი ან მეორე მიმართულებით.

წონასწორობის დარღვევის დროს რეაქციის მიმართულების დადგენისათვის იყენებენ წონასწორობის დარღვევის პრინციპს ან როგორც მას უწოდებენ, ლე-შატელიეს პრინციპს. ლე-შატელიეს პრინციპი იკითხება შემდეგნაირად: თუ წონასწორობაში მყოფი სისტემა განიცდის გარეშე ფაქტორების ზემოქმედებას (მაგალითად: იცვლება ტემპერატურა, წნევა ან კონცენტრაცია), მაშინ სისტემაში წარმოიშვება ისეთი ცვლილება, რომელიც წინააღმდეგობას გაუწევს ამ ზემოქმედებას და ეცდება აღადგინოს პირველადი მდგომარეობა. ამ კანონის საფუძველზე ტემპერატურის და წნევის გააღება შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად: ტემპერატურის გაზრდა ხელს შეუწყობს რეაქციის იმ ნივთიერებების კონცენტრაციის გადიდებას, რომელნიც წარმოიშვებიან ტემპერატურის შთანთქმით. ტემპერატურის შემცირება კი გამოიწვევს იმ ნივთიერებათა კონცენტრაციის გაზრდას, რომელთა წარმოშობას თან სდევს სითბოს გამოყოფა.

წნევის გაზრდა დააჩქარებს იმ ნივთიერებების წარმოქმნას, რომელსაც მოცემულ პირობებში იკავებენ შედარებით მცირე მოცულობას. წნევის შემცირება კი იმოქმედებს პირიქით.

2.4 განაწილების კანონი

თუ ორი შეურეველი სითხისაგან შემდგარ არაერთგვაროვან სისტემაში შევიტანთ მესამე ნივთიერებას, რომელიც იხსნება ორივე სითხეში, მაშინ ეს ნივთიერება სითხეებს შორის განაწილდება ქვემოთმოყვანილი კანონის მიხედვით: ორი ურთიერთშეურეველ სითხეებს შორის განაწილებული ნივთიერების კონცენტრაციების (ან აქტიურობათა) შეფარდება ყოველ მოცემულ ტემპერატურაზე წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს და დამოკიდებული არ არის თითოეული გამხსნელი ან გასახსნელი ნივთიერებების აბსოლუტური ან შეფარდებითი რაოდენობისაგან. ეს კანონი განაწილების კანონის სახელწოდებითაა ცნობილი და დიდი მნიშვნელობა აქვს მეტალურგიული პროცესებისათვის. მეტალურგიულ პროცესებში შეურეველ სითხეებს წარმოადგენენ თუჯი და წიდა, ფოლადი და წიდა და სხვა.

განაწილების კანონი მათემატიკურად გამოისახება შემდეგნაირად:

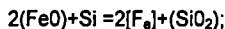
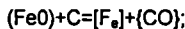
$$L = \frac{\alpha(m)}{\alpha[m]} = \frac{(M)}{[M]},$$

სადაც L არის ელემენტის ან ნივთიერება M -ის განაწილების კოეფიციენტი;

$\alpha(m)$ და (M) – შესაბამისი ელემენტის ან ნივთიერების აქტიურობა და კონცენტრაცია წიდაში;

$\alpha(m)$ და $[M]$ – შესაბამისი ელემენტის ან ნივთიერების აქტიურობა და კონცენტრაცია ლითონში;

ელექტროფოლადის წარმოებაში დიდი გამოყენება აქვს ე.წ. დიფუზიურ განებანგვას, რომლის არსი მდგომარეობს შემდეგში: დნობის გამოშვების წინ წიდაზე აყრიან განმჟანგავ ნარევეს, რომელიც შესდგება დაფქული კოქსწერილასა და ფეროსილიციუმის ნარჩენისაგან. წიდაში მყოფ რკინის ქვეჟანგსა და განმჟანგავ ნარევეს შორის ვითარდება რეაქციები:



რკინის ქვეჟანგი იხსნება წიდაში და ლითონში და მისი განაწილება მათ შორის შეიძლება აიხსნას განაწილების კანონით:

$$L_{FeO} = \frac{\alpha_{(FeO)}}{\alpha_{[FeO]}} = \frac{(FeO)}{[FeO]},$$

სადაც L_{FeO} არის წილისა და ლითონს შორის FeO -ს განაწილების კოეფიციენტი;

$\alpha_{(FeO)}$, $\alpha_{[FeO]}$ – რკინის ქვეჟანგის აქტიურობა წიდასა და ლითონში;

(FeO) და $[FeO]$ – რკინის ქვეჟანგის კონცენტრაცია წიდასა და ლითონში;

ვინაიდან რკინის ქვეჟანგის განაწილების კოეფიციენტი L_{FeO} მოცემულ ტემპერატურაზე წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, ამიტომ რკინის ქვეჟანგის განაწილების განტოლება არ დაირღვევა, თუ წიდაში არსებული რკინის ქვეჟანგის კონცენტრაციის შემცირების შემთხვევაში, ლითონში გახსნილი რკინის ქვეჟანგის ნაწილი გადავა წიდაში. დროის განმავლობაში თანდათან შემცირდება რკინის ქვეჟანგის კონცენტრაცია წიდასა და ლითონში, ხოლო ამ კონცენტრაციების შეფარდება მუდმივი დარჩება.

ამრიგად, განაწილების კანონის მოქმედებაზე დაყრდნობით წარმატებით ანხორციელებენ ლითონიდან ჟანგბადის, გოგირდისა და ფოსფორის მოცილების ამოცანას.

2.5 მარტივი და რთული ქიმიური რეაქციების სიჩქარე

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება რეაგირებული ნივთიერების რაოდენობით დროის გარკვეულ მონაკვეთში. რეაქციის საშუალო სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით:

$$V_{საშ} = \frac{C_1 - C_2}{\tau}$$

სადაც C_1 არის რეაქციში შესული ნივთიერების კონცენტრაცია რეაქციის დაწყების მომენტში;

C_2 – იმავე ნივთიერების კონცენტრაცია რეაქციის დამთავრების მომენტში;

τ – ქიმიური რეაქციის ხანგრძლივობა.

ქიმიური რეაქციის დაწყება-განვითარების ძირითადი პირობაა მოლეკულების ან ატომების შეჯახება. აიროვან ნივთიერებებს შორის ქიმიური რეაქციის განვითარების დროს თითოეული მოლეკულა განიცდის ათმილიარდობით შეჯახებას წამში. ამასთან გარკვეული სიჩქარით მიმდინარე რეაქციებში ქიმიურ ურთიერთმოქმედებას იწვევს მოლეკულების შეჯახებების

მცირე ნაწილი. მოლეკულების და ატომების შეჯახებანი, რომელნიც იწვევენ ქიმიურ ურთიერთმოქმედებას ატარებენ ეფექტურ შეჯახებების სახელს.

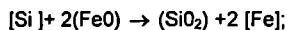
ეფექტურ შეჯახებებს ადგილი აქვთ მხოლოდ ისეთ მოლეკულებს შორის, რომლებსაც შეჯახების მომენტში გააჩნიათ შინაგანი ენერჯის გარკვეული სიჭარბე მოცემულ ტემპერატურაზე არსებულ შინაგანი ენერჯის საშუალო დონესთან შედარებით. ეს ენერჯია, რომელიც აუცილებელია მოლეკულების ქიმიურ რეაქციაში მონაწილეობისათვის, წარმოადგენს ე.წ. აქტივაციის ენერჯიას.

№3 სურათზე მოცემულია რეაგირებული სისტემის ენერჯის ცვალებადობა რეაქციის მსვლელობის მიხედვით.

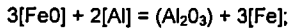
თუ პირდაპირი რეაქცია – სისტემის I მდგომარეობიდან II მდგომარეობაში გადასვლა – ეგზოთერმულია, მაშინ რეაქციის პროდუქტების ენერჯის საერთო მარაგი ნაკლებია საწყისი ნივთიერებების ენერჯის მარაგთან შედარებით და ამ რეაქციის შედეგად სისტემა გადადის შედარებით დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე. ენერჯის I და II დონეთა სხვაობა რიცხობრივად ტოლია რეაქციის თბური ეფექტისა. ენერჯის დონე, შეესაბამება ასოს, განსაზღვრავს იმ მინიმალური მარაგის დონეს, რაც აუცილებელია ქიმიური რეაქციის დაწყებისათვის მოლეკულების შეჯახების დროს. თუ სისტემის ენერჯის მარაგი A დონესთან შედარებით ნაკლები იქნება, მაშინ ქიმიური რეაქცია არ დაიწყება. ენერჯის A და I დონეებს შორის სხვაობა არის პირდაპირი ქიმიური რეაქციის აქტივაციის ენერჯია – E_1 , ხოლო და II დონეთა შორის ენერჯის სხვაობა უკურეაქციის აქტივაციის ენერჯია – E_2 ამრიგად, საწყისი მდგომარეობიდან საბოლოო მდგომარეობაში მოხედრისათვის სისტემამ უნდა გადალახოს გარკვეული ენერგეტიკული ზღუდე.

ზემოთნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ რაც უფრო მაღალია ენერჯის დონე, ენერგეტიკული ზღუდე (ან აქტივაციის დონე) მოლეკულების მით უფრო ნაკლებ ნაწილს ექნება უნარი ყოველ მოცემულ მომენტში მონაწილეობა მიიღოს ქიმიურ რეაქციაში ე.ი. მით უფრო ნაკლები იქნება რეაქციის სიჩქარე.

იმის მიხედვით თუ ქიმიური რეაქციები სისტემის ფაზის რომელ ნაწილში ვითარდებიან განარჩევენ მათ ორ სახესხვაობას: ზედაპირულ (ადგილი აქვს ფაზების გაყოფის ზედაპირზე; მაგალითად: წიდა-ლითონი) და მოცულობით რეაქციებს. ზედაპირული რეაქციის მაგალითია სილიციუმის დაქანგვა წილისა და ლითონის ზედაპირზე:

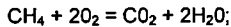


მოცულობით რეაქციებს მიეკუთვნება ფოლადის განქანგვა ალუმინით:

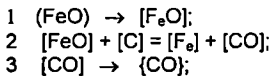


ზედაპირული რეაქციების სინქარე მოცულობით რეაქციებთან შედარებით ნაკლებია. ეს გარემოება გამოწვეულია იმით, რომ ზედაპირული რეაქციის განვითარებისათვის საჭიროა მარეაგირებელი ნივთიერებების დიფუზია შეხების ზედაპირისაკენ და ამ ზედაპირიდან რეაქციის პროდუქტების მოცილება დიფუზიის გზითვე.

ქიმიური რეაქცია შეიძლება მიმდინარეობდეს ერთ ფაზაში ე.ი. რეაქციის საწყისი და საბოლოო პროდუქტები იყენენ ერთ აგრეგატულ მდგომარეობაში და რამოდენიმე ფაზაში ე.ი. რეაქციის საწყისი და საბოლოო ნივთიერებანი იყენენ რამოდენიმე აგრეგატულ მდგომარეობაში. ამ მხრივ განარჩევენ ქიმიური რეაქციების ორ სახესხვაობას ჰომოგენურ (ერთგვაროვან) და ჰეტეროგენურ (არაერთგვაროვან) რეაქციებს. ჰომოგენური რეაქციის მაგალითია მეთანის სრული დაჟანგვის რეაქცია ღუმელის სამუშაო სივრცეში:



ჰეტეროგენური რთული ქიმიური რეაქციის მაგალითია ნახშირბადის დაჟანგვის რეაქცია მარტენის ღუმელის აბაზანაში:



როგორც ჩანს ნახშირბადის დაჟანგვის რეაქცია შესდგება შემდეგი საფეხურებისაგან. 1. ჟანგბადის დიფუზია წიდიდან ლითონში (რკინის ქვეჟანგის სახით) 2. ლითონში ჟანგბადსა და ნახშირბადს შორის რეაქცია, 3. რეაქციის პროდუქტის, CO-ს გამოყოფა ლითონიდან საღუმელე ატმოსფეროში.

ჰეტეროგენული რთული ქიმიური რეაქციის სინქარე განისაზღვრება პროცესის ყველაზე ნაკლებსინქარიანი სტადიით. ნახშირბადის დაჟანგვის რთული რეაქციის ყველაზე მცირესინქარიანი საფეხურია ჟანგბადის დიფუზია წიდიდან ლითონში.

2.6 ქიმიური თვისობის შესახებ

ქიმიური თვისობა (ან სწრაფვა) ეწოდება ნივთიერებების ქიმიური ურთიერთმოქმედების უნარს. ნივთიერებების ქიმიური თვისობის ცოდნა საშუალებას იძლევა დადგინდეს, თუ პირველ რიგში რომელ ნივთიერებებს შორის განვითარდება ქიმიური რეაქცია. მაგალითად:

თუ გამდნარ ნარევეში სამი სხვადასხვა ნივთიერება A, B და C იმყოფება, და ამასთან, ნივთიერება A -ს ქიმიური თვისობა (სწრაფვა) ნივთიერება B-სადმი უფრო ძლიერია შედარებით A -ს ქიმიურ თვისობასთან ნივთიერება C-სადმი, მაშინ ქიმიური რეაქცია პირველ რიგში განვითარდება A და B ნივთიერებებს შორის.

ყველა ნივთიერებას ახასიათებს შინაგანი ენერჯის გარკვეული მარაგი. ნივთიერებათა შინაგანი ენერჯის სრული მარაგია მათი შემადგენელი ყველა ნაწილაკის კინეტიკური და პოტენციალური ენერჯიების ჯამი. შინაგანი ენერჯია იზომება კალორიებში და მას ჩვეულებრივ განსაზღვრავენ ერთ გრამ მოლეკულისთვის. ფიზიკურ ქიმიაში ნივთიერების შინაგან ენერჯიას აღნიშნავენ U ასოთი.

ნივთიერებების აგრეგატული ან ქიმიური გარდაქმნების დროს მათი შინაგანი ენერჯია იზრდება ან მცირდება. შენაგანი ენერჯია იზრდება მაშინ, როდესაც სისტემას გადაეცემა გარეშე ენერჯია და მცირდება, როდესაც ნივთიერების შინაგანი ენერჯიის ნაწილი სითბოს ან მუშაობის სახით გადაეცემა გარემომცველ გარემოს.

თუ საწყის მდგომარეობაში ნივთიერების (ან სისტემის) შინაგანი ენერჯია შეადგენს U_1 , ხოლო საბოლოო მდგომარეობაში – U_2 , მაშინ სხვაობას:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

უწოდებენ შინაგანი ენერჯიის ცვალებადობას. თუ განხილულ სისტემაში ადგილი აქვს შინაგანი ენერჯიის გაზრდას, მაშინ სიდიდე U დადებითია და პირიქით.

შინაგანი ენერჯიის მუშაობაში მთლიანად გარდაქმნა შეუძლებელია, შინაგანი ენერჯიის იმ ნაწილს, რომლის გარდაქმნა მუშაობაში შეუძლებელია შეკავშირებულ ენერჯიას უწოდებენ და აღინიშნება G ასოთი. შინაგანი ენერჯიის მეორე ნაწილს, რომელსაც უნარი აქვს შეასრულოს სასარგებლო მუშაობა,

თავისუფალი ენერგია ეწოდება და აღნიშნავენ ასო F-ით. ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ:

$$\begin{aligned} U &= G + F \\ F &= U - G \\ G &= U - F \end{aligned}$$

შეკავშირებული ენერგია G არის ტემპერატურისგან დამოკიდებული და განისაზღვრება ფორმულით:

$$G = TS$$

სადაც T არის ტემპერატურა კელვინის სკალით; ; °K;

S – ენტროპია; [კალ/გრად მოლი]

ენტროპიის ცვალებადობა ქიმიური რეაქციის დროს განისაზღვრება რეაქციის პროდუქტების ენტროპიათა ჯამის გამოკლებით რეაქციის საწყისი ნივთიერებების ენტროპიების ჯამიდან. ენტროპიის ფიზიკური არსი შეიძლება დადგინდეს მისი განსაზღვრებიდან. ენტროპია არის სხეულის ტედალობა შეკავშირებული ენერგიისათვის და მისი მასის პროპორციულია. მასის ერთეულის შესაბამისი კუთრი ენტროპია არის ნივთიერების მოლეკულების და ატომების მოძრაობის ქაოტიურობის მაჩვენებელი. ჩვეულებრივ განსაზღვრავენ ენტროპიის არა აბსოლუტურ მნიშვნელობას, არამედ მის ცვალებადობას ამა თუ იმ პროცესში. ენტროპიის გაზრდას მოსდევს სისტემის მუშაობის უნარიანობის შემცირება.

$$F = U - G = U - TS,$$

ფუნქცია F წარმოადგენს იზოქორულ პოტენციალს ან თავისუფალ ენერგიას მუდმივი მოცულობის პირობებში.

ნივთიერების ან სისტემის თავისუფალი ენერგიების ცვალებადობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$F_{\Delta} F = \Delta U - T \Delta S;$$

მუდმივი ტემპერატურისა და წნევის ქვეშ მყოფი სისტემაში პროცესის მსვლელობის მიმართულების განმსაზღვრელ ფუნქციას ეწოდება იზობარული პოტენციალი, აღნიშნავენ Z ასოთი და განისაზღვრება ფორმულით:

$$\begin{aligned} Z &= H - TS \\ Z &= U - TS + pV \\ Z &= F + pV \end{aligned}$$

აქ H არის სითბოშემცველობა ან ენტალპია. იგი წარმოადგენს (ნივთიერების წონის ერთეულისათვის) კუთრი სითბოტევალობის ტემპერატურაზე ნამრავლს მუდმივი წნევის პირობებში.

ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ენტალპიის გადიდებას, მაგრამ ამ პირობებში უფრო სწრაფად მატულობს შეკავშირებული ენერგია, რაც თავის მხრივ იწვევს თავისუფალი ენერგიის შემცირებას.

თავისუფალი ენერგიის ცვალებადობა ქიმიური თვისობის ძირითადი განმსაზღვრელი სიდიდეა. რაც უფრო მეტია თავისუფალი ენერგიის ან იზობარული პოტენციალის ცვალებადობა, მით უფრო ძლიერია ქიმიური თვისობა.

სულფიდების, კარბონატების და სილიკატების წარმოქმნის ქიმიური რეაქციების თავისუფალი ენერგიის ცვალებადობა.

ცხრილი 9.

რეაქცია	თავისუფალი ენერგიის ცვალებადობის ბანალუმი, კალ	თავისუფალი ენერგიის ცვალებადობა, კალ	
		წარმოქმნილი შენაერთის 1 კგ-ზე	ვანგბადის 1 კგ-ზე
1	2	3	4
	ს უ ლ ფ ი დ ე ბ ი (1650°C)		
$Ca + \frac{1}{2} S_2 = CaS$	(ΔZ) = - 168335 + 45,72 T	- 80445	- 5020
$M_n + \frac{1}{2} S_2 = M_nS$	(ΔZ) = - 62770 + 15,40 T	- 3307	- 2060
$Fe + \frac{1}{2} S_2 = FeS$	(ΔZ) = - 36070 + 12,74 T	- 18570	- 1150
	კ ა რ ბ ო ნ ა ტ ე ბ ი (300°C)		
$CaO + CO_2 = CaCO_3$	(ΔZ) = - 136690 + 33,5 T	- 115196	- 2620
$M_2O + CO_2 = M_2CO_3$	(ΔZ) = - 28100 + 40,6 T	- 4800	- 110
$M_nO + CO_2 = M_nCO_3$	(ΔZ) = - 27000 + 41,7 T	- 3100	- 70
	ს ი ლ ი კ ა ტ ე ბ ი (1000°C)		
$2CaO + SiO_2 = 2CaO \cdot SiO_2$	(ΔZ) = - 34500 - 3,34 T	- 38750	- 625
$2M_2O + SiO_2 = 2M_2O \cdot SiO_2$	(ΔZ) = - 15100 + 0,45 T	- 14530	- 240
$2FeO + SiO_2 = 2FeO \cdot SiO_2$	(ΔZ) = - 12240 + 4,990 T	- 5990	- 100
$2M_nO + SiO_2 = 2M_nO \cdot SiO_2$	(ΔZ) = - 3250 + 1,38 T	- 1500	- 25

ჟანგბულებიწ წარმუქმნიწ ქიმიური რეაქციეების თაიწსუფალი ენერგიის ცვალებადობა (1600°C ტემპერატურაზე)

ცხრილი 10.

რ ე ა მ ც ი ა	თაიწსუფალი ენერგიის ცვალეაბადობის ბანტოლეაბები კაჲ	თაიწსუფალი ენერგიის ცვალებადობა, კაჲ	
		წარმუქმნილი ჟანგბულის 1 კგმოლზე	ჟანგბადის 1 კგმოლზე
1	2	3	4
$\text{Ca}_{(აირი)} + \text{O} = \text{CaO}_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -190125 + 42,62 \text{ T}$	- 102810	- 6425
$2\text{Al}_{(თხევალი)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{Al}_2\text{O}_3_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -386250 + 66,45 \text{ T}$	- 261790	- 5450
$\text{Zr}_2_{(მყარი)} + \text{O}_2 = \text{Zr}_2\text{O}_2_{(თხევალი)}$	$\Delta Z = -234360 + 35,60 \text{ T}$	- 167680	- 5240
$\text{Ti}_{(მყარი)} + \text{O}_2 = \text{TiO}_2_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -217500 + 41,40 \text{ T}$	- 139960	- 4360
$\text{Si}_{(თხევალი)} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -217570 + 48,79 \text{ T}$	- 126290	- 3940
$\text{Mn}_{(თხევალი)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{MnO}_{(თხევალი)}$	$\Delta Z = -95400 + 19,62 \text{ T}$	- 58650	- 3665
$2\text{Cr}_{(მყარი)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{Cr}_2\text{O}_3_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -275610 + 66,31 \text{ T}$	- 151510	- 3160
$\text{Al}_2\text{O}_3_{(მყარი)}$		- 35450	- 2215
$\text{Fe}_{(თხევალი)} + \text{O}_2 = \text{FeO}_{(თხევალი)}$	$\Delta Z = -55625 + 10,83 \text{ T}$	-52930	- 1650
$\text{Mo}_{(მყარი)} + \text{O}_2 = \text{MoO}_2_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -133600 + 43,07 \text{ T}$	-2223140	- 1440
$\text{Co}_{(თხევალი)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{CoO}_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -59850 + 19,0 \text{ T}$	- 13990	- 875
$\text{Ni}_{(თხევალი)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{NiO}_{(მყარი)}$	$\Delta Z = -62650 + 25,98 \text{ T}$	-12550	- 785
$2\text{Cu}_{(თხევალი)} + \text{O}_2 = 2\text{CuO}_{(თხევალი)}$	$\Delta Z = -46070 + 19,64 \text{ T}$		

ცხრილი 9-დან ჩანს, რომ:

1. სულფიდებს შორის თავისუფალი ენერჯის მაქსიმალური ცვალებადობა შეესაბამება CaS . ეს ნიშნავს, რომ მოცემულ ლითონთაგან კალციუმში ხასიათდება მაქსიმალური თვისობით გოგირდისადმი.
2. კარბონატებიდან თავისუფალი ენერჯის მაქსიმალური ცვალებადობა შეესაბამება CaCO_3 . ეს ნიშნავს, რომ განხილული ლითონების ჯანგულებიდან CaO ხასიათდება მაქსიმალური თვისობით CO_2 -სადმი.
3. სილიკატების წარმოქმნისას თავისუფალი ენერჯის ცვალებადობა შეესაბამება 2CaO SiO_2 . ეს ნიშნავს, რომ განხილულ ლითონთა ჯანგულებიდან CaO აქვს მაქსიმალური ქიმიური თვისობა აკუმულაციასადმი.

ქიმიურ თვისობასა და ქიმიური შენაერთების სიმტკიცეს შორის არსებობს პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება. რაც უფრო ძლიერია ქიმიური თვისობა (სწრაფვა), მით უფრო მტკიცეა ქიმიური შენაერთი. №9 ცხრილის მონაცემიდან ცანს, რომ სულფიდებს შორის ყველაზე მტკიცე ქიმიური ნაერთია CaS , კარბონატებს შორის – CaCO_3 , ხოლო სილიკატებიდან – 2CaOSiO_2 .

№10 ცხრილის მონაცემის მიხედვით განხილული ელემენტებისგან თავისუფალი ენერჯის მაქსიმალურ ცვალებადობას ადგილი აქვს კალციუმის დაჯანგვის დროს, ხოლო თავისუფალი ენერჯის მინიმალურ ცვალებადობას – სპილენძის დაჯანგვის დროს. აქედან ცხადია, რომ კალციუმს აქვს მაქსიმალური ქიმიური თვისობა ჯანგბადისადმი, ხოლო სპილენძს – მინიმალური ქიმიური თვისობა ჯანგბადის მიმართ.

№10 ცხრილში მოცემული ელემენტები თავისუფალი ენერჯის ცვალებადობის შემცირების მიხედვით განლაგებიან შემდეგი თანმიმდევრობით: Ca , Al , Zn , Si , Mn , Cr , Fe , Mo , Co , Ni და Cu . ასეთივე თანმიმდევრობით მცირდება მათი ქიმიური თვისობა ჯანგბადისადმი.

2.7 აირების ხსნადობა ლითონებსა და შენადნობებში

აირების ხსნადობა სითხეებში მათი დამახასიათებელი თვისებაა. აირების სითხეებში გახსნის პროცესს აბსორბაცია ეწოდება. აირების ხსნადობა სითხეებში დამოკიდებულია მათი და გამხსნელის გეარობისა, წნევისა და ტემპერატურისგან. აირების ხსნადობა სითხეებში იზრდება წნევის გადიდებით და ტემპერატურის შემცირებით.

აირების ლითონებში და შენადნობებში გახსნის დროს ადგილი აქვთ შედარებით რთულ მოვლენებს. აირების ნაწილაკები ლითონში ან შენადნობში გადასვლის შემდეგ ადსორბირდებიან სითბოს გამოყოფით და მოლეკულების დისოციაციით ატომებზე. სითხის ზედაპირის მიერ ადსორბირებული ატომები გადადიან ლითონის მოცულობაში და განსაზღვრულ პირობებში რეაქციაში შედიან ხსნარის კომპონენტებთან. ლითონში გახსნილი აირის კონცენტრაციის გათანაბრება მის მთლიან მოცულობაში წარმოებს ატომარული და კონვექციური დიფუზიის გზით.

აირების გახსნის პროცესი ლითონებში და შენადნობებში ხასიათდება უარყოფითი თბური ეფექტით, ამიტომ ტემპერატურის გაზრდა, უმეტეს შემთხვევაში, იწვევს მათი ხსნადობის გადიდებას.

ატომარული აირის ხსნადობის დამოკიდებულება ტემპერატურისგან განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = Ce^{-\frac{Q}{RT}}$$

სადაც S არის აირის ხსნადობა ლითონში;

C – მუდმივი სიდიდე;

Q – აირის მიერ ნადნობის კომპონენტებთან ხსნარის ან ქიმიური შენაერთის წარმოშობის სითბო;

K – ბოლცმანის მუდმივა;

T – აბსოლუტური ტემპერატურა.

ყველა ლითონსა და შენადნობს აქვს აირების გახსნის უნარი. გადასამუშავებელ სამარტენო თუჯში წყალბადის შემცველობა შეადგენს 2.5–4.5სმ³-ს 100 გრამ ლითონზე. მეორად ალუმინში გახსნილი აირების რაოდენობა აღწევს 150სმ³-მდე 100 გრამ ლითონზე.

ფოლადში გახსნილი აირები აუარესებენ მის მექანიკურ და ტექნოლოგიურ თვისებებს, ხელს უწყობენ სერიოზული დეფექტების წარმოშობას ლითონის სტრუქტურაში. მაგალითად: წყალბადის შემცველობა ფოლადში დაკავშირებულია ისეთი სტრუქტურული დეფექტების წარმოშობასთან, როგორც არიან ფლოკენები.

ყველა ლითონი შთანთქავს წყალბადს. ისეთი ლითონები, როგორც არიან რკინა, მანგანუმი, ალუმინი, მოლიბდენი და პლატინა წყალბადთან არ წარმოქმნიან ქიმიურ ნაერთს. ამ ლითონებში წყალბადი იხსნება ატომარულ მდგომარეობაში და წარმოქმნის ე.წ. მყარ ხსნარებს. წყალბადის ხსნადობა ლითონებში იზრდება წნევის და ტემპერატურის გადიდებით:

$$[H]_{Fe} = K \sqrt{PH_2}$$

სადაც K არის მუდმივი, ტემპერატურისგან დამოუკიდებელი სიდიდე;

P_{H_2} – ატომარული წყალბადის პარციალური წნევა;

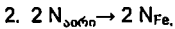
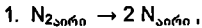
$[H]_{Fe}$ – წყალბადის კონცენტრაცია რკინაში.

წყალბადის შემცველობა რკინაში დნობის ტემპერატურის დროს ტოლია 14 სმ³-სა 100 გრამ ლითონზე. წყალბადის მაქსიმალური ხსნადობა თხევად რკინაში შეადგენს 22,5 სმ³ 100 გრამ ლითონზე.

ფოლადის კრისტალიზაციის დროს და ტემპერატურის შემდგომი შემცირებისას წყალბადის ხსნადობა იკლებს და იგი იწყებს გამოყოფას ლითონიდან ბუშტების სახით. წყალბადის ხსნადობაზე თხევად და მყარ ფოლადში გაელენას ახდენს უანგბადი და სხვა ელემენტები.

ფოლადში გახსნილ აირებს შორის მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს აზოტს. აზოტი რკინასთან შეერთებით წარმოქმნის ქიმიურ შენაერთებს: Fe_3N , Fe_2N .

აზოტის რკინაში გახსნის პროცესი სქემატურად გამოიხატება შემდეგნაირად:



ამ რეაქციების განხილვიდან ჩანს, რომ რკინის მიერ აზოტის შთანთქმამდე მიმდინარეობს მისი დისოციაცია აირულ ფაზაში. აზოტის ხსნადობა რკინაში პირდაპირპროპორციულია კვადრატული ფუძისა მისი წნევიდან:

$$[N]_{Fe} = K \sqrt{PN_2}$$

აზოტი მრავალ ელემენტთან წარმოქმნის ქიმიურ შენაერთებს, ნიტრიდებს. ცნობილი არიან ქრომის, მოლიბდენის, ალუმინის, ტიტანის და მაგნიუმის ნიტრიდები, რომლებიც არსებით გაელენას ახდენენ ფოლადის მექანიკურ და ტექნოლოგიურ თვისებებზე.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ფოლადის ხარისხის განსაზღვრის დროს ენიჭება უანგბადის შემცველობას ლითონში.

ჯანგბადის ზღერული ხსნადობის მნიშვნელობა რკინაში 1520°C-ზე შეადგენს 0,16%-ს.

ტემპერატურის გაზრდას მოსდევს ჟანგბადის ხსნადობის გაძლიერება ფოლადში. განმჟანგველი ელემენტების ფოლადში ყოფნა ხელს უწყობს გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობის შემცირებას.

ჯანგბადის შემცველობა მდულარე ფოლადში განჟანგვის წინ გამოდნობის მეთოდისა და ღუმელის თერმიული სიმძლავრისგან დამოკიდებულებით შეადგენს 0,02–0,08%-ს ლითონის წონიდან, ხოლო წყნარ ფოლადში –0,002–0,008%.

3. მიტალურბიული სათბობი

დიდი რუსი მეცნიერის დ.ი. მენდელეევის განსაზღვრებით სათბობი ეწოდება საწვავ ნივთიერებებს, რომლებსაც წვავენ სითბოს მიღების მიზნით. მიუხედავად ამ განსაზღვრებისა, ყველა საწვავი ნივთიერება არ მიეკუთვნება ტექნიკურ სათბობს. ტექნიკური სათბობი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. წვის პროდუქტების აიროვანი მდგომარეობა და მათი უვნებლობა ადამიანებისა, ცხოველური და მცენარეული სამყაროსათვის.
2. საწვავი ნივთიერების საკმარისი მარაგი, რაც უზრუნველყოფს მისი გამოყენების ეკონომიურ მიზანშეწონილობას.
3. წვის პროცესის მართვის შესაძლებლობა.

ზემოთმოყვანილ მოთხოვნებს აკმაყოფილებენ მხოლოდ ორგანული ნივთიერებები. სათბობის ყველა სახესხეობა ორგანული წარმოშობის ნივთიერებაა და შესდგება მათთვის დამახასიათებელი ელემენტებისაგან: ნახშირბადისა, წყალბადისა, ჟანგბადისა, აზოტისა და გოგირდისგან. სათბობის ძირითადი საწვავი ელემენტებია ნახშირბადი და წყალბადი, რომელნიც სათბობში შენაერთების სახით იმყოფებიან. აზოტი სათბობის ორგანული ნაწილის ბალანსია და მთლიანად გადადის წვის პროდუქტებში. ჟანგბადი სათბობში შეკავშირებული სახით ომყოფება და ამიტომ ამცირებს სითბოს გამომყოფი ელემენტების ეფექტურობას. გოგირდის დაწვის შედეგად გამოიყოფა სითბოს მნიშვნელოვანი რაოდენობა, მაგრამ იგი მავნე მინარევად ითვლება. სათბობიდან ლითონში მოხვედრილი გოგირდი საგრძნობლად აუარესებს მექანიკურ და ტექნოლოგიურ თვისებებს.

3.1. სათბობის კლასიფიკაცია

სათბობის ძირითადი კლასიფიკაცია წარმოებს მისი წარმოშობისა და აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით. წარმოშობის მიხედვით განარჩევენ ბუნებრივ და ხელოვნურ სათბობს, რომლებიც აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით იყოფიან მყარ, თხევად და აიროვანი სათბობის ჯგუფებად. სათბობის ზოგადი კლასიფიკაცია მოცემულია შემდეგი ცხრილის სახით

ცხრილი 11.

სათბობის აგრეგატული მდგომარეობა	სათბობის წარმოშობა	
	ბუნებრივი სათბობი	ხელოვნური სათბობი
მყარი	შეშა, ტორფი, მურანახშირი, ქვანახშირი, ანტრაციტი, საწვავი ფიქალები	ხის ნახშირი, კოქსი, ნახშირის მტვერი და სხვა.
თხევადი	ნავთობი	ბენზინი, ნავთი, მახუთი, სპირტი, ქვანახშირის ფისი და სხვა.
აიროვანი	ბუნებრივი აირი	კოქსი, ბრძმედის, სანათი, გენერატორი, წყალაირი და სხვა

3.2 სათბობის ქიმიური შედგენილობა

სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ბევრადაა დამოკიდებული მისი ქიმიური შედგენილობისგან.

სათბობის ქიმიურ ანალიზს ასრულებენ როგორც მისი ელემენტალური შედგენილობის, ისე მასში შემავალი ქიმიური ნაერთების განსაზღვრის მიზნით. ელემენტარული შედგენილობის (C,H,O,N,S) განსაზღვრას აწარმოებენ მყარი და თხევადი სათბობის შემთხვევაში, ხოლო ქიმიური

შენაერთების (CO, CO₂, CH₄ და სხვ.) განსაზღვრას – აიროვანი სათბობის შესწავლისას.

ელემენტარული ანალიზით, გარდა ძირითადი ელემენტებისა, განსაზღვრავენ ნაცრის (A) და ტენის (W) პროცენტულ შემცველობას სათბობში. სათბობის ელემენტარული ანალიზით დადგენილი შედგენილობა საჭიროა წვის პროცესის გამოთვლა-შესწავლისათვის. სათბობის ელემენტარული ანალიზის შესაბამისად მასში განარჩევენ ორგანულ, საწვავ, მშრალ და მუშა მასებს. სათბობის ელემენტარული შედგენილობა გამოისახება შემდეგი ცხრილით;

ცხრილი 12

სტანდარტული ინდექსები	ელ ე მ ე ნ ტ ე ბ ი						
	C	H	O	N	S	A	W
O	ორგანული მასა						
Γ	საწვავი მასა						
C	მშრალი მასა						
P	მუშა მასა						

სათბობის ორგანული მასის მიხედვით მსჯელობენ მის გეარობაზე, საწვავის მასის მიხედვით კი – სათბობის დაწვის პროცესის შესახებ.

სათბობის ანალიზის ჩაწერის დროს სარგებლობენ ზემოთოყვანილი ინდექსებით, მაგალითად C⁰ – აღნიშნავს ნახშირბადის შემცველობას სათბობის ორგანულ მასაში, “S” – გოგირდის შემცველობის საწვავ მასაში, A^c – ნატრის შემცველობას – მშრალ მასაში, W^P – ტენის შემცველობას მუშა მასაში.

სათბობის შემადგენლობის ერთი მასიდან მეორე მასში გადაანგარიშების მიზნით იყენებენ შემდეგ ფორმულებს:

$$X^0 = X^f \frac{100}{100 - S^f} \%;$$

$$X^0 = X^c \frac{100}{100 - (S^f + A^f)} \%;$$

$$X^0 = X^p \frac{100}{100(S^p + A^p + W^p)} \%;$$

$$X = X^c \frac{100}{100 - A^c} \%;$$

$$X^r = X^p \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} \% ; \quad X^c = X^p \frac{100}{100 - W^p} \%$$

ამ ფორმულებში:

X^0 არის რომელიმე ელემენტის შემცველობა ორგანულ მასაში, %;

X^r – რომელიმე ელემენტის შემცველობა საწვავ მასაში, %;

X^c – რომელიმე ელემენტის შემცველობა მშრალ მასაში, %;

X^p – რომელიმე ელემენტის შემცველობა მუშა მასაში, %.

მაგალითად: 1. თუ ცნობილია ნახშირბადის შემცველობა მშრალ მასაში, მაშინ მისი პროცენტული რაოდენობა საწვავ მასაში ტოლი იქნება შემდეგი გამოსახულებისა:

$$C^r = C^c \frac{100}{100 - A^c} \% ;$$

2. თუ ცნობილია ნახშირბადის შემცველობა საწვავ მასაში, მაშინ მისი პროცენტული შემცველობა მუშა მასაში განისაზღვრება ტოლობიდან:

$$C^p = C^r \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} \% ;$$

აიროვანი სათბობის ქიმიურ ანალიზს აწარმოებენ ცალკეული შემადგენელი ნაწილების შესაბამისი სხვადასხვა რეაქტივებით თანდათანობით შთანთქმის გზით. აიროვან სათბობში განსაზღვრავენ ცალკეული შემადგენელი ნაწილების: CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , O_2 , C_mH_n რაოდენობას მოცულობით პროცენტებში. აზოტის რაოდენობას განსაზღვრავენ სხვაობის მიხედვით. აირის შემადგენელი ნაწილების თანმიმდევრობითი განსაზღვრა შთანთქმით გეიჩენებს მშრალი სათბობის შემადგენლობას, ვინაიდან ანალიზის შესრულებისას მხედველობაში არ იღებენ აირში არსებულ ტენს. აირში კი, უმეტეს შემთხვევაში, იმყოფება ტენი, რომელიც განისაზღვრება წყლის წონით მშრალი აირის მოცულობის ერთეულში – W [გ/მ³]. ამიტომ აწარმოებენ მშრალი აირის შემადგენლობის გადაანგარიშებას აირში მყოფი ტენის გათვალისწინებით ე.ი. განსაზღვრავენ ტენიანი აირის შედგენილობას. ასეთ გადაანგარიშებას ასრულებენ შემდეგი გზით:

1 კგ-მოლი H_2O იწონის 18 კგ-ს და იკავებს 22,4მ³ მოცულობას, 1 კგ წყლის ორთქლი კი დაიკავებს მოცულობას:

$$V = \frac{22,4}{18} = 1,242[\text{მ}^3/\text{კგ}]$$

წყლის ორთქლის რაოდენობა გრამებში, W დაიკავებს მოცულობას:

$$\frac{1,242}{1000} W, [\text{მ}^3]$$

სადაც $\frac{1,242}{1000}$ არის 1კგ წყლის ორთქლის მიერ დაკავებული მოცულობა მ³-ში;

W – წყლის ორთქლის რაოდენობა გ-ში;

100მ³ აირში წყლის ორთქლის მოცულობა შეადგენს $100 \frac{1,242}{1000} W = 0,1242 W$;

ამრიგად, ტენიანი აირის შედგენილობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულების მიხედვით:

$$CO_2(\text{ტენიანი}) = CO_2(\text{შშრალი}) \frac{100}{100 + 0,1242W}, \%$$

$$CO(\text{ტენიანი}) = CO(\text{შშრალი}) \frac{100}{100 + 0,1242W}, \%$$

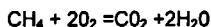
$$H_2O(\text{ტენიანი}) = 0,1242 W \frac{100}{100 + 0,1242W}, \%$$

3.3 სათბობის წვის ანგარიში

სათბობის წვის ანგარიშს აწარმოებენ წვის პროცესისთვის საჭირო ჰაერის რაოდენობისა, წვის პროდუქტების რაოდენობის შემადგენლობის და წვის ტემპერატურის განსაზღვრის მიზნით.

ა. წვის პროცესისთვის საჭირო ჰაერის რაოდენობის განსაზღვრა

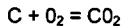
ჰაერის ხარჯის განსაზღვრისთვის მოცულობით ერთეულებში იყენებენ მეთანის სრული წვის რეაქციას:



როგორც რეაქციიდან ჩანს, 1 მოლი CH_4 -ის სრული დაწვისთვის საჭიროა 2 მოლი O_2 . ვინაიდან ნებისმიერი აირის 1 მოლი ნორმალურ პირობებში იკავებს 22,4მ³ მოცულობას, ამიტომ 22,4მ³ CH_4 -ის დასაწვავად საჭიროა: $2 \times 22,4 = 44,8\text{მ}^3$ O_2 ე.ი. 1მ³ CH_4 -ის დასაწვავად საჭიროა: $\frac{44,8}{22,4} = 2,0\text{მ}^3 \text{O}_2$, როგორც ცნობილია, მშრალ ჰაერში მოცულობის ერთეულებში ჟანგბადი შეადგენს 21%-ს, დანარჩენი 79%-ს აზოტი; ჰაერში აზოტის რაოდენობა $\frac{79}{21} = 3,762$ -ჯერ მეტია ჟანგბადის რაოდენობასთან შედარებით, ამიტომ ჰაერის ხარჯი 1მ³ მეთანის დაწვისათვის ტოლი იქნება:

$$2\text{მ}^3 + 2 \times 3,762\text{მ}^3 = 9,524\text{მ}^3 \quad 10,0\text{მ}^3$$

მყარი და თხევადი საბოთის შემთხვევაში წვის პროცესისთვის საჭირო ჰაერის რაოდენობას განსაზღვრავენ წონით ერთეულებში. ამ შემთხვევაში მიმართავენ ნახშირბადის სრული დაწვის რეაქციას:



ამ რეაქციიდან ჩანს, რომ 1 კგ-მოლი ნახშირბადის დასაწვავად იხარჯება 1კგ-მოლი ჟანგბადი; 1 კგ-მოლი ნახშირბადი იწონის 12 კგ-ს, ხოლო 1 კგ-მოლი ჟანგბადი – 32 კგ-ს, ამიტომ 1 კგ ნახშირბადის დასაწვავად საჭიროა $\frac{32}{12} = 2,67$ კგ ჟანგბადი. ჟანგბადი ჰაერში წონის მიხედვით შეადგენს 23,2%-ს, ხოლო აზოტი – 76,8%-ს ე.ი. აზოტის წონითი რაოდენობა ჰაერში $\frac{76,8}{23,2} = 3,31$ -ჯერ მეტია ჟანგბადის რაოდენობასთან შედარებით, ამიტომ ჰაერის ხარჯი 1 კგ ნახშირბადის დასაწვავად შეადგენს:

$$2,67\text{კგ} + 2,67 \times 3,31\text{კგ} = 11,50\text{კგ}$$

ჰაერის გამოთვლილი წონით რაოდენობა გადაჰყავთ მოცულობით ერთეულებში ჰაერის საერთო წონის მის კუთრ წონაზე გაყოფით:

$$\frac{11,50}{1,293} = 8,89\text{მ}^3 \quad 9,0\text{მ}^3$$

სადაც 1,293 კგ/მ³ არის ჰაერის კუთრი წონა.

ზემოთმოყვანილი მსჯელობით განსაზღვრული ჰაერის რაოდენობას ეწოდება თეორიული. ჰაერის თეორიული რაოდენობა არის ჰაერის ის

მინიმალური რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია საწვავი ნივთიერების ერთეულის სრული დაჟანგვისათვის. სინამდვილეში სათბობის დაწვა წარმოებს ჰაერის ისეთი ხარჯის დროს, რომელიც გარკვეული სიდიდით მეტია თეორიულ რაოდენობასთან შედარებით. სინამდვილეში დახარჯული ჰაერის რაოდენობის შეფარდებას თეორიულად საჭირო ჰაერის რაოდენობისადმი ეწოდება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი. ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი მათემატიკურად განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$n_0 = \frac{V_3}{V_{\text{თ}}}$$

სადაც V_3 არის სინამდვილეში დახარჯული ჰაერის რაოდენობა;

$V_{\text{თ}}$ – თეორიულად საჭირო ჰაერის რაოდენობა.

ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი, n_0 გვიჩვენებს თუ რამდენით მეტი ჰაერი იხარჯება სინამდვილეში სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის თეორიულ რაოდენობასთან შედარებით.

ბ. წვის პროდუქტების რაოდენობა და შედგენილობა

წვის პროდუქტების რაოდენობისა და შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით იხილავენ მეთანის სრული წვის რეაქციას ($n_0=1$); მეტანის დაწვის შედეგად წარმოიშობიან CO_2 და H_2O . გარდა ამისა, წვის პროდუქტების შემადგენლობაშია აზოტი, რომელიც შეაქვს ჰაერს. 1მ^3 მეთანის დაწვის შედეგად წარმოიშებიან: $1\text{მ}^3 \text{CO}_2$ და $2\text{მ}^3 \text{H}_2\text{O}$, წვის პროდუქტებშია, აგრეთვე, $2\text{X}3,762=7,524\text{მ}^3$ აზოტი. ამრიგად, წვის პროდუქტების სრული რაოდენობა შეადგენს:

$$1\text{მ}^3 \text{CO}_2 + 2\text{მ}^3 \text{H}_2\text{O} + 7,524\text{მ}^3 \text{N}_2 = 10,524 \text{ მ}^3,$$

წვის პროდუქტების პროცენტული შემადგენლობა შემდეგია:

$$\text{CO}_2 \frac{1}{10,524} \cdot 100 = 9,5 \% ,$$

$$H_2O \frac{2}{10,524} \cdot 100 = 19,0 \%$$

$$N_2 \frac{7,524}{10,524} \cdot 100 = 71,5 \%$$

თუ მეთანს დაწვავენ $\Pi_0 > 1$ პირობებში, მაშინ წვის პროდუქტების საერთო რაოდენობა გაიზრდება აზოტის და ჭარბი ჟანგბადის რაოდენობის გადიდების შედეგად.

წვის პროცესის ანგარიშის დროს აუცილებელია მატერიალური ბალანსის შედგენა ე.ი. საწყისი ნივთიერებების და წვის პროდუქტების წონითი რაოდენობის განსაზღვრა. მეთანის სრული დაწვის მატერიალური ბალანსი ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით:

ა. რეაქციაში მონაწილეობენ საწყისი პროდუქტები:

$$\begin{aligned} CH_4 - 1\text{კგ-მოლი} &= 16 \text{ კგ} \\ O_2 - 2 \text{ კგ-მოლი} &= 64 \text{ კგ.} \\ N_2 - 64\text{ხ3,31} &= 211,84 \text{ კგ} \end{aligned}$$

$$\text{სულ} \quad 291,84 \text{ კგ}$$

ბ. მიღებულია წვის პროდუქტები:

$$\begin{aligned} CO_2 - 1\text{კგ-მოლი} &= 44 \text{ კგ} \\ H_2O - 2\text{კგ-მოლი} &= 36 \text{ კგ} \\ N_2 &= 211,84 \text{ კგ} \end{aligned}$$

$$\text{სულ} \quad 291,84 \text{ კგ}$$

გ. წვის ტემპერატურის განსაზღვრა

სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს გადაცემა წვის პროდუქტებისადმი იწვევს მათი ტემპერატურის გაზრდას. ამ ტემპერატურას წვის ტემპერატურა ეწოდება. განარჩევენ წვის თეორიულ და კალორიმეტრულ ტემპერატურას.

წვის პროდუქტების მაღალ ტემპერატურაზე გახურებას მოსდევს მათი დისოციაცია, რასაც თან ახლავს სითბოს შთანქმის პროცესი. წვის თეორიული ტემპერატურა განისაზღვრება წვის პროდუქტების დისოციაციაზე დახარჯული სითბოს გათვალისწინებით:

$$T_T = \frac{Q^p_H - q}{V_{გა} \cdot C}$$

სადაც Q^p_H არის სათბობის დაწვის სითბო ან სითბოუნარიანობა,

[კკალ/კგ] ან [კკალ/მ³]

q – სითბო, რომელიც დაიხარჯა დისოციაციის პროცესზე, [კკალ];

V – წვის პროდუქტების მოცულობა, რომელიც წარმოიხდის სათბობის ერთეულის დაწვის შედეგად, (მ³);

C – წვის პროდუქტების სითბოტევადობა, [კკალ/მ³ °C].

წვის კალორიმეტრული ტემპერატურა განისაზღვრება ისეთი პირობებისთვის, როდესაც წვის შედეგად გამოჯოფილი სითბოს სრული რაოდენობა იხარჯება მხოლოდ წვის პროდუქტების ტემპერატურის გაზრდაზე:

$$t_J = \frac{Q^p_H}{V_{გა} \cdot C}$$

თუ წვის პროცესის დაჩქარების მიზნით იყენებენ გახურებულ ჰაერს ან გახურებულ სათბობს, მაშინ კალორიმეტრულ ტემპერატურას, t_K განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულით:

$$t_K = \frac{Q^p_H + Q}{V_{გა} \cdot C}$$

სადაც Q არის ჰაერის სათბობის გახურების ფიზიკური სითბო,

[კკალ/კგ] ან [კკალ/მ³]

პრაქტიკაში კალორიმეტრულ ტემპერატურას განსაზღვრავენ შემდეგი წესით. ნებისმიერი სათბობის წვის პროდუქტები წარმოადგენენ აიროვანი შენაერთების: CO₂, H₂O, N₂, O₂, SO₂ და სხვა ნარევეს. თითოეული მათგანი მოცემულ ტემპერატურაზე ხასიათდება გარკვეული სითბოტევადობით. ცალკეული შენაერთების სითბოტევადობის ცოდნა საშუალებას იძლევა

დადგინდეს წვის პროდუქტების საერთო სითბოტევადობა მოცემულ ტემპერატურაზე. მაგალითად, მეთანის წვის პროდუქტების სითბოტევადობის განსაზღვრას 1500°C ტემპერატურულ პირობებში ასრულებენ შემდეგნაირად: მეთანის წვის პროდუქტების შედგენილობა ხასიათდება მონაცემებით: CO_2 –9,5%; H_2O –19,0%; N_2 –71,5%; 1მ^3 CO_2 -ის სითბოტევადობა 1500°C -ზე შეადგენს 0,565 კკალ/მ³ $^{\circ}\text{C}$; ანალოგიურად: 1მ^3 H_2O სითბოტევადობა – 0,443 კკალ/მ³ $^{\circ}\text{C}$; 1მ^3 N_2 სითბოტევადობა – 0,346 კკალ/მ³ $^{\circ}\text{C}$.

1მ^3 წვის პროდუქტების შემადგენლობაშია: 0,005 მ³ CO_2
0,19 მ³ H_2O
0,715 მ³ N_2

1,000მ³

1მ^3 წვის პროდუქტების სითბოტევადობა ტოლი იქნება:

$$\text{CO}_2 - 0,565 \times 0,095 = 0,053 \text{ კკალ/მ}^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{H}_2\text{O} - 0,443 \times 0,19 = 0,084 \text{ კკალ/მ}^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{N}_2 - 0,346 \times 0,715 = 0,247 \text{ კკალ/მ}^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$0,384 \text{ კკალ/მ}^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

ხშირად სარგებლობენ სითბოშემცველობის სიდიდით. სითბოშემცველობა სითბოტევადობის ტემპერატურაზე ნამრავლია:

$$J = C \cdot t, \text{ [კკალ/ნმ}^3\text{]}$$

მაგალითად: CO_2 -ის სითბოშემცველობა 1500°C -ზე ტოლი იქნება:

$$J_{\text{CO}_2} = 0,565 \cdot 1500 = 846 \text{ [კკალ/მ}^3\text{]};$$

სათბობის ერთეულის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია სითბოშემცველობის ნამრავლისა წვის პროდუქტების მოცულობაზე:

$$Q = J V_{\text{წვ}} \text{ [კკალ]};$$

სადაც J არის წვის პროდუქტების სითბოშემცველობა, [კკალ/მ³];

3.4 სათბობის თბოუნარიანობის გამოანგარიშება

სითბოს რაოდენობას, რომელიც დამოკიდებულია სათბობის წონის ან მოცულობის ერთეულის დაწვის შედეგად, სათბობის თბოუნარიანობა ეწოდება. თბოუნარიანობის განზომილებებია: [კკალ/კგ], [კკალ/მ³] ან [კკალ/მოლი]. ტექნიკაში განარჩევენ სათბობის უმაღლეს და უმდაბლეს თბოუნარიანობას.

სათბობის უმაღლეს თბოუნარიანობას ადგილი ექნება მაშინ, თუ სათბობის წვის პროცესში წარმოქმნილი წყლის ორთქლი გადავა თხევად მდგომარეობაში 0°C ტემპერატურაზე. ამ შემთხვევაში გამოიყოფა სითბოს შემდეგი რაოდენობა:

1კგ H₂O-ს აორთქლების ფარული სითბო – 539 კკალ

1კგ H₂O-ს 0°C-დან 100°C-მდე გახურების სითბო – 100 კკალ

სულ 639 კკალ

სათბობის უმაღლესი თბოუნარიანობა შეესაბამება პირობას, როდესაც წვის პროდუქტებში არსებული წყლის ორთქლი გაცივდება 100°C-დან 20° C-მდე. ამ დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება

$$G \cdot C \cdot (t_1 - t_2) = 1 \cdot a \cdot 0,48 (100^\circ - 20^\circ) = 38,4 \text{ კკალ}$$

სადაც G არის წყლის ორთქლის რაოდენობა, [მ³];

C – წყლის ორთქლის სითბოტევადობა, [კკალ/მ³ °C];

t₁-t₂ – წყლის ორთქლის ტემპერატურა.

პრაქტიკაში ღუმელის სამუშაო სიერცეში სათბობის დაწვის შედეგად წარმოშობილი წყლის ორთქლი ღუმელიდან გადის წვის პროდუქტებთან ერთად ე.ი. რეალურ პირობებს შეესაბამება უმაღლესი თბოუნარიანობა – Q^p_H. უმაღლესი და უმაღლეს თბოუნარიანობას შორის განსხვავება რაოდენობრივად შეადგენს:

$$Q^p_B - Q^p_H = 639 - 38,4 = 600 \text{ კკალ};$$

მყარი და თხევადი სათბობის თბოუნარიანობის განსაზღვრის მიზნით სარგებლობენ ემპირული ფორმულებით და ელემენტარული ანალიზით.

ქვანახშირის თბოუნარიანობის განსაზღვრის დროს იყენებენ დიულონგის ფორმულას:

$$Q^p_B = 80,8 C + 344,6 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S, \text{ [კკალ/კგ];}$$

თხევადი სათბობის შემთხვევაში მიმართავენ დ.ი. მენდელეევის ფორმულას:

$$Q_B = 81C + 300H - 26(O-S), \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^p_H = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S^p) - 6(W^p - 9H^p). \text{ [კკალ/კგ];}$$

წვის პროდუქტებში შესულია სათბობის ტენი – W_1 და აგრეთვე წყალი, რომელიც

წარმოიქმნება წყალბადის დაწვის შედეგად, $W_2, W_2 = \frac{H_2O}{H_2} = \frac{18}{2} = 9$. W_1 და W_2

გაზომვის შემთხვევაში უმაღლეს და უმაღლეს თბოუნარიანობას შორის რაოდენობრივი სხვაობა შეადგენს:

$$Q^p_B - Q^p_H = 600(W_1 + W_2) = 600(W^p + 9H^p) \text{ [კკალ/კგ];}$$

თუ W და H პროცენტებში იქნება მოცემული, მაშინ:

$$Q^p_B - Q^p_H = 600(W^p + 9H^p); 100 = 6(W^p + 9H^p) \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^p_B = Q^p_H + 6(W^p + 9H^p), \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^p_H = Q^p_B - 6(W^p + 9H^p), \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^c_H = Q^c_B - 54 H^c, \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^f_H = Q^f_B - 54 H^f, \text{ [კკალ/კგ];}$$

$$Q^p_H = Q_H \frac{100 - (A^p + W^p)}{100}, \text{ [კკალ/კგ];}$$

აიროვანი სათბობის თბოუნარიანობის განსაზღვრას აწარმოებენ ფორმულით:

$$Q^c_H = 0,01 [Q_{H_2S}, H_2S + Q_{CO}, CO + Q_{H_2}, H_2 + \Sigma(Q_{C_nH_n}, C_nH_n)], \text{ კკალ/ნმ}^3$$

სადაც Q_{H_2S} , Q_{CO} და ა.შ. თითოეული აირის თბოუნარიანობა მოცემულია ცხრილში; H_2S , CO და ა.შ. – აირის შესაბამისი შემადგენელი კომპონენტის შემცველობა % ში.

აიროვანი სათბობის შემადგენლობაში შემავალი კომპონენტების თბოუნარიანობა და კუთრი წონა

ცხრილი 13

აირის დასახელება	აღნიშვნა	თბოუნარიანობა Q^H [კკალ/ნმ ³]	კუთრი წონა კკალ/ნმ ³
1	2	3	4
წყალბადი	H ₂	2579	0,070
ელემენტარული აზოტი	N ₂	–	1,251
ჰაერის აზოტი (არგონის ნარეუთან)	N ₂	–	1,251
ჟანგბადი	O ₂	–	1,428
ნახშირჟანგი	CO	3018	1,250
ნახშირორჟანგი	CO ₂	–	1,964
გოგირდოვანი აირი	SO ₂	–	2,858
გოგირდწყალბადი	H ₂ S	5585	1,520
მეთანი	CH ₄	8555	0,716
ეთანი	C ₂ H ₆	15226	1,342
პროპანი	C ₃ H ₈	21795	1,967

ბუტანი	C_4H_{10}	28338	2,593
პენტანი	C_5H_{12}	34890	3,218
ეთილენი	C_2H_4	14107	1,251
პროპილენი	C_3H_6	20541	1,877
ბუთილენი	C_4H_8	27111	2,503
ბენზოლი	C_6H_6	33528	3,485

W^p_1 – ტენის შემცველი სათბობის მუშა მასის უმდაბლესი თბოუნარიანობის გადაანგარიშებისათვის W^p_2 ტენიანი სათბობის მუშა მასაზე იყენებენ ფორმულას:

$$Q^p_{H(2)} = (Q^p_{H(1)} + 6 W^p_1) \frac{100 - W^p_2}{100 - W^p_1} \quad [\text{კკალ/კბ}];$$

A^p_1 – ნატრის შემცველი სათბობის მუშა მასის უმდაბლესი თბოუნარიანობის გადაანგარიშებას A^p_2 –ნაცრიანი სათბობის მუშა მასაზე აწარმოებენ ფორმულით:

$$Q^p_{H(2)} = Q^p_{H(1)} \frac{100 - A^p_2}{100 - A^p_1} \quad [\text{კკალ/კბ}];$$

3.5 სათბობის შედგენილობაში შემავალი შენაერთების დაჯანგვის რეაქციების თბური ეფექტები

ცხრილი 14

დაჯანგვის რეაქცია	რეაქციების თბური ეფექტი		
	კალ/კგ.მოლი	კალ/კგ	კალ/მ ³
$C + O_2 = CO_2$	+ 97650	8137	-
$Co + 0,5O_2 = Co_2$	+ 68220	-	3020
$Co + H_2O_{ორთ} = Co_2 + H_2$	+ 10410	-	-
$C + H_2O_{ორთ} = CO + H_2$	- 28380	-2365	-
$H_2 + 0,5O_2 = H_2O_{ორT}$	+ 57810	+ 28905	2570,0
$H_2 + 0,5O_2 = H_2O_{ორT}$	+ 68360	+34180	3050,0
$S + O_2 = SO_2$	+ 69800	+2181	-
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O_{ორთ}$	+ 192400	-	8550
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O_{ორთ}$	+ 3204400	-	14100,0
$H_2 + 1,5O_2 = H_2O + O_2$	+124000	-	-

სხვადასხვა სათბობების შედარების მიზნით იყენებენ პირობითი სათბობის ცნებას. პირობითი სათბობის თბოუნარიანობად მიღებულია 7000 კკალ/კგ. ნებისმიერი სახეობის სათბობის პირობით სათბობში გადაყვანის მიზნით მის თბოუნარიანობას ჰყოფენ სათბობის თბოუნარიანობაზე, 7000-ზე. ამ შეფარდების შედეგად მიიღება სიდიდე, ე.წ. კალორიული ექვივალენტი, რომელიც მათემატიკურად გამოისახება შემდეგნაირად:

$$Q = \frac{Q}{7000}$$

სადაც Q არის ნებისმიერი რომელიმე სათბობის თბოუნარიანობა, [კკალ/კგ], რაიმე სათბობის ხარჯის პირობითი სათბობის ერთეულებში გამოსახვის მიზნით ამ სათბობის აბსოლუტური ხარჯი უნდა გადამრავლდეს მის კალორიულ ექვივალენტზე. ქვემოთმოყვანილ ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი სათბობის კალორიული ექვივალენტების რიცხობრივი მნიშვნელობა.

სათბობის სახელწოდება	კალორიული ექვივალენტი	სათბობის სახელწოდება	კალორიული მქვივალენტი
ბრძმელის აირი	0,140	დონეცკის ანტრაციტი	
კოქსის აირი	0,600	(საშუალო ვეველა	
გენერატორული აირი		მარკისთვის)	0,934
ნატეხი სათბობიდან	0,150	კუზნეცკის ქვანახშირი "K"	
წყალარი	0,350	მოსკოვის ბასეინის	1,031
ბუნებრივი აირი	1,210	მურა ნახშირი "BK"	
ბენზინი	1,490	ყარაგანდის ქვანახშირი	0,445
ნავთი	1,450	"FC"	
მაზუთი (მარკა 10)	1,425	სვერდლოვსკის ტორფი	0,855
კოქსი	0,930	ულიანოვის საწვავი	0,435
დონეცკის ქვანახშირი "K"		ფიქალი	
	0,969		0,224

4. ცეცხლგამძლე მასალები

4.1 ცეცხლგამძლე მასალების კლასიფიკაცია და თვისებები

ცეცხლგამძლე მასალების კლასიფიკაციას აწარმოებენ რამოდენიმე ნიშნის მიხედვით.

ცეცხლგამძლეობის მიხედვით განარჩევენ ცეცხლგამძლე მასალების სამ ჯგუფს:

1. ცეცხლგამძლე მასალების პირველი ჯგუფი, რომელშიც შედიან მასალები 1580-1770°C ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურით,
2. მაღალი ცეცხლგამძლეობის მასალები, რომელთა ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურა შეადგენს 1770-2000°C,
3. უმაღლესი ცეცხლგამძლეობის მასალები, რომელთა ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურა 2000°C-ზე მეტია.

ქიმიურ-მინერალიგიური შედგენილობის მიხედვით ცნობილია ცეცხლგამძლე მასალების შემდეგი სახესხვაობები:

1. კაემიწოვანი (SiO_2)* – მათ მიეკუთვნებიან დინასის მასალები;
2. ალუმინსილიკატური (Al_2O_3 და SiO_2) – ნახევრად მკაეა, შამოტის და მაღალთიხამიწოვანი მასალები;

* ფრჩხილებში ნაჩვენებია ქიმიური კომპონენტი, რომელიც ცეცხლგამძლეობას ანიჭებს მოცემულ მასალას.

3. მაგნეზიალური (MgO) – მაგნეზიტის, დოლომიტის, ფორსტერიტის, თალკის და შპინელის მასალები;
4. ქრომოვანი (Cr_2O_3) – ქრომომაგნეზიტის და მაგნეზიტქრომიტული, აგრეთვე, ქრომიტის მასალები. ქრომომაგნეზიტის და მაგნეზიტქრომიტული მასალები მიეკუთვნებიან ქრომმაგნეზიტურ (MgO და Cr_2O_3) ჯგუფს.
5. ცირკონული (ZrO_2 და SiO_2) – ცირკონის მასალები;
6. ნახშირბადოვანი (C) – თიხაგრაფიტული ან თიხა-გრაფიტოვანი და ნახშირბადის მასალები;
7. კარბიდული (MC) – კარბორუნდის (SiC) და სხვა მასალები;
8. ჟანგულების – კორუნდის (Al_2O_3), ცირკონის (ZrO_2), პერიკლაზის (MgO), კალციუმის (CaO), ბერილიუმის (BeO) და სხვა.

ბოლო დროს შედარებით მცირე მასშტაბით იყენებენ ლითონების ნიტრიდებს, ბორატებს და სულფიდებს სხვადასხვა დანიშნულების ცეცხლგამძლე მასალებად.

ცეცხლგამძლე მასალებს აჯგუფებენ აგრეთვე გამოყენების დარგის მიხედვით. ერთიდაიგივე სახესხვაობის მასალას შეიძლება ჰქონდეს რამოდენიმე დანიშნულება. მაგ: ბრძმედის, თერმიული და გამახურებელი ღუმელების ამონაგებში იყენებენ შამოტის მასალებს. ამასთან ბრძმედის შამოტის მასალები გამახურებელ და თერმიული ღუმელების ამონაგებში გამოყენებული ცშამოტის მასალებისგან გამოირჩევიან მაღალი ცეცხლგამძლეობით და სხვა მუშა თვისებებით.

ცეცხლგამძლე მასალების კლასიფიკაციას აწარმოებენ ფორმის სირთულისა და ზომების მიხედვით. ამ მხრივ ცეცხლგამძლეებს ჰყოფენ რამოდენიმე ჯგუფად:

1. მარტივი ფორმის მასალები (ჩვეულებრივი პარალელეპიპედის ფორმის აგური, სხვადასხვა ზომის ოთხკუთხა ბლოკები);
2. ფასონური მასალები;
3. სპეციალური დანიშნულების რთული ფორმის მასალები (სიფონური ჩამოსხმის მიღგაყვანილობები, ვარსკვლავა აგურები და სხვა);
დამზადების მეთოდისა და თერმიული დამუშავების მიხედვით ცნობილია შემდეგი სახის ცეცხლგამძლე მასალები:

1. ნახერხი ე.ი. მთის ქანებიდან გამოხერხილი მასალები (მაგ: თალკის მასალები);
2. დაწნეხის მასალები;

3. სხმული მასალები.

დაწესილი ცეცხლგამძლე მასალები გამოიყენებიან როგორც გამომწვარ ისე გამოუწველ მდგომარეობაში. გამოუწველი მასალები გამოწვის პროცესს გადიან ღუმელებში გახურების და შემდგომი ექსპლოატაციის დროს.

4.2 ცეცხლგამძლე მასალების ფიზიკური და მუშა თვისებები

ცეცხლგამძლე მასალების ფიზიკური თვისებებია: ფორიანობა, აირშეღწევადობა, სითბოგამტარობა, სითბოტევადობა, ელექტროგამტარობა და თერმიული გაფართოება. მათ მუშა თვისებებს კი მიეკუთვნებიან: ცეცხლგამძლეობა, დატვირთვის ქვეშ დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა და მოცულობის ცვალებადობა მეორე გამოწვის დროს.

ცეცხლგამძლე მასალების ყველა სახესხვაობა ფორებს შეიცავს. არჩევენ ფორიანობის რამოდენიმე სახესხვაობას:

1. საერთო ან ჭეშმარიტი ფორიანობა წარმოადგენს ყველა ფორის მოცულობების ჯამის შეფარდებას ცეცხლგამძლე მასალის საერთო მოცულობისადმი ფორებთან ერთად.
2. მოჩვენებითი ან ღია ფორიანობა – ერთმანეთთან და გარემომცველ ატმოსფერულ ჰაერთან შეერთებული ფორების მოცულობების ჯამის შეფარდება ცეცხლგამძლე მასალის საერთო მოცულობისადმი ფორებთან ერთად.
3. ფარული ფორიანობა – გარემომცველი ატმოსფერული ჰაერისგან იზოლირებული ფორების მოცულობების ჯამის შეფარდება ცეცხლგამძლე მასალის საერთო მოცულობისადმი ფორებთან ერთად.

ფორიანობასთან მჭიდრო კავშირშია ცეცხლგამძლე მასალების მიერ წყლის შთანთქმის მოვლენა. მოჩვენებით ფორიანობას განსაზღვრავენ წყლის შთანთქმის უნარის მიხედვით. ცეცხლგამძლე მასალის მიერ შთანთქმული წყლის რაოდენობას გამოითვლიან შემდეგნაირად: გამოსაცდელ ცეცხლგამძლე მასალას ათავსებენ მდულარე წყლით საესე ჭურჭელში გარკვეული დროის განმავლობაში, შემდეგ წყლით გაუდენთილ, გაჯერებულ ცეცხლგამძლე მასალას აწონიან და გამოიანგარიშებენ შეწოვილი წყლის რაოდენობას ფორმულით:

$$(1) K\omega = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \quad 100\%,$$

სადაც $K\omega$ არის მასალის მიერ შთანთქმული წყლის რაოდენობა პროცენტში;
 G_2 – წყლით გაუღენთილი, გაჯერებული ცეცხლგამძლე მასალის წონა;
 G_1 – ცეცხლგამძლე მასალის წონა წყალში მოთავსებამდე;
 მოჩვენებითი ფორიანობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$(2) L_{\text{მოჩ}} = \frac{G_2 - G_1}{V} \quad 100\%,$$

სადაც V არის ცეცხლგამძლე მასალის ნიმუშის მოცულობა ფორმებთან ერთად.
 თუ (2) განტოლებას გაეყოფთ (1) განტოლებაზე მივიღებთ:

$$L_{\text{მოჩ}} = \frac{\frac{G_2 - G_1}{V}}{\frac{G_2 - G_1}{G_1}} = \frac{G_1}{V}; \quad L_{\text{მოჩ}} = K\omega \frac{G_1}{V}$$

სადაც შეფარდება $\frac{G_1}{V}$ არის მოცულობის ერთეულის წონა – მასალის მოცულობითი წონა და აღინიშნება γ ასოთი:

$$\gamma = \frac{G_1}{V}; \quad L_{\text{მოჩ}} = K\omega \frac{G_1}{V} = K\omega \gamma;$$

ე.ი. ცეცხლგამძლე მასალის მოჩვენებითი ფორიანობა წყლის შთანთქმის კოეფიციენტის და მასალის მოცულობითი წონის ნამრავლის ტოლია.
 ჭეშმარიტი ფორიანობა განისაზღვრება ცეცხლგამძლე მასალის კუთრი წონის მიხედვით. მასალის კუთრი წონა ე.ი. უფორებოდ მოცულობის ერთეულის წონა გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$\gamma_1 = \frac{G_1}{V_1};$$

სადაც G_1 არის ცეცხლგამძლე მასალის წონა გრამებში.

V_1 – მასალის სრული მოცულობა (უფორებოდ) სმ³-ში.

ზემოთ მოცემული გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$V_1 = \frac{G_1}{\gamma} \quad - \text{ეს შეფარდება ახასიათებს მასალის მთლიანი}$$

მოცულობის უფორებო ნაწილს ე.ი. გვიჩვენებს თუ რა ნაწილს შეადგენს უფერობო მოცულობა ცეცხლგამძლე მასალის საერთო მოცულობიდან და

განსაზღვრავს სიმკვრივის ხარისხს. თუ შეფარდებას $\frac{G_1}{\gamma_1}$ ავლნიშნავთ ε ასოთი, მაშინ ცეცხლგამძლე მასალის ჭეშმარიტი ფორიანობა ტოლი იქნება სიდიდისა:

$$L_{კეშ} = (1 - \varepsilon) 100\%,$$

მასალის ფარული ფორიანობა განისაზღვრება სხვაობის მიხედვით:

$$L_{ფარ} = L_{კეშ} - L_{პორე}$$

ცეცხლგამძლე მასალების აირშედწევადობა ხასიათდება კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს 1მმ წყ. სე. ტოლი წნევის პირობებში ცეცხლგამძლე მასალის 1მ² ფართზე 1 საათის განმავლობაში გასულ ჰაერის რაოდენობას ლიტრებში. აირშედწევადობის სიდიდეზე გაუენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთაგან აღსანიშნავია: ტემპერატურა, ფორიანობა, მასალის სტრუქტურული აგებულება, წნევა და წნევათა სხვაობა მასალის ერთ და მეორე მხარეზე. აირშედწევადობის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$K = \frac{V\delta}{F\varphi}$$

სადაც V არის მასალაში გატარებული აირის რაოდენობა ლიტრებში;

δ - ცეცხლგამძლე მასალის სისქე მეტრებში;

F - ცეცხლგამძლე მასალის ფართი მ²-ში (რომელზეც აირი გაივიდს)

τ - V მოცულობის აირის F ფართზე გატარების დრო საათებში;

p - წნევათა სხვაობა მასალის ერთ და მეორე მხარეზე.

ზემოთმოცემული ფორმულიდან განისაზღვრება მასალის სხეულში გატარებული აირის რაოდენობა ლიტრებში:

$$V = K \frac{F\varphi}{\delta}$$

აირების ტემპერატურის გაზრდა გამოიწვევს აირშედწევადობის შემცირებას მათი სიბლანტის გადიდების გამო.

დიდი მნიშვნელობა აქვს ცეცხლგამძლე მასალების სითბოგამტარობის თვისების შესწავლას. უმეტეს შემთხვევაში ცეცხლგამძლე მასალები ასრულებენ სითბოიზოლიატორების როლს ბრძმედის, მარტენის, გამახურებელი და სხვ. დუშმელების ამონაგში გამოყენებული ცეცხლგამძლე მასალები უნდა ხასიათდებოდნენ მინიმალური სითბოგამტარობით. პირიქით, როდესაც გახურების პროცესი წარმოებს ცეცხლგამძლე მასალის გავლით

(მუფელური ღუმელები, რეტორტები, ტიგლები) მას უნდა ახასიათებდეს მაქსიმალური სითბოგამტარობა.

ცეცხლგამძლე მასალების სითბოგამტარობაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთაგან ძირითადია: ტემპერატურა, ფორიანობა, კრისტალური სტრუქტურა, მინერალოგიური შემადგენლობა და სხვა.

ტემპერატურის გაზრდას თან მოსდევს უმეტესი ცეცხლგამძლე მასალის სითბოგამტარობის გადიდება. ამ მხრივ გამონაკლისს წარმოადგენენ მაგნეზიალური და კარბორუნდის მასალები, რომელთა სითბოგამტარობა მცირდება ტემპერატურის გაზრდით.

ფორიანობის გადიდება იწვევს სითბოგამტარობის შემცირებას. მაღალი ტემპერატურის პირობებში (800⁰–900⁰ და ზევით) ფორიანობის გაზრდა შედარებით ნაკლებ გავლენას ახდენს სითბოგამტარობის სიდიდეზე.

ცეცხლგამძლე მასალებში კრისტალური ფაზის გაზრდა იწვევს მათი სითბოგამტარობის ამაღლებას.

ცეცხლგამძლე მასალების სითბოგამტარობის სიდიდის მნიშვნელობა მერყეობს მეთაფი ნაწილებიდან 15-20 კკალ/მ. სთ. ⁰C –მდე.

ნორმალური ტემპერატურის პირობებში ცეცხლგამძლე მასალების უმეტესობა ელექტროიზოლიატორის თვისებებით ხასიათდება. ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ცეცხლგამძლე მასალების ელექტროგამტარობის გადიდებას. ელექტროწინააღობის დაშიკიდებულება ტემპერატურისგან ხასიათდება ფორმულით:

$$\ell g R = \frac{A}{T} + B$$

სადაც A და B მუდმივი სიდიდეებია;

T – აბსოლუტური ტემპერატურა, ⁰K.

ზემოთმოცემული გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის გადიდებისას მცირდება ელექტროწინააღობა ე.ი. ცეცხლგამძლე მასალები იძენენ ელექტროგამტარობის თვისებას. ეს გარემოება დაკავშირებულია თხევადი ფაზის წარმოქმნასთან მასალაში, რომელიც (თხევადი ფაზა) ელექტროლიტის თვისებების მატარებელია.

ცეცხლგამძლეების ერთ-ერთი ძირითადი ფიზიკური თვისებაა სითბოტევადობა. სითბოტევადობას განსაზღვრავენ კალორიმეტრული მეთოდით. ტემპერატურის გაზრდით უმეტეს ცეცხლგამძლე მასალათა სითბოტევადობა მატულობს. ცეცხლგამძლე მასალების სითბოტევადობის სიდიდის მნიშვნელობა მერყეობს 0,20–0,040 კკალ/კგ ⁰C ზღერებში.

ცეცხლგამძლე მასალების თერმიული გაფართოება ხასიათდება ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტით, რომელიც აღინიშნება β ასოთი. ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხოლოდ მასალის გეარობასა და ტემპერატურისგან. β -ს შემცირება იწვევს თერმიული მდგრადობის გაუარესებას. უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი ცეცხლგამძლე მასალის თერმიული გაფართოება იცვლება არათანაბრად ტემპერატურისგან დამოკიდებულებით. მაგალითად: დინასის მასალებისთვის $200-250^{\circ}\text{C}$ ინტერვალში $\beta = 5,14 \cdot 10^{-5}$, ხოლო 600°C -დან დაწყებული მისი მნიშვნელობა ტოლია $1,6 \cdot 0,49 \cdot 10^{-5}$ მ/მ°C, რაც აიხსნება ცეცხლგამძლე მასალაში მომხდარი ფიზიკური გარდაქმნებით.

ცეცხლგამძლე მასალების ძირითადი მუშა თვისებაა ცეცხლგამძლეობა. ცეცხლგამძლეობა წარმოადგენს მასალის თვისებას წინააღმდეგობა გაუწიოს ცომისებრ ან თხევადდენად მდგომარეობაში გადასვლას მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ცეცხლგამძლეობას განსაზღვრავენ სტანდარტული მეთოდით. გამოსაცდელი მასალისაგან ამზადებენ მცირე ზომის პირამიდებს.

პირამიდებს ათავსებენ კრიტოლის ღუმელში, რომლის გახურებას აწარმოებენ რეჟიმით: 1000°C -მდე $25 - 50^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$ სიჩქარით, 1000°C -დან 1500°C -მდე $-10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$ სიჩქარით, ხოლო 1500°C -ზე ზევით გახურების სიჩქარე შეადგენს $5^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$. მაღალი ტემპერატურის მოქმედების შედეგად კონუსი გარბილებას განიცდის და საკუთარი წონის გაელენით მისი წვერო დახრას იწყებს. იმ მომენტში განსაზღვრული ტემპერატურა, როდესაც კონუსის წვერო სადგამს შეეხება, ითვლება მოცემული მასალის ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურად. პირამიდის დახრა წარმოებს თანდათანობით, ვინაიდან ცეცხლგამძლე მასალები წარმოადგენენ არა წმინდა ნივთიერებებს, არამედ მრავალფაზიან ჰეტეროგენულ მრავალკომპონენტთან სისტემებს, ამიტომ ცეცხლგამძლე მასალის გახურებისას გარბილებას იწყებენ ჯერ ადვილადდნობადი კომპონენტები. ეს განაპირობებს მასალის არა უცაბედ, არამედ თანდათანობით გადნობას გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში. ზემოთნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ რაც უფრო ნაკლები იქნება ადვილადდნობად კომპონენტთა შემცველობა მოცემულ მასალაში, მით უფრო მაღალი იქნება მისი ცეცხლგამძლეობა.

დუმელთა ამონაგებში ექსპლოატაციის დროს ცეცხლგამძლე მასალები განიცდიან შეკუმშვას. ცეცხლგამძლე მასალების სიმტკიცეს შეკუმშვაზე განსაზღვრავენ როგორც ციე მდგომარეობაში, ასევე მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

ცეცხლგამძლე მასალის მექანიკური სიმტკიცის განსაზღვრა ოთახის ტემპერატურაზე საშუალებას იძლევა შემოწმდეს გამოწვის ხარისხი. ცუდად გამომწვარი აგური ხასიათდება დაბალი მექანიკური სიმტკიცით. ზოგიერთ ცეცხლგამძლე მასალის მექანიკური სიმტკიცე ოთახის ტემპერატურის პირობებში ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით:

ცხრილი 16

ცეცხლგამძლე მასალის დასახელება	დაძაბულობა შეკუმშვაზე ნ [კგ/სმ ²]
დინასი	250 – 300
შამოტის რიგითი აგური	100 – 200
საბრძმველ და ციცხვის შამოტის აგური	400 – 700
მაგნეზიალური მასალები	300 – 500

გახურების შედეგად ზოგიერთი ცეცხლგამძლე მასალის მექანიკური სიმტკიცე იზრდება. მაგალითად: შამოტის მასალების მაქსიმალურ სიმტკიცეს ადგილი აქვს 1000 – 1100°C ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო დინასის მასალების მაქსიმალურ მექანიკურ სიმტკიცეს – 800°C-ზე მექანიკური სიმტკიცის გაზრდა ამ მასალების გახურებისას აიხსნება მინისებრი ბლანტი მასების წარმოქმნით ცეცხლგამძლე მასალების მასაში.

ტემპერატურის გარკვეულ ზღვარს გადაშეტებას მოსდევს ბლანტი, მინისმაგვარი მასების თანდათანობითი გათხელება და ცეცხლგამძლე მასალის მექანიკური სიმტკიცის მკვეთრი შემცირება. ამ პირობებში 1კგ/სმ² დატვირთვის მეთადი მნიშვნელობაც კი მასალის საგრძნობ დეფორმაციას იწვევს. ამ შემთხვევაში ცეცხლგამძლე მასალების საამშენებლო სიმტკიცის დახასიათება შეკუმშვისადმი დროებითი წინააღმდეგობით ან დაძაბულობით ჩვეულებრივი, ოთახის პირობებში შეუძლებელია. მაღალი ტემპერატურის პირობებში ცეცხლგამძლე მასალების საამშენებლო სიმტკიცეს განსაღვრავენ დატვირთვით გამოწვეული დეფორმაციის სიდიდის მიხედვით.

მაღალი ტემპერატურის პირობებში დატვირთვით გამოწვეული დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის თვისება განისაზღვრება შემდეგნაირად: ცეცხლგამძლე მასალის სტანდარტულ ნიმუშს ($d = 36$ მმ, $h = 50$ მმ) ათავსებენ კრიპტორულ ლუმელში. ამ ნიმუშზე ანვითარებენ დატვირთვას 2 ან 5 კგ/სმ² სიდიდით. ლუმელის ტემპერატურას ზრდიან თანდათანობით: 800°C-მდე 10°C/წთ სიჩქარით, ხოლო 800°C-ზე ზევით 4 – 5⁰/წთ სიჩქარით. გახურების პროცესში თვალყურს ადევნებენ ნიმუშის შეკუმშვას დილატომეტრის საშუალებით. მიღებულია, რომ 4% სიდიდის ჩაჯდომის შესაბამისი წერტილი თერმომეტრზე ითვლება გარბილების დაწყების ტემპერატურად, ხოლო 40% ჩაჯდომის შესაბამისი წერტილი-გარბილების დამთავრების ტემპერატურად. ცეცხლგამძლე მასალების გარბილების დაწყების ტემპერატურა განსაზღვრავს დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის თვისებას მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ქვემოთ მოცემულია ფართოდ გავრცელებული ცეცხლგამძლე მასალების გარბილების ან დეფორმაციის დაწყების ტემპერატურა და მისი შედარება ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურასთან.

ცხრილი 17

ცეცხლგამძლე მასალის დასახელება	დეფორმაციის დაწყების ტემპერატურა, t ⁰ C	დეფორმაციის დამთავრების ტემპერატურა, t ₁ ⁰ C	ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურა t ₂ ⁰ C	T ₂ - t ₀
დინასი	1630	1670	1730	100
შამოტი	1350	1600	1730	380
მაგნეზიტი	1500	1550	200	500

ამ მონაცემებიდან ჩანს, დინასის მასალების დეფორმაციის დაწყების ტემპერატურა ახლოს დგას მისი ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურასთან ე.ი. დინასს აქვს კარგი საამშენებლო სიმტკიცე მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ეს გარემოება აიხსნება დინასში არსებული კარგად განვითარებული კრისტალური შენაზრდის არსებობით (S₀₂).

შამოტის მასალები დატვირთვის და მაღალი ტემპერატურის პირობებში დეფორმაციას იწყებენ ისეთ ტემპერატურაზე, რომელიც მნიშვნელოვნად დაბალია მისი ცეცხლგამძლეობის ტემპერატურასთან შედარებით. სხვაობა ამ ტემპერატურებს შორის 380°C ტოლია. ამით აიხსნება შამოტის მასალების საამშენებლო ან მექანიკური სიმტკიცის დაბალი მნიშვნელობა. ამ გარემოების გამოწვევი მიზეზია შამოტში სუსტად განვითარებული კრისტალური შენაზარდი,

მულიტის და მინისებრი ფიზის დიდი რაოდენობა. გარდა ამისა, შამოტის მასალები დეფორმაციას განიცდიან ტემპერატურის გრძელ ინტერვალში. ეს მოუძუნა გამოწვეულია მინისებრი ფაზის თვისებით განიცადოს თანდათანობითი შერბილება ტემპერატურის გაზრდით.

მიუხედავად მაღალი ცეცხლგამძლეობისა (2000°C) მაგნეზილური ცეცხლგამძლე მასალები ხასიათდებიან მცირე მნიშვნელობის მექანიკური სიმტკიცით მაღალი ტემპერატურის პირობებში. (დეფორმაციის დაწყების ტემპერატურა ტოლია 1500°C). ეს გარემოება აიხსნება იმით, რომ ამ მასალების ძირითადი შემადგენი ნაწილი MgO-ს არ წარმოშობს კრისტალურ შენაზარდს, ან ბადეს. MgO-ს ნაწილაკები ერთმანეთთან შეკავშირებულნი არიან ადვილადდნობადი მონარეგებით, მაგნეზილური მინით.

ცეცხლგამძლე მასალების წინააღმდეგობა დეფორმაციისადმი მაღალი ტემპერატურის პირობებში დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთაგან ძირითად როლს თამაშობენ: ქიმიურ-მინერალოგიური შემადგენლობა, სიმკერძო, მდნობელთა (ფლუსების) რაოდენობა და გამოწევის ხარისხი.

ცეცხლგამძლე მასალების თერმომდგრადობა არის მათი მუშა თვისება წინააღმდეგობა გაუწიონ ტემპერატურის მკვეთრ ცვალებადობას და შეინარჩუნონ მთლიანობა (არ დაიბზარონ ან არ დაირღვენენ). ცეცხლგამძლე მასალების თერმომდგრადობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$K=n \frac{\ell \lambda}{\beta C \gamma}$$

სადაც n არის პროპორციულობის კოეფიციენტი;

ℓ – მაქსიმალური დრეკადი წაგრძელება;

λ – სითბოგამტარობის კოეფიციენტი;

β – თერმიული გაფართოების კოეფიციენტი;

C – სითბოტევადობა;

γ მოც – მოცულობითი წონა.

მოცემული ფორმულიდან ჩანს, რომ თერმიული მდგრადობა მით უფრო მაღალია, რაც უფრო დიდია დრეკადი დეფორმაცია და სითბოგამტარობა, რაც უფრო მცირეა თერმიული გაფართოების კოეფიციენტი, სითბოტევადობა და მოცულობითი წონა. გარდა ზემოთჩამოთვლილი ფაქტორებისა თერმომდგრადობაზე გავლენა აქვთ: მასალის ფორმას, ზომებს, წონას, დაზზადების ტექნოლოგიას და სხვ. თხელი, მცირე ზომის მარტივი ფორმის ცეცხლგამძლე მასალები ხასიათდებიან მაღალი თერმომდგრადობით. სქელი, რთული ფორმის და დიდი ზომის მასალები კი პირიქით.

ვინაიდან დრეკადი დეფორმაციის სიდიდის გამოანგარიშება მოითხოვს რთულ გამოთვლებს, ამოტომ ცეცხლგამძლე მასალების თერმომდგრადობას განსაზღვრავენ ე.წ. შედარების მეთოდით. ამ მეთოდის საფუძველია სითბოცვლები (წელის ან პაერის). სითბოცვლების რაოდენობის განსაზღვრას აწარმოებენ სტანდარტული მეთოდით (გოსტ 4070 მიხედვით). ცეცხლგამძლე აგურს ათავსებენ წინაღობის ელექტროლუმენში და ახურებენ 850°C-ზე. ამ ტემპერატურაზე აყოენებენ 30 წუთის განმავლობაში, რის შემდეგ გახურებული აგურის ბოლოს ჩაუშებენ ოთახის ტემპერატურის მქონე წყალში ან მას გაცივებენ პაერზე. გახურების და გაცივების ციკლი ატარებს სითბოცვლის სახელს. სხვადასხვა სახესხვაობის ცეცხლგამძლე მასალები ხასიათდებიან სხვადასხვა რაოდენობის სითბოცვლებით. მაგ: დინასის მასალები უძლებენ ერთ-ორ სითბოცვლას, მაგნეზიალური მასალები –ერთ-სამ სითბოცვლას, შამოტის მასალები–თექვსმეტ და მეტ სითბოცვლას. ამჟამად აწარმოებენ მასალებს, რომელნიც სამოც და მეტ სითბოცვლას იტანენ.

ცეცხლგამძლე მასალების წილამდგრადობა არის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიონ წიდების ამომჭამაე მოქმედებას მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ამ თვისებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სადნობი ღუმელების ამონაგში გამოყენებული მასალებისთვის. წილამდგრადობაზე ძირითადად გავლენას ახდენენ ცეცხლგამძლე მასალის და წიდის ქიმიური შედგენილობა მათი ურთიერთ შეხებისას წიდების ქიმიური შემადგელობის მიხედვით. ღუმელების სამუშაო სიერცის ამოსაკებად არჩევენ შესაბამისი შედგენილობის ცეცხლგამძლე მასალებს: მჟავა წიდების შემთხვევაში იყენებენ მჟავა ცეცხლგამძლეებს, ხოლო ფუძე ხასიათის წიდების შემთხვევაში – ფუძე მასალებს. გარდა ამისა, ცეცხლგამძლე მასალების წილამდგრადობაზე გავლენას ახდენს მრავალი სხვა ფაქტორი. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს წიდების მიერ მასალის ცვალებადობას. რაც უფრო სუსტია წიდების მიერ ცეცხლგამძლე მასალის ზედაპირის სეელებადობა, მით უფრო მაღალია წილამდგრადობა. წიდის ტემპერატურის და თხევადდენადობის გაზრდა იწვევს ცეცხლგამძლე მასალის წილამდგრადობის შემცირებას, ვინაიდან ამ პირობებში საგარძნობლად ძლიერდება წიდების ამომჭამაეი მოქმედება. პრაქტიკულად არ არსებობს იდეალური წილამდგრადი მასალები: წიდის და მასალების ქიმიური შედგენილობის მაქსიმალური ერთგვარონების შემთხვევაშიც კი ადგილი აქვს წიდების მიერ ცეცხლგამძლე მასალების დაშლის პროცესს.

ცეცხლგამძლე მასალები ღუმელებში ექსპლუატაციის დროს თერმული გაფართოების, ჩაჯდომის და დეფორმაციის მოქმედების შედეგად იცვლიან მოცულობას.

გამომწვარი ცეცხლგამძლე მასალების ჩაჯდომა დამატებით ჩაჯდომის სახელს ატარებს და გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\varepsilon_{\text{ღმ}} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100\%$$

სადაც V_1 არის მასალის მოცულობა (ღუმელის ამონაგეში) გამოწვამდე;

V_2 – მასალის მოცულობა გახურების შემდეგ.

გახურების შედეგად ზოგიერთი ცეცხლგამძლე მასალა ზრდას განიცდის. მასალის მოცულობის გაზრდა გახურების შედეგად დამატებითი ზრდის სახელწოდებას ატარებს და გამოითვლება ფორმულით:

$$\varepsilon_{\text{ღზ}} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} 100\%$$

ცეცხლგამძლე მასალების მოცულობის ცვალებადობა ღუმელის ამონაგებში ექსპლუატაციის პირობებში შეიძლება დახასიათებული იქნეს დინასის, შამოტის, ნახევრად და სხვა მასალების მაგალითზე.

დინასის მასალები შეიცავენ არანაკლები 93% SiO_2 , რომელსაც აქვს რამოდენიმე მოდიფიკაცია: β და α კვარცი, $\alpha\beta\gamma$ ტრიდიმიტი, α და β კრისტობალიტი და კაუმიჭა მინა. ტემპერატურის შეცვლა იწვევს SiO_2 -ის ერთი მოდიფიკაციიდან მეორე მოდიფიკაციაში გადასვლას, რასაც თან ახლავს მოცულობის გაზრდა ან შემცირება. არსებობს მოდიფიკაციური გარდაქმნის ორი სახეობა: 1. გარდაქმნები, რომელნიც ხორციელდებიან მაღალი სიჩქარით მოცულობის მკვეთრი შეცვლით. ასეთი გარდაქმნები მიეკუთვნებიან შექცევად პროცესებს. 2. გარდაქმნები, რომელნიც ვითარდებიან დაბალი სიჩქარით, მოცულობის თანდათანობითი შეცვლით. ისინი მიეკუთვნებიან შეუქცევად პროცესებს.

პირველი სახესხვაობის გარდაქმნებს დინასის მასალებში ადგილი აქვთ 0° -დან 600° -მდე ტემპერატურულ ზღვრებში. ტემპერატურის ამ ზღვრებში β – კვარცი გადადის α – კვარცში, რაც იწვევს მასალის მოცულობის გაზრდას დაახლოებით 4%-ით. $1300 - 1400^\circ\text{C}$ ტემპერატურულ ზღვარში α – კვარცი გადადის α' – კრისტობალიტში, რასაც თან ახლავს კუთრი მოცულობის გაზრდა 13,65%-ით. თუ კაუმიჭა შეიცავს მდნობელებს (მინერალიზატორებს), მაშინ $1100 - 1400^\circ\text{C}$ ტემპერატურულ ზღვარში α – კვარცი გადადის α' – ტრიდიმიტში და

კუთრი მოცულობა გაიზრდება 13,68%-ით. 1300 – 1400°C ტემპერატურულ ზღვაში განხორციელებული გარდაქმნები მიეკუთვნებიან მეორე სახესხვაობას, შეუქცევად პროცესებს. 1470°C-ზე ზევით გახურებისას α -კვარცი კვლავ გადაეა α -კრისტობალიტში (მინერალიზატორების შემცველობის შემთხვევაშიც).

კაჟმიწის α – ტრიდიმიტის მოდიფიკაცია ხასიათდება მოცულობის მინიმალური ცვალებადობით გახურების ან გაციების დროს, ამიტომ დინასის მასალების გამოწვისას ცდილობენ კაჟმიწის ტრიდიმიტის ფაზაში მიღების უზრუნველყოფას. ღუმელის ამონაგში ექსპლუატაციის დროს ტრიდიმიტი კვლავ გადადის კრისტობალიტში და მოცულობა იზრდება მხოლოდ 1,18%-ით. მოცულობის ასეთი მცირე მნიშვნელობის ცვალებადობა ვერ გამოიწვევს ამონაგის დარღვევას. პირიქით, დინასის მასალების ზრდა მოცულობაში იწვევს სასარგებლო მოვლენას – მარტენის ღუმელის თაღში მომუშავე აგურებს შორის არსებული ღრწოების შევსებას.

შამოტის მასალების თერმიული გაფართოება 20⁰ დან 1300°C-მდე ტემპერატურულ ზღვარში ძლიერ უმნიშვნელოა და შეადგენს 5,2 10⁻⁴ 5,8 10⁻⁴% ღუმელების ამონაგში მუშაობის დროს შამოტის მასალები განიცდიან მცირე მნიშვნელობის ჩაჯდომას, რასაც აბათილებს თერმიული გაფართოება. შამოტის მასალების ჩაჯდომა დაკავშირებულია მათში თხევადი ფაზის წარმოქმნით მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

ნახევრად მჟავა ცეცხლგამძლე მასალებს აქვთ დინასის და შამოტის მასალების შუალედური ქიმიური შედგენილობა. ვინაიდან დინასის მასალები განიცდიან ზრდას, ხოლო შამოტის მასალები – ჩაჯდომას, ამიტომ შესაბამისი ქიმიური შედგენილობის ნახევრად მჟავა მასალები პრაქტიკულად არ იცვლიან მოცულობას ღუმელის ამონაგში ექსპლუატაციის დროს. ნახევრად მჟავა ცეცხლგამძლე მასალების ჩაჯდომა შეადგენს 0,2–0,3% 1400–1450°C ტემპერატურულ ზღვარში.

მაგნეზიტის და ქრომმაგნეზიტის ცეცხლგამძლე მასალები 1500–1550°C ტემპერატურულ ზღვარში პრაქტიკულად ინარჩუნებენ მუდმივ მოცულობას.

ცეცხლგამძლე მასალების სითბური გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი

ცხრილი 18

ტემპერატურული ინტერვალი °C	ცეცხლგამძლე მასალების დახასიათება				
	შამოტის საბრძმედე I კლასის აგური	კაოლინური შამოტის ციციხე აგური	მაღალთხა მიწოვანი Al ₂ O ₃ =60%	ქრომულმაგნ ვიტიური აგური	პერიკლაზ-შინგლიდის აგური
20 - 200	12,2.10 ⁻⁶	4,4.10 ⁻⁶	4,4.10 ⁻⁶	8,3.10 ⁻⁶	9,5.10 ⁻⁶
20 - 300	-	-	-	-	10,15.10 ⁻⁶
20 - 400	9,0.10 ⁻⁶	4,2.10 ⁻⁶	4,35.10 ⁻⁶	8,2.10 ⁻⁶	10,5.10 ⁻⁶
20 - 500	-	-	-	-	10,7.10 ⁻⁶
20 - 600	8,1.10 ⁻⁶	4,1.10 ⁻⁶	4,8.10 ⁻⁶	8,4.10 ⁻⁶	10,12.10 ⁻⁶
20 - 700	-	-	-	-	11,1.10 ⁻⁶
20 - 800	7,2.10 ⁻⁶	4,2.10 ⁻⁶	4,8.10 ⁻⁶	8,3.10 ⁻⁶	11,4.10 ⁻⁶
20 - 1000	6,9.10 ⁻⁶	4,6.10 ⁻⁶	5,25.10 ⁻⁶	9,3.10 ⁻⁶	12,2.10 ⁻⁶
20 - 1200	6,4.10 ⁻⁶	-	6,2.10 ⁻⁶	9,7.10 ⁻⁶	12,4.10 ⁻⁶
20 - 1300	5,7.10 ⁻⁶	-	6,3.10 ⁻⁶	-	12,7.10 ⁻⁶
20 - 1400	5,9.10 ⁻⁶	-	6,6.10 ⁻⁶	10,7.10 ⁻⁶	13,1.10 ⁻⁶

წმინდა ჟანგეულისგან შემდგარი ცეცხლგამძლე მასალების ზოგიერთი თვისება

ცხრილი 19

ჟანგეული	დნობის ტემპერატურა °C	კუთრი წონა, გ/სმ ³	სითბური გაფართოების კოეფიციენტი, გ/10 ⁻⁶	სითბოგამტარობა კკალ/მ-სთ °C		ქიმიური ბუნება
				100 °C	1100 °C	
1	2	3	4	5	6	7
Al ₂ O ₃	2050	4,0	8,4	24,8	4,5	მჟავა
MgO	2800	3,6	15,6	29,6	5,1	ფუჭე
C ₆ O	2570	3,4	13,8	12,0	5,8	ფუჭე
Zr ₂ O ₂	2700	5,6	7,7	1,4	1,7	მჟავა
B ₂ O	2530	3,0	10,6	180,0	15,3	ფუჭე
ThO ₂	3050	9,7	10,2	6,9	2,0	ფუჭე
3Al ₂ O ₃ .2S ₂ O ₂	1910	3,0	5,5	4,4	3,0	მჟავა
MgO.Al ₂ O ₃	2135	3,5	9,5	11,9	4,2	ფუჭე

4.3 ფხვიერი ცეცხლგამძლე მასალები

ა. მაგნეზიტის მეტალურგიული ფხვნილი

ცხრილი 20

მარტენის ღუმელისთვის		ელექტროფოლადსადნობი ღუმელებისათვის ტპო - 49 მიხედვით
ტპ - 260 მიხედვით	ტპო - 40 მიხედვით	
ფიზიკურ - ქიმიური მაჩვენებლები		
I კლასი	II კლასი	MgO 88% CaO 4,0% SiO ₂ 4,0% დანაკარგები გახურებისას 0,6%
MgO ≥ 88%	MgO 8,5%	
CaO 4,0%	CaO 6%	
SiO ₂ 4,0%	SiO ₂ 5%	
დანაკარგები გახურებისას 0,6%	დანაკარგები გახურებისას 0,6%	

გრანულომეტრული შემადგენლობა

ცხრილი 21

მარკა МПЭ	მარკა МПК	მარკა МПМ	მარკა МПЭМ
0,8 მმ-მდე 15%	2 მმ-მდე 40%	28მ-მდე 75%	0-0.8მმ 30-55%
0,8- 8მ 75%	2-15 მმ 60%	2-15მმ 25%	8-10მმ 10%
8-10 მმ 10%	მათ რიცხვში 15მმ-ზე ზევით 6%	მათ რიცხვში 15მმ-ზე ზევით 3%	მათ რიცხვში 10-მმ-ზე ზევით 3%

- შენიშვნა მარკები: МПЭ - მეტალურგიული ფხენილი ექსტრა,
 МПК - მეტალურგიული ფხენილი მსხვილი
 МПМ - მეტალურგიული ფხენილი წვრილი,
 МПЭП - მეტალურგიული ფხენილი

ელექტროლუმენისათვის

ბ. მეტალურგიული დოლომიტი

ცხრილი 22

ნედლი დოლომიტი მკტუ 2660- 50 მიხედვით		გამომწვარი დოლომიტი			
		ტპ 10018-ის მიხედვით	ელექტროლუმენისათვის ტპ 3654-ის მიხედვით		
ფიზიკურ - ქიმიური მაჩვენებლები					
I კლასი MgO ≥ 19% S ₀₂ 3,5% Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Mn ₂ O ₄ ≤ 4%	II კლასი 17% 6% 5%	I კლასი MgO ≥ 32.5% S ₀₂ ≤ 8,5% Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Mn ₂ O ₄ ≤ 8% დანაკარგები გახურებისას 2%	II კლასი 29% 11% 10% 2%	I კლასი MgO ≥ 32,55% S ₀₂ ≤ 8,5% Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Mn ₂ O ₄ ≤ 8% დანაკარგები გახურებისას 2%	II კლასი 29% 11% 10% 2%

ნ ა ჯ რ ო ვ ა ნ ე ბ ა (მარცვლების ან ნაჭრების ზომები)

დანაწესლება	დოლომიტის მარკები	მარცვლების ზომები	დაშეება	დოლომიტის მარკები	მარცვლების ზომები, მმ	დაშეება
ბოვებში და კოშკურა ლუმენებში გამოსაწვად რიოთი 30-250 მმ, როცხეში 30 მმ-ზე ნაკლები ზომის ნაჭრები 2%	2 - 20 -	2 - მდე 2 - 4 4 - 12 12 - 20 20 -ზე ზევით	3 15 60 25 5	0,3 - 4	0,3 - 4	0,3მ-დე 7 488 10
ბოვებში და კოშკურა						

ლუმელებში დამოსაწეად დამზადებული 30 -120 მმ მათ რიცხვში 30 მმ- ზე ნაკლები 2% მარტენის ლუმელის ზღურბლზე დასაყრელად 5 - 30მმ	-2 -12	2 - 12		1 -4	1 -4	1 მმ-მდე 7 4მმ 10
	- 12 - 20	12 - 20				

4.4 ცეცხლგამძლე მასები (მერტელები)

ცეცხლგამძლე მერტელები გამოიყენებიან ცეცხლგამძლე ამონაგებში არსებული ღრეჩობის შესავსებად.

ა. შამოტის და ნახევრად მჟავა მერტელები (გოსტ. 6137-ის მიხედვით)

ცხრილი 23

№ რიგზე	მაჩვენებლის დასახელება	მ ა რ კ ე ბ ი						
		BT 1	BT2	ШК1 ШТ1	ШК2 ШКТ2	ШК3	ПТ1 ПК1	ПК2
1	ცეცხლგამძლეობა, °C არა ნაკლები	1800	1750	1730	1690	1650	1650	1610
2	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ შემცველობა, %-ში არა ნაკლები ა. მაღალთიხამიწიანი მერტელისათვის ბ. შამოტის მერტელისათვის გ. ნახევრად მჟავა მერტელისათვის ტენის შემცველობა, % არა უმეტესი	60	45	38	33	30	20	20
3		5	5	5	5	5	6	6

მერტელის გრანულიმეტრული შედგენილობა

ცხრილი 24

საცრების ნომრები	მერტელის გასვლა, %				
	წმინდად დაფქვის ცხრილში			ცხვილად დაფქვის ცხრილში	
	BT1, BT2,	ШТ1,	ШТ2,	ПТ1	ШК1, ШК2, ШК3, ПК1, ПК2
№ 2	-				
№1	არა	100			არა 100
№05	არა	95			
№009	{ არა	60	{ არა	60	
	არა	85	არა	94	

ცეცხლგამძლე თიხის და შამოტის შემცველობა მერტელში

ცხრილი 24-ის დასასრული

კომპონენტის დასახელება	წმინდად დაფქვილი მერტელი	მსხვილად დაფქვილი მერტელი
	BT1, BT2, AT1, AT2, NT1	AK1, AK2, AK3, PK1, PK2
შამოტი, %	80 - 85	78 -84
ცეცხლგამძლე თიხა,%	15 - 20	16 - 22

ბ. დინასის მერტელი (გოსტ 5338-ის მიხედვით)

ცხრილი 25

მერტელის დასახელება	ღუმელის სამუშაო ტემპერატურა °C	ჟანგულების შემცველობა		ცეცხლ გამძლეობა, °C არა ნაკლებ	გრანულომეტრული შემადგენლობა
		SiO ₂ არა	Al ₂ O ₃ არა		
მაღალტემპერატურული, MD1	1500 ⁰ C -ზე ზევით	94 - 96	2,0 - 3,5	1690	№1 საცერზე ნარჩენი შეადგენს > 3%
დაბალტემპერატურული, MD 2	1500 ⁰ C-ზე ქვევით	90 - 93	4,0 - 6,0	1580	№02 საცერში გადის 65-80%

შენიშვნა: ღუმელის სამუშაო ტემპერატურის 1000⁰C-ზე ნაკლები მნიშვნელობის დროს დაბალტემპერატურულ მერტელში მისი გამოყენების წინ შეჰყავთ თხევადი მინა 8-10% რაოდენობით (1,3 - 1,4 კუთრი წონით)

გ. დინასის მერტელი კოქსის ღუმელების ამონაგისთვის (ტპ 3362-ის მიხედვით)

შემადგენლობა: დინასის ლეწი - 90%, ცეცხლგამძლე თიხა - 10%, კაემიწის შემცველობა მერტელში უნდა იყოს არა ნაკლები 90%, ცეცხლგამძლეობა - არა ნაკლები 1650⁰ C , გრანულომეტრული შემადგენლობა:

№1 საცერზე ნარჩენი შეადგენს არა უმეტეს - 2%

№2 საცერში გადის არა უმეტეს 85% და არა ნაკლები 70%

დ. ჰაერზე მყარებადი მერტელი (ტპო – 49-ის მიხედვით)

შამოტ-ბოქსიტური ჰაერზემყარებადი მერტელი მზადდება მშრალი ფხენილის სახით. მას გამოყენების წინ ურევენ თხევად მინას, მისი ცეცხლგამძლეობა შეადგენს არა ნაკლები 1650 °C. Al_2O_3 შემცველობა შამოტ-ბოქსიტურ მერტელში შეადგენს არა ნაკლები 35%, Fe_2O_3 – არა უმეტეს 5%.

გრანოლიმეტრული შემადგენლობა:

0,5მმ-ზე მეტი ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 1,3%,

0,5 – 0,2 მმ ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 10%,

0,008 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 60-70%.

ე. შამოტ-თიხამიწოვანი მერტალი

ჰაერზემყარებადი შამოტ-თიხამიწოვანი მერტელი ძირითადად გამოიყენება ორთქლის ქვაბების საცეცხლურების ამონაგში 1500°C ტემპურატურის პირობებში.

ამ მერტელის შემადგენლობა შემდეგია:

90% შამოტის ფხენილი 1690°C ცეცხლგამძლეობით, 10% ალუმინის ქანვის პიდრატი, რომელიც შეიცავს არა ნაკლები 65% Al_2O_3 , ხსნადი მინა 1,4–1,6 კუთრი წონით – 15% რაოდენობით 100%-ზე ზევით.

ხსნადი მინის შერევაამდე მერტელის ცეცხლგამძლეობა შეადგენს –1730°C გრანულომეტრული შემადგენლობა:

0,5 მმ-ზე მეტი ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 1%;

0,2–0,5 მმ ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 10%;

0,666 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლების რაოდენობა უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს 55–65%.

5. ფოლადების კლასიფიკაცია და მარკების აღნიშვნა

5.1 ფოლადების კლასიფიკაცია

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ფოლადებს ყოფენ ორ ძირითად ჯგუფად:

- 1) ნახშირბადოვანი ფოლადები;
- 2) ლეგირებული ფოლადები;

ნახშირბადის შემცველობის მიხედვით ნახშირბადოვანი ფოლადები იყოფიან სამ ქვეჯგუფად:

- ა) მცირენახშირბადოვანი ფოლადები (C არა უმეტესი 0.3%)
- ბ) საშუალონახშირბადოვანი ფოლადები (C - 0.3 - 0.65%)
- გ) ნახშირბადოვანი ფოლადები (C ~ 0.65% - 1.5%)

დანიშნულების მიხედვით ნახშირბადოვანი ფოლადები იყოფიან ორ ჯგუფად:

- 1) საკონსტრუქციო ფოლადები.
- 2) საიარაღო ფოლადები.

თავის მხრივ საკონსტრუქციო ფოლადები იყოფიან ორ ქვეჯგუფად:

- 1) საამშენებლო ფოლადები (ძირითადად მცირენახშირბადოვანი მარკები)
- 2) სამანქანათმშენებლო ფოლადები (საშუალონახშირბადოვანი და მცირენახშირბადოვანი ფოლადები).

საიარაღო ფოლადები იყოფიან სამ ქვეჯგუფად:

- 1) მკრელი ინსტრუმენტის ფოლადები;
- 2) საზომი ინსტრუმენტის ფოლადები;
- 3) სატეიფრი ინსტრუმენტის ფოლადები;

ლეგირებული ფოლადები მაღლეგირებული ელემენტების შემცველობის მიხედვით იყოფიან სამ ქვეჯგუფად:

ა) მცირედ ლეგირებული ფოლადები (მაღლეგირებული ელემენტების შემცველობა არ აღემატება 4%-ს);

ბ) საშუალოდ ლეგირებული ფოლადები (მაღლეგირებული ელემენტების შემცველობა იცვლება 4-10% ზღვრებში);

გ) მაღალლეგირებული ფოლადები (მაღლეგირებული ელემენტების შემცველობა იცვლება 10-დან 50%-მდე).

დანიშნულების მიხედვით ლეგირებულ ფოლადებს ჰყოფენ სამ ქვეჯგუფად:

- 1) საკონსტრუქტორო ლეგირებული ფოლადები;
- 2) საიარაღო ლეგირებული ფოლადები;
- 3) სპეციალური (განსაკუთრებული) თვისებების ფოლადები;

ლეგირებული ფოლადების უკანასკნელ ქვეჯგუფს მიეკუთვნებიან ფოლადები, რომელთა დანიშნულებაა მაღალი ტემპერატურის პირობებში მუშაობა. განსაკუთრებული თვისებების მქონე ფოლადებს აქვთ სპეციალური კლასიფიკაციური აღნიშვნები და სახელწოდებანი, არსებობს ამ აღნიშვნების ორი სისტემა:

პირველი სისტემა

1) ხენჯმედეგობა (მხურვალმედეგობა ან მხურვალგამძლეობა) დაჟანგვის წინააღმდეგ მედეგობა ე.ი. ეს არის წმინდა ქიმიური თვისება, რომელიც არაა დაკავშირებული მაღალი მექანიკურ სიმტკიცესთან გაზრდილი ტემპერატურეს პირობებში.

2) სითბომედეგობა მაღალი მექანიკური სიმტკიცე დიდი ტემპერატურის პირობებში.

3) მხურვალმტკიცობა ლითონის ხენჯმედეგობის და სითბომედეგობის შერწყმული თვისება.

მეორე სისტემა

1) ხენჯმედეგობა (მხურვალმედეგობა ან მხურვალგამძლეობა) იგივე, რაც პირველ სისტემაში.

2) მხურვალმტკიცობა - მაღალი მექანიკური სიმტკიცე დიდი ტემპერატურეს პირობებში. მხურვალმტკიცობა შეესაბამება სითბომედგობის თვისებას პირველ სისტემაში.

3) მხურვალგამძლეობა - ლითონის უმაღლესი თვისება, ხენჯმედგობისა და სითბომედგობის შერწყმული თვისება. მხურვალგამძლეობა შეესაბამება მხურვალმტკიცობის თვისებას პირველ სისტემაში.

5.2 ფოლადის მარკების აღნიშვნა

1. ნახშირბადოვანი ფოლადები

ჩვეულებრივი ხარისხის კონსტრუქციული ფოლადის მარკები, რომლებიც მომხმარებელს ბარდება მექანიკური თვისებების მიხედვით (ГОСТ 380 ჯგუფი А) აღინიშნებიან შემდეგნაირად: Ст.0, Ст.1, Ст.2, Ст.3, Ст.4, Ст.5, Ст.6, Ст.7, სადაც ნიშანი „Ст.“ წარმოადგენს ფოლადის რუსული სახელწოდების პირველ ორ ასოს, ხოლო რიცხვის გაზრდის შესაბამისად, იზრდება ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა მისი სიმტკიცე, სისალე და ცვეთმედგობა, მცირდება პლასტიკურობა და დარტყმითი სიბლანტე.

ჩვეულებრივი ხარისხის კონსტრუქციული ფოლადის მარკები, რომელნიც მომხმარებელს ბარდება ქიმიური შედგენილობის მიხედვით (ГОСТ 380 ჯგუფი В) აღინიშნებიან შემდეგნაირად: МСт.0, МСт.1, МСт.2, МСт.3, МСт.4, МСт.5, МСт.6, МСт.7; ბესემერული ფოლადი ВСт.0, ВСт.1, ВСт.2, ВСт.3, ВСт.4, ВСт.5, ВСт.6.

ხარისხოვანი ნახშირბადოვანი კონსტრუქციული ფოლადის მარკები (ГОСТ 1050 მიხედვით) აღინიშნებიან შემდეგნაირად: 05КП, 05, 08КП, 10,15,20,25,30,35,40,45 და ა.შ. ყოველი ხუთი ერთეულის შემდეგ 70-მდე; მანგანუმის შემცველობის გაზრდის შემთხვევაში მარკის ამღნიშნელი რიცხვის მარჯვნივ წერენ ასო „Г“-ს მაგალითად: 20Г, 50Г, 60Г; ორნიშნა რიცხვი შეესაბამება ფოლადში ნახშირბადის საშუალო შემცველობას მეასედ პროცენტებში. КП აღნიშნავს რუსულ სიტყვას „მდულარე“-ს შემოკლებით.

ხარისხიანი ნახშირბადოვანი ინსტრუმენტალური ფოლადის მარკები (ГОСТ 1435-ის მიხედვით) აღინიშნებიან შემდეგნაირად: У7, У8, У9 და ა.შ. У12-მდე, სადაც „У“ არის რუსული სიტყვის, „ნახშირბადოვანის“ (углеродистая) პირველი ასო, ხოლო რიცხვი ნახშირბადის შემცველობის საშუალო

რაოდენობა პროცენტის მეათედ ნაწილებში. თუ ფოლადში მანგანუმის გაზრდილი შემცველობა იქნება, მაშინ რიცხვის მარჯვნივ იწერება ასო „F“.

მაღალხარისხოვან ნახშირბადოვანი საიარალო ფოლადების მარკებში მათი აღნიშვნის ბოლოს წერენ ასო „A“-ს. მაგალითად: Y7A, Y8A, Y9A და ა.შ. ასო A აღნიშნავს, რომ გოგორდის და ფოსფორის შემცველობა აღნიშნული მარკების ფოლადებში არ აღემატება 0.030%-ს თითოეული.

2. ლეგირებული ფოლადები

ლეგირებული ფოლადის ყველა ჯგუფის მარკების აღნიშვნებში მალეგირებულ ელემენტებს მიკუთვნებული აქვთ რუსული ანბანის ასოების ნიშნები:

ალუმინი	Ю	მოლიბდენი	М
ბორი	Р	ნიკელი	Н
ვანადიუმი	Ф	ნიობიუმი	Б
ვოლფრამი	В	ტიტანი	Т
კობალტი	К	ფოსფორი	П
სილიციუმი	С	ქრომი	Х
მანგანუმი	Г	ციროკონიუმი	Ц
სპილენძი	Д		

ნებისმიერი ჯგუფის ლეგირებული ფოლადის მარკა პოსტ საბჭოთა სიერში შესდგება რუსული ანბანის ასოებისგან, რომელნიც აღნიშნავენ მალეგირებულ ელემენტებს. ამასთან, თუ მოცემული ელემენტის შემცველობა ფოლადში 1%-ზე მეტია, მაშინ ელემენტის ამღნიშნელი ასოს შემდეგ იწერება რიცხვი, რომელიც შეესაბამება ამ ელემენტის დაახლოებით შემცველობას ფოლადში პროცენტებში (მაგ: H4 ნიშნავს, რომ ფოლადში ნიკელის შემცველობა დაახლოებით 4%-ის ტოლია)

მარკის დასაწყისში უჩვენებენ ნახშირბადის საშუალო შემცველობას. ამასთან, საკონსტრუქციო ფოლადების შემთხვევაში ნახშირბადის შემცველობას პროცენტის მეასედ ნაწილებში გამოსახავს n რიცხვი, ხოლო საიარალო საშუალო და მაღალლეგირებული ფოლადების შემთხვევაში ნახშირბადის შემცველობა გამოისახება ერთნიშნა რიცხვით პროცენტის მეათედ ნაწილებში.

უკანასკნელ შემთხვევაში ნახშირბადის მცირე შემცველობისას ფოლადში (ი 0.08%) მარკის აღნიშვნის წინ იწერება ნიშანი „0“ (მაგალითად 0X18H9).

ზოგიერთი საიარაღო ლეგირებული ფოლადის მარკებს, რომელნიც გამოიყენებიან მჭრელი ინსტრუმენტისათვის და რომლებშიც ნახშირბადის შემცველობა დაახლოებით 1%-იან, მარკის წინ არ უწერენ ნახშირბადის შემცველობის გამომსახველ რიცხვს არ უწერენ, აგრეთვე ზოგიერთი მაღალლეგირებული ფოლადის მარკებში, მაგალითად ქრომოვანი ფოლადების მარკებში (X17, X25 და სხვ), ვინაიდან ამ ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობა ძლიერ მცირეა.

მაღალხარისხოვანი საკონსტრუქციო ლეგირებული ფოლადების მარკების აღნიშვნის ბოლოს წერენ ასო A-ს (მაგალითად: ხარისხოვანი მარკა აღნიშნება: 30XГC, ხოლო მაღალხარისხოვან – 30XГCA), განსაკუთრებული თვისებების მქონე მაღალლეგირებული ფოლადების მარკების აღნიშვნაში ასო A არ იწერება.

ლეგირებული ფოლადების ზოგიერთი ჯგუფი აღინიშნება რუსული ანბანის ასოებით. მაგალითად: A - ავტომატური ფოლადები; P- სწრაფადმჭრელი საიარაღო ფოლადები, Ш ბურთულასაკისრების ფოლადები; Э-ელექტროტექნიკური ფოლადები; E მუდმივი მაგნიტის ფოლადები ზემოთმოყვანილ ასოებს წერენ მარკის აღნიშვნის დასაწყისში, ხოლო მათ შემდეგ მოსდევს ასოები და რიცხვები, რომელთაც აქვთ სპეციალური პირობითი მნიშვნელობა თითოეული ჯგუფისთვის.

წარმოებში ასათვისებელი ექსპერიმენტული მარკები აღინიშნებიან ასოებით: ЭН ან ЭП, რომლებსაც მოსდევს ფოლადის რიგითი ნომერი (მაგალითად: ЭН69, ЭП120).

3. სხვადასხვა მარკის ფოლადების საღებავებით ნიშნდება
(ფერებით მარკირება)

ცხრილი 26

სახელმწიფო სტანდარტის №	ფოლადის ჯგუფის ან მარკის დასახელება	შეღებვის ფერი
1	2	3
ГОСТ 380	ჩვეულებრივი ხარისხის ნახშირბადოვანი ფოლადები	
	Ст.0, МСт.0, БСт.0	წითელიმწვანე
	Ст.1, М Ст.1	თეთრთშავი
	Ст.2, М Ст.2	ყვითელი
	Ст.3, МСт.3, БСт.3	წითელი
	Ст.4, МСт.4, БСт.4	შავი
	Ст.5, МСт.5, БСт.5	მწვანე
	Ст.6, МСт.6, БСт.6	ლურჯი
	Ст.7, МСт.7	წითელიყვინფერი
ГОСТ 1050	ნახშირბადოვანი ხარისხოვანი ფოლადები	
	08-20	თეთრი
	25-40	თეთრ+ყვითელი
	45-70	თეთრთყვინფერი
	15Г-40Г	ყვინფერი
	50Г-70Г	ყვინფერთმწვანე
	10Г2	ყვინფერთყვითელი
	30 2-50 2	ყვინფერთლურჯი
ГОСТ 4543	ლეგირებული ხარისხოვანი და მაღალხარისხოვანი ფოლადები	
	ქრომოვანი	მწვანეთყვითელი
	ქრომვანადიუმიანი	მწვანეთშავი
	მოლიბდენიანი	იისფერი
	ქრომმოლიბდენიანი	მწვანეთიისფერი
	ქრომსილიციუმიანი	ლურჯთწითელი
	ქრომვანგანუმიანი	ლურჯთშავი
	ქრომვანგანუმოლიბდენიანი	იისფერთთეთრი
	სილიციუმვანგანუმიანი	წითელითშავი
	ქრომსილიციუმვანგანუმიანი	წითელითიისფერი
	ქრომალუმინიანი და ქრომმოლიბდენალუმინიანი	ალუმინისფერი
	ქრომმოლიბდენვანადიუმიანი	იისფერთყვინფერი
	ნიკელიანი	ყვითელილურჯი
	ნიკელმოლიბდენიანი	ყვითელითიისფერი
	ქრომნიკელიანი	ყვითელითშავი
ქრომნიკელვანადიუმიანი	ყვინფერთშავი	
ქრომნიკელვოლფრამიანი	ყვითელიწითელი	
ქრომნიკელმოლიბდენიანი	იისფერთშავი	
ქრომნიკელმოლიბდენვანადიუმიანი	იისფერთლურჯი	
ГОСТ 801	ბურთულსაკისრების ფოლადები	
	ШХ6	მწვანე ზოლი + თეთრი ზოლი

	ШХ9	მწვანე ზოლი+წითელი ზოლი
	ШХ15СГ	მწვანე ზოლი+ლურჯი ზოლი
ГОСТ 5952	სწრაფმტრელი ფოლადები	
	P9	ყვითელი (პრიალა)
	P9M	ყვითელი (პრიალა)+თეთრი
	P18	ყვითელი (პრიალა) + წითელი
	P18M	ყვითელი (პრიალა) + მწვანე
ГОСТ 5949	უჰანგი და მჟავამდებე ფოლადები	
	ქრომოქანი	ალუმინისფერი + შავი
	ქრომტიტანიანი	ალუმინისფერი + ყვითელი
	ქრომნიკელიანი	ალუმინისფერი + წითელი
	ქრომნიკელიანტიტანიანი	ალუმინისფერი + ლურჯი
	ქრომნიკელსილიციუმიანი	ალუმინისფერი + მწვანე
	ქრომმანგანუმიანი	ალუმინისფერი + ყავისფერი
	ქრომნიკელნიობიანი	ალუმინისფერი + თეთრი
	ქრომნიკელნიობიანი	ალუმინისფერი + ოსფერი

6. ბამოცდები ფოლადის მიმანიკური

თვისებების მასალებთან

6.1 გაჭიმვაზე გამოცდა

გაჭიმვაზე გამოცდა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს შემდეგი მექანიკური თვისებები და სიდიდენი:

ა) სიგრძივი დრეკადობის მოდული E , კგ/მმ² (იუნგის მოდული). იგი ტოლია ნორმალური ძაბვის შეფარდებისა ამ ძაბვით გამოწვეული შეფარდებითი წაგრძელებისადმი სწორი ღეროს მარტივი გაჭიმვის შემთხვევაში (ან შეკუმშვის შემთხვევაში) ჰუკის კანონის მოქმედების ფარგლებში. ე.ი. იმ პირობებში, როდესაც დეფორმაცია ძაბვის პროპორციულია:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon};$$

სიგრძივი დრეკადობის მოდული E ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობის უნარს გაჭიმვისადმი. მასალების თვისებას გარეშე ფიზიკური ძალების მოქმედების შედეგად შეიცვალონ ფორმა და მოცულობა (მყარი სხეულები) ან მხოლოდ მოცულობა (თხევადი და აირიანი სხეულები) და ამ ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ კვლავ აღადგინონ პირველადი მდგომარეობა, დრეკადობა ეწოდება. ასეთი თვისების მქონე სხეულებს უწოდებენ დრეკად

სხეულებს, ხოლო დეფორმაციას, რომელიც გარეშე ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ქრება დრეკად დეფორმაციას. დრეკადი სხეულების მაგალითს წარმოადგენენ რეზინი, ფოლადი და სხვა. რიგითი და მცირედდეფორმებული ფოლადების დრეკადობის მოდული $E = 2,0 \cdot 2,21 \cdot 10^4$ კგ/მმ²

ბ) პუასონის კოეფიციენტი ν ან γ განივი ზრის შევიწროების სიგრძივი წაგრძელებისადმი შეფარდების აბსოლუტური სიდიდე სწორი ღეროს მარტივი გაჭიმვის შემთხვევაში, პუასონის მოქმედების ზღერებში. პუასონის კოეფიციენტი ახასიათებს სხეულების დრეკადობის თვისებას.

გ) დრეკადობის ზღვარი, $\sigma_{\text{ღ}}$, კგ/მმ².

მყარ სხეულზე მოქმედი გარეშე ძალის გარკვეულ დონემდე გაზრდის შემთხვევაში შეიმჩნევა პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც არ ქრება ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ. მაქსიმალურ ძაბვას, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ ადგილი არა აქვს ნარჩენ დეფორმაციას, ეწოდება დრეკადობის ზღვარი. პრაქტიკაში დრეკადობის ზღვარს განსაზღვრავენ როგორც ძაბვას, რომელსაც შეესაბამებოდა განსაზღვრული ტექნიკური პირობებით დაწესებული სიდიდის ნარჩენი დეფორმაციები. მაგალითად: 0.001%; 0.003%; 0.005%; 0.03%.

დ) პროპორციულობის ზღვარი, $\sigma_{\text{პ}}$, კგ/მმ²;

იმ ძაბვას, რომლის მიღწევისას დაირღვევა პროპორციულობა ძაბვასა და დეფორმაციას შორის, პროპორციულობის ზღვარი ეწოდება. ტექნიკური პირობებით დაწესებულია ძაბვასა და დეფორმაციებს შორის პროპორციულობიდან გადახრის გარკვეული მნიშვნელობა. (მაგალითად: დეფორმაციის მრუდისადმი გაელეხულ მხებსა და დაძაბულობების ღერძს შორის არსებული კუთხის ტანგენსის გაზრდა 10, 25 და 50%-ით საწყის მნიშვნელობასთან შედარებით).

ე) დენადობის ზღვარი, $\sigma_{\text{დ}}$, კგ/მმ²

მასალების გაჭიმვაზე გამოცდის დროს დგება მომენტი, რომლის დროსაც შეიმჩნევა პლასტიკური დეფორმაციის ზრდა ძაბვის გადიდების გარეშე. ტექნიკური პირობებით დაწესებულია მინიმალური ძაბვის ზღვარი, რომლის დროსაც ადგილი აქვს პლასტიკური (ნარჩენი) დეფორმაციის განვითარებას დატვირთვის შესამჩნევი გაზრდის გარეშე. ძაბვის მინიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება დენადობის მოედნის ქვედა მდებარეობას ნიმუშის გაჭიმვის დიაგრამაზე. ზემოთნათქვამი შეეხება დენადობის ფიზიკურ ზღვარს. პრაქტიკაში ხშირად საქმე აქვთ დენადობის პირობით ზღვართან. დენადობის პირობით ზღვრად მიიჩნევენ ძაბვას, რომლის დროსაც ნიმუშის ნარჩენი დეფორმაცია აღწევს გარკვეულ სიდიდეს. თუ ცალკეულ შემთხვევაში ამ სიდიდეზე განსაკუთრებულად არაა ნათქვამი, მაშინ მას 0,2%-ის ტოლად იღებენ.

ე) სიმტკიცის ზღვარი, σ_{Σ} , კგ/მმ²;

იმ ძაბვას, რომელიც გამოწვეულია ნიმუშის გაწვევების წინ არსებული მაქსიმალური დატვირთვის (ძალის შეფარდებით) ნიმუშის განივი ჭრილის საწყისი ფარდობისაღმ, სიმტკიცის ზღვარი ეწოდება.

ზ) სიმტკიცის ჰუმმარიტი ზღვარი, S_k , კგ/მმ²

ნიმუშის გაწვევების ადგილზე მინიმალურ განივ ჭრილში არსებული ნორმალურ ძაბვას გაგლეჯის მომენტში, სიმტკიცის ჰუმმარიტი ზღვარი ეწოდება.

ი) ნიმუშის შეშარდებიტი ვაბრძელება, δ , %.

ნიმუშის საანგარიშო სიგრძის ნაბატის (გაწვევების შემდეგ) შეფარდებას მისი საწყისი სიგრძისაღმ გამოსახულს პროცენტებში, უწოდებენ შეფარდებათ წაგრძელებას.

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%,$$

საღაც l_0 - არის ნიმუშის საწყისი სიგრძე;

l_1 - ნიმუშის საბოლოო სიგრძე (გაგლეჯის შემდეგ)

კ) შეფარდებათი შევიწროება, ψ , %

შეფარდებათი შევიწროება არის ნიმუშის განივი კვეთის ფართობის მინიმალური შემცირების შეფარდება განივი ჭრილის საწყისი ფართობისაღმ.

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%$$

საღაც F_0 - არის ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი მის გაგლეჯამდე;

F_1 - ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი (მინიმალური) გაწვევების შემდეგ, მმ²;

6.2. ღუნეაზე გამოცღა

ძერა ღუნეის დროს (ფარდობითი), γ , ერთი ღა იგივე ნიმუშის ერთი განივი კვეთის წრეხაზის მეორე განივი კვეთის წრეხაზის მიმართ შემობრუნების (ძერის) ქორდის სიგრძის შეფარდება ამ კვეთებს შორის არსებული მანძილისაღმ, გამოსახული პროცენტებში, ან განყენებული რიცხვით. ძერა ღუნეის დროს გამოწვეულია მხები ძაბეებით. ძერა გრეხის დროს შეიძლება იყოს დრეკადი ან ნარჩენი. დრეკადი ძერა დატვირთეის მოხსნის შემდეგ ქრება, ხოლო ნარჩენი - პირიქით. დრეკადობის ფარგლებში მხები ძაბეები ღა ძერის მიერ

გამოწვეული დეფორმაცია ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ხაზოვანი დამოკიდებულებით:

$$\tau = G\gamma,$$

სადაც τ არის მხები ძაბვა გრების დროს, კგ/მმ²;

G - დრეკადობის მოდული გრების დროს, კგ/მმ²;

γ - ფარდობითი ძერა გრების დროს, ან ძერის კუთხე;

ბ) დრეკადობის მოდული გრების დროს, G კგ/მმ² - დრეკადობის მუდმივა, რომელიც ჰუკის კანონის ფარგლებში არის მხები ძაბვის შეფარდება ძერის შესაბამის კუთხისადმი:

$$G = \frac{\tau}{\gamma};$$

გ) დრეკადობის ზღვარი გრების დროს, $\tau_{ღრ}$ და τ_{\bullet} კგ/მმ² - მაქსიმალური მხები ძაბვა (გამოთვლილი დრეკადი გრების ფორმულების მიხედვით), რომლის დროსაც მაქსიმალური ნარჩენი წაგრძელება ან ძერა ნიმუშის ზედაპირზე მიღწევს გარკვეულ დასაშვებ მნიშვნელობას (მაგალითად: 0.001; 0.002; 0.003; 0.005; 0.03%);

დ) პროპორციულობის ზღვარი გრების დროს, $\tau_{პრ}$ ან τ_{p} , კგ/მმ² მაქსიმალური მხები ძაბვა (გამოთვლილი დრეკადი გრების ფორმულების მიხედვით), რომლის დროსაც ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის არსებული ხაზობრივი დამოკიდებულებიდან გადახრა აღწევს გარკვეულ მნიშვნელობას. ტექნიკური პირობებით დადგენილი ეს მნიშვნელობა გაცილებით მეტია იმ სიდიდესთან შედარებით, რომელიც დაწესებულია დრეკადობის ზღვრის განსაზღვრის დროს. (მაგალითად: დეფორმაციის მრუდისადმი გაეღებულ მხებსა და დეფორმაციის ლერქს შორის არსებული კუთხის ტანგენსის შემცირება 10, 25, 50%-ით მის საწყის მნიშვნელობასთან შედარებით).

ე) დენადობის ზღვარი გრების დროს (პირობითი) τ_{\bullet} , კგ/მმ² - მხები ძაბვა, რომლის დროსაც წაგრძელების ან ძერის ნარჩენი დეფორმაცია აღწევს გარკვეულ სიდიდეს. ტექნიკური პირობებით დაწესებული ეს სიდიდე შეიძლება იყოს 0,2%; 0,3% ან სხვა ამავე რიგის მნიშვნელობისა.

ვ) სიმტკიცის პირობითი ზღვარი გრების დროს τ_{\bullet} , კგ/მმ² - მაქსიმალური მხები ძაბვა, რომელიც შეესაბამება მაქსიმალურ მგრებაზე, ნიმუშის დარღვევის წინ არსებულ მომენტს და გამოითვლება დრეკადი გრების ფორმულის მიხედვით:

$$r = \frac{M_{გაბ}}{Wp}, \text{ სადაც}$$

$M_{გაბ}$ - არის მომენტი;

Wp - ნიშნის ჭრილის ფართობის წინაღობის პოლარული მომენტი;

ზ) სიმტკიცის ჭეშმარიტი ზღვარი გრეხის დროს, $\epsilon_{კ/მმ^2}$ - მაქსიმალური მხები ძაბვა, რომელიც გამოითვლება გრეხის ფორმულის მიხედვით (პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებით) და შეესაბამება მაქსიმალურ მგრეხავ, ნიშნის დარღვევის წინ არსებულ მომენტს.

ი) ნიშნის დაგრეხის შეფარდებითი კუთხე ნიშნის ორი განივი კვეთის შემობურნების კუთხეთა სხვაობის შეფარდება ამ კვეთებს შორის არსებული მანძილისადმი ან შეფარდების ზღვარი (ნიშნის ჭრილის ფართობის მუდმივობის შემთხვევაში).

6.3 გამძლეობაზე (დაღლილობაზე) გამოცდა

ა) დაღლილობა არის მასალებში (ფოლადები და სხვ) ბზარების თანდათანობითი წარმოშობისა და განვითარების პროცესი მათზე მრავალჯერადი განმეორებითი ნიშანცვალებადი ძალოვანი მოქმედების შედეგად. დაღლილობის შედეგად წარმოშობილი ბზარები იწვევენ მასალების რღვევას. გამომძლეობა არის მასალების ან ნაკეთობათა თვისება წინააღმდეგობა გაუწიონ დაღლილობას.

ბ) ცვალებად ძაბვათა მდგრადი რეჟიმი ცვალებადი ძაბვები მუდმივი ამპლიტუდით, სიხშირით და დროისგან ძაბვის დამოკიდებულების ფორმით.

გ) ძაბვათა ციკლი - ცვალებად ძაბვათა თანმიმდევრობით მნიშვნელობათა ერთობლიობა მათი ცვლის პროცესის ერთ პერიოდში.

გამჭიმავ ძაბვებს დადებითად თელიან, ხოლო შემკუმშავ ძაბვებს უარყოფითად. მხები ძაბვების დროს დადებით მიმართულებას ირჩევენ პირობითად.

ციკლი ხასიათდება ნორმალური და მხები ძაბვების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობებით $\sigma_{max}, \sigma_{min}$, r_{max} და r_{min} და პერიოდით T , ერთი ციკლის ხანგრძლივობით.

დ) ციკლის მაქსიმალური ძაბვა, მიღებული ალგებრული შეკრებით:

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a; \quad r_{max} = r_m + r_a;$$

სადაც σ_m არის ციკლის საშუალო ძაბვა;

σ_a - ციკლის ძაბვის ამპლიტუდა;

ე) ციკლის მინიმალური ძაბვა σ_{\min} და r_{\min} არის მიღებული ალგებრული წესით, უდრის ციკლის საშუალო ძაბვასა და ამპლიტუდის ალგებრულ სხვაობას:

$$\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a; \quad r_{\min} = r_m - r_a;$$

ე) ციკლის საშუალო ძაბვა - ძაბვების ციკლის სტატიკური შემაღგენელი, უდრის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვების ალგებრულ ჯამს, გაყოფილს 2-ზე:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}; \quad r_m = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2};$$

ზ) ციკლის ძაბვების ამპლიტუდა ძაბვათა ციკლის ცვალებადი შემაღგენელის მაქსიმალური (დადებითი) მნიშვნელობა უდრის ციკლის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვათა ალგებრულ ნახევარჯამს:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad r_a = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2};$$

ი) ძაბვათა სიმეტრული ციკლი არის ციკლი, რომლის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები ერთმანეთის ტოლი სიდიდეებია, მაგრამ საწინააღმდეგო ნიშნით:

$$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min} \quad r_{\max} = -r_{\min}$$

კ) ძაბვათა არასიმეტრული ციკლი არის ციკლი, რომლის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები განსხვავდებიან სიდიდით.

ლ) ძაბვათა ნიშანმუდმივა ციკლი არის ძაბვების არასიმეტრული ციკლი ერთნაირი ნიშნის, მაგრამ სხვადასხვა სიდიდის მქონე მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვებით.

მ) ძაბვათა ნიშანცვლებად ციკლს უწოდებენ ციკლს, რომლის ძაბვები იცვლებიან როგორც სიდიდის ნიშნის მიხედვით.

ნ) ძაბვათა ნულოვანი ციკლის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები ნულის ტოლია ($\sigma_{\max} = 0$, $\sigma_{\min} = 0$). ორივე შემთხვევაში საშუალო ძაბვა და ამპლიტუდა ხასიათდებიან ერთნაირი სიდიდით.

ო) ციკლის არასიმეტრულობის კოეფიციენტი ახასიათებს ძაბვების ციკლის არასიმეტრულობის ხარისხს და უდრის ციკლის მინიმალური ძაბვის მაქსიმალური ძაბვისადმი შეფარდებას (ალგებრული ნიშნის გათვალისწინებით).

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

პ) გამძლეობის ზღვარი სიმეტრული ციკლის დროს არის მასალის მაქსიმალური ძაბვა, რომლის მოქმედებით ნიმუში არ არღვევა ნებისმიერი რაოდენობის გამეორებითი ციკლის შემდეგ. ძაბვათა ციკლების რაოდენობა აღინიშნება N რიცხვით, რომელიც განისაზღვრება ტექნიკური პირობებით (მაგალითად: N ტოლია $10^6, 10^7, 10^8$).

ჟ) ზღვრული გამძლეობის ზღვარი არის ციკლის მაქსიმალური ძაბვა, რომელიც შეუძლია აიტანოს მასალამ ციკლის მოცემული რიცხვის დროს ($N_{\text{ზღ}} < N$);

გამძლეობის ზღვარს გამოსახავენ ნომინალური ძაბვებით σR და τR სადაც R არის არასიმეტრულობის კოეფიციენტი.

ნომინალური ძაბვა გამოითვლება მასალათა გამძლეობის ფორმულების მიხედვით ძაბვების კონცენტრაციის და გადანაწილების გათვალისწინების გარეშე.

$$\text{გაღუნვაზე: } \sigma_n = \frac{M_{\text{ღუნვ}}}{W},$$

$$\text{გაჭიმვაზე და შეკუმშვაზე: } \sigma_n = \frac{P}{F},$$

$$\text{გრეხაზე: } \tau_n = \frac{M_{\text{გრეხ}}}{Wp},$$

სადაც $M_{\text{ღუნვ}}$ არის ნიმუშის საანგარიშო ჭრილში არსებული გამღუნავი მომენტი, კგმმ;

W - ნიმუშის საანგარიშო ჭრილის წინაღობის ღერძული მომენტი, მმ³;

P - ნიმუშის ღერძზე მოქმედი ძალა, კგძ;

F - ნიმუშის საანგარიშო ჭრილის ფართობი, მმ²;

$M_{\text{გრეხ}}$ - ნიმუშის საანგარიშო ჭრილის არსებული გრეხის მომენტი, კგძმმ;

Wp - ნიმუშის საანგარიშო ჭრილის პოლარული მომენტი, მმ³;

ციკლის საშუალო მუდმივი ძაბვის დროს ნიმუშის გამოცდისას გამძლეობის ზღვარს განსაზღვრავენ როგორც ციკლის ძაბვათა ამპლიტუდის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, როდესაც არ შეიმჩნევა ნიმუშის დადლილობითი დარღვევა ციკლების ნებისმიერი დიდი რაოდენობის შემდეგ.

6.4 ცოცვადობაზე გამოცდა

ცოცვადობაზე გამოცდა მდგომარეობს იმაში, რომ გამოსაცდელი ნიმუში დიდი ხნის განმავლობაში განიცდის მუდმივი გამჭიმავი ძალის მოქმედებას

უცვლელი ტემპერატურის პირობებში. ცოცვადობაზე გამოცდის დროს წარმოებს ნიმუშის პლასტიკური დეფორმაციის ზუსტი ფიქსირება დროის განმავლობაში.

ა) ცოცვადობა არის მასალის პლასტიკური დეფორმაციის თანდათანობითი, დაბალი სიჩქარით ზრდა ისეთი ძალების მოქმედების შედეგად, რომელიც უფრო ნაკლებნი არიან პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევე ძალებზე გამოცდის ჩვეულებრივი ხანგრძლივობის დროს.

ბ) ცოცვადობის ზრდა, $\sigma_{\text{ც}}$, $\tau_{\text{ც}}$, კგ/კმ² არის მაქსიმალური ძაბვა, რომლის დროსაც ცოცვადობის სიჩქარე ან დეფორმაცია გარკვეული დროის განმავლობაში არ აღემატებიან ტექნიკური პირობებით დადგენილ სიდიდეს.

დეფორმაციის სიდიდის მიხედვით ცოცვადობის ზღვარს აღნიშნავენ σ ასოთი სამი, ორი ქვედა და ერთი ზედა ინდექსით. პირველი ქვედა ინდექსი აღნიშნავს მოცემულ წაგრძელებას %-ში, მეორე ქვედა ინდექსი გამოცდის ხანგრძლივობას საათებში, ხოლო ზედა ინდექსი - გამოცდის ტემპერატურას °C-ში, მაგალითად: $\sigma^{700}_{0.2/100}$ ამ შემთხვევაში ცოცვადობის ზღვარი განსაზღვრულია 0.2% დეფორმაციის დაშვებით, გამოცდის 100 საათის ხანგრძლივობით, 700°C ტემპერატურის დროს.

ცოცვადობის განსაზღვრისას სიჩქარის მიხედვით ცოცვადობის ზღვარს აღნიშნავენ σ ასოთი ერთი ქვედა და ერთი ზედა ინდექსით. ამასთან ქვედა ინდექსი აღნიშნავს ცოცვადობის მოცემულ სიჩქარეს %/სთ განზომილებით, ხოლო ზედა ინდექსი - გამოცდის ტემპერატურას °C-ში. მაგალითად:

$\sigma^{600}_{0.10/10^5}$ ამ შემთხვევაში ცოცვადობის ზღვარი განსაზღვრულია 1.10⁻⁵ %/სთ. ცოცვადობის სიჩქარისა და 600°C ტემპერატურის პირობებში.

გ) ცოცვადობის სიჩქარე, ვ%/სთ არის პლასტიკური დეფორმაციის სიჩქარე ცოცვადობის დროს მოცემული ძაბვის პირობებში დროის მოცემულ მომენტში.

დ) ცოცვადობის დეფორმაცია არის ნიმუშის პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდე ცოცვადობის პროცესში დროის მოცემულ მონაკვეთში.

6.1 დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა

ა) დარტყმითი სიბლანტე, a_H კგ/სმ² არის მუშაობა, რომელიც იხარჯება მოცემული ტიპის ნიმუშის დარტყმითი ტეხილის წარმოქმნაზე, შეფარდებული ამ ნიმუშის განივი კვეთის მუშა ფართობისადმი.

$$a_H = \frac{A_H}{F},$$

სადაც A_H არის ნიმუშის დარღვევაზე დახარჯული მუშაობა, კგმ-ში ან ჯოულებში;

F - ნიმუშის განიკეპეთის მუშა ფართობი, სმ² (გამოცდამდე).

ბ) დარღვევის მუშაობა დარტყმითი გაღუნვის დროს არის მოცმული ტიპის ნიმუშის დარტყმითი ტეხილის წარმოქმნაზე დახარჯული მუშაობა. ნიმუშის დარღვევის მუშაობას დარტყმითი გაღუნვის დროს განსაზღვრავენ ქანქარა ურნალზე მოთავსებულ სკალაზე, რომელიც დაგრაფუსებულია კგმ-ში, ჯოულებში, ან ქანქარის ზემოთ გადაადგილების, აწევის კუთხის მიხედვით ქვემოთ მოყვანილი ფორმულით:

$$A_H = Pl(\cos\beta - \cos\alpha),$$

სადაც P არის ქანქარას წონა, კგ;

l - ქანქარის სიგრძე (მანძილი მისი ღერძიდან სიმძიმის ცენტრამდე), მ;

α და β ქანქარის ზემოთ აწევის კუთხეები ნიმუშის გატეხამდე და გატეხის შემდეგ შესაბამისად, გრადუსები;

გ) პლასტიკური რღვევა არის რღვევა დაკავშირებული მასალის პლასტიკურ დეფორმაციასთან, რაც წინ უსწრებს ნიმუშის გატეხას.

დ) მყიფე რღვევა არის რღვევა, რომელიც დაკავშირებული არაა ნიმუშის შესამჩნევ პლასტიკურ დეფორმაციასთან.

6.6 სისალეზე გამოცდა

ა) სისალე, H არის მასალების თვისება წინააღმდეგობა გაუწიონ პლასტიკურ დეფორმაციას, ან მყიფე დარღვევას მათზე სხვა რაიმე მასალის ადგილობრივი კონტაქტური მოქმედებისას ზედაპირულ ფენაში (გამოცდის განსაზღვრულ პირობებში).

ბ) სისალე ბრინელის მიხედვით, HB, კგ/მმ²

ლითონების სისალე ბრინელის მიხედვით განისაზღვრება შემდეგნაირად: გარკვეული P დატვირთვის საშუალებით გამოსაცდელ ნაკეთობაში ჩააწნევენ D დიამეტრის მქონე ფოლადის ბურთულას დატვირთვის მოქმედებას ადგილი აქვს განსაზღვრული დროის განმავლობაში და მისი მოხსნის შემდეგ ზომავენ ნიმუშის ზედაპირზე დარჩენილი ანაბეჭდის დიამეტერს. სისალის რიცხვი

ბრინელის მიხედვით (HB) განისაზღვრება P (კგ) დატვირთვის შეფარდებით ანაბეჭდის სფერული ზედაპირის ფართობისადმი F (მმ²) - $\frac{P}{F}$.

ანაბეჭდის სფერული ზედაპირის ფართობი $F = \pi D h$, სადაც

D არის ჩასაწნევი ბურთულას დიამეტრი, მმ;

h - ანაბეჭდის სიღრმე, მმ;

ვინაიდან ანაბეჭდის სიღრმის გაზომვა დაკავშირებულია სიძნელესთან, ამიტომ მას გამოსახავენ ჩასაწნევი ბურთულისა და ანაბეჭდის დიამეტრების დახმარებით.

$$h = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \text{ მმ;}$$

სადაც d არის ანაბეჭდის დიამეტრი, მმ;

ანაბეჭდის სფერული ზედაპირის ფართობი განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \text{ მმ}^2;$$

ხოლო სისალის რიცხვი ბრინელის მიხედვით - ფორმულით:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ კგ/მმ}^2$$

სისალის გაზომვის შემთხვევაში 10მმ-იან ბურთულით, $P = 3000$ კგ დატვირთვით, $t = 10$ წმ დაყოვნებით, სისალის რიცხვს აღნიშნავენ HB ნიშნით და მის გვერდით (მარჯვნივ) მიწერილი რიცხვით. მაგალითად:

$$HB = 200$$

სისალის გაზომვისას სხვა პირობებში აღინიშნება HB -ს მარჯვნივ უწერენ ინდექსებს, რომლებიც გვიჩვენებენ გაზომვის პირობებს შემდეგი თანმიმდევრობით: ბურთულას დიამეტრი, დატვირთვის სიდიდე და დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა წამებში. მაგალითად: „ $HB/5/250/30-200$ “ ნიშნავს სისალის რიცხვს ბრინელის მიხედვით 200, რომელიც განსაზღვრულია 5მმ-იანი დიამეტრის მქონე ბურთულით, 250კგ დატვირთვით, რომელიც მოქმედებდა 30 წამის განმავლობაში.

სისალის გაზომვის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს ნიმუშის სისქე, ბურთულას დიამეტრისა და დატვირთვის ურთიერთშეფარდება. გამოსაცდელი ნიმუშის სისქე 10-ჯერ უნდა აღემატებოდეს ანაბეჭდის სიღრმეს, ხოლო

დატვირთვის სიდიდე ბურთულას დიამეტრის კვადრატის პროპორციული უნდა იყოს. ბურთულას დიამეტრის სიდიდისა, დატვირთვის მნიშვნელობისა, მისი მოქმედების ხანგრძლივობისა და გამოსაცდელი ნიმუშის მინიმალური სისქის შერჩევისას ხელმძღვანელობენ შემდეგი ცხრილით:

ცხრილი 27

მასალის დასახელება	სისალის რიცხვის ინტერვალი (ბრინჯლის მიხედვით)	გამოსაცდელი ნიმუშის მინიმალური სისქე, მმ.	დატვირთვის, P და ბურთულას დიამეტრის, D , შორის თანაფარდობა	ბურთულას დიამეტრი, D , მმ	დატვირთვა, P , კგ.	დაყოვნება დატვირთვის ქვეშ, წა.
1	2	3	4	5	6	7
შავი ლითონები	140-450	6-დან 3-მდე 4-დან 2-მდე 2-ზე ნაკლები	} $P = 30 D^2$	10.0 5.0 2.5	3000 450 187.5	{ 10
შავი ლითონები	<140	6-ზე მეტი 6-დან 3-მდე 3-ზე ნაკლები	} $P = 10 D^2$	10.0 5.0 2.5	1000 250 62.5	10
ფერადი ლითონები	>130	6-დან 3-მდე 4-დან 2-მდე 2-ზე ნაკლები	} $P = 30 D^2$	10.0 5.0 2.5	3000 750 187.5	30
ფერადი ლითონები	35-130	9-დან 3-მდე 6-დან 3-მდე 3-ზე ნაკლები	} $P = 10 D^2$	10.0 5.0 2.5	1000 250 62.5	30
ფერადი ლითონები	8-35	6-ზე მეტი 6-დან 3-მდე 3-ზე ნაკლები	} $P = 2,5 D^2$	10.0 5.0 2.5	250 62.5 15.6	60

გ) სისალე როკეელის მიხედვით, *HRB, HRC, HRA*.

ლითონების სისალე როკეელის მიხედვით განისაზღვრება შემდეგნაირად: სტანდარტული ტიპის ბუნიკი (ალმასის კონუსი ან ფოლადის ბურთულა) ორი თანმიმდევრობით მოქმედი წინასწარი, P_0 და საერთო, P , დატვირთვებით ჩაიწნევა გამოსაცდელ ნიმუშში. ამასთან საერთო P დატვირთვა ტოლია წინასწარი P_0 და ძირითადი P_1 დატვირთვების ჯამისა.

სისალე როკეელის მიხედვით იზომება პირობით ერთეულებში. სისალის ერთეულად მიღებულია სიდიდე, რომელიც შეესაბამება ბუნიკის ღერძულ გადაადგილებას 0.002 მმ-ით.

სისალის რიცხვი როკეელის მიხედვით მიიღება მუდმივი სიდიდისაგან წინასწარი, 10კგ ტოლი და საერთო დატვირთვებით გამოწვეული ბუნიკის ჩაწნევის სიღრმეთა სხვაობის გამოკლებით.

ზემოაღნიშნული მუდმივი სიდიდე ფოლადის ბურთულის გამოყენებისას 0.26-ის ტოლია, ხოლო ალმასის ბუნიკის გამოყენების შემთხვევაში - 0.2-სა.

სისალის რიცხვი როკეელის მიხედვით წარმოადგენს განყენებულ რიცხვს და აღინიშნება *HR* სიმბოლოთი სკალის ამღნიშნელი ინდექსის დამატებით,

მარჯვენე მიწერით. სისალის განსაზღვრა წარმოებს სამი A, B და C სკალების მიხედვით. სისალის დადგენა A და C სკალების მიხედვით წარმოებს ალმასის კონუსური ბუნიკის ჩაწნევით გამოსაცდელ ნიმუშში, ორი თანმიმდევრობით მოქმედი დატვირთვებით:

A სკალის მიხედვით გაზომვის შემთხვევაში: $P_0=10$ კგ

$P_1=50$ კგ

$P=60$ კგ

C სკალის მიხედვით გაზომვის შემთხვევაში: $P_0=10$ კგ

$P_1=140$ კგ

$P=150$ კგ

სისალის გაზომვა B სკალის მიხედვით წარმოებს ფოლადის ბურთულის ჩაწნევით გამოსაცდელ ნიმუშში ორი თანმიმდევრობით მოქმედი დატვირთვით:

$P_0=10$ კგ; $P_1=90$ კგ; $P=100$ კგ;

სისალის რიცხვი როკეელის მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით:

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C},$$

სადაც h_0 არის გამოსაცდელ ნიმუშში ბუნიკის ჩაწნევის სიღრმე, წინასწარი დატვირთვის, P_0 -ის მოქმედებით, h - გამოსაცდელ ნიმუშში ბუნიკის ჩაწნევის სიღრმე საერთო დატვირთვის მოქმედების შედეგად; ამასთან ჩაწნევის სიღრმე გაზომილია ძირითადი დატვირთვის მოხსნის შემდეგ (წინასწარ, P_0 დატვირთვის დატოვებით) K - მუდმივი სიდიდე, რომელიც ტოლია: ფოლადის ბურთულესათვის 0.26-სა, ხოლო ალმასის ბუნიკისათვის - 0.2-სა.

C ბურთულას ან კონუსის ნიმუშში ჩაწნევის სიღრმე 0.002მმ-ით, რაც შეესაბამება ინდიკატორის „ციფერბლატის“ ერთ დანაყოფს.

არსებობს როკეელის მიხედვით სისალის რიცხვის განმსაზღვრელი სხვა დამოკიდებულებებიც:

A და C სკალების მიხედვით სისალეს ზომავენ შემდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$HR = 100 - e;$$

B სკალის მიხედვით - $HR = 130 - e,$

სადაც $e = \frac{h - h_0}{0.002}$, სადაც h და h_0 იგივე სიდიდეებია, რაც ზემოთმოყვანილ

სისალის რიცხვის განმსაზღვრელ ფორმულაში.

დ) სისალის გაზომვა აღმასის პირამიდით (ვიკერსის მიხედვით).

ლითონების სისალის გაზომვისას ვიკერსის მიხედვით ოთხწახნაგიანი აღმასის პირამიდის ბუნიკს ჩააწნევენ გამოსაცდელ ნიმუშში P დატვირთვით, რომელიც მოქმედებს გარკვეული დროის განმავლობაში. დატვირთვის მოხსნის შემდეგ გამოსაცდელი ნიმუშის ზედაპირზე რჩება პირამიდული ანაბეჭდი d დიაგონალით. ანაბეჭდის წვეროსთან მდებარე კუთხეებს პირობითად მიიჩნევენ პირამიდალური ბუნიკის წვეროსთან არსებული კუთხეების ტოლად. (136⁰)

სისალის რიცხვი ვიკერსის მიხედვით აღინიშნება HV სიმბოლოთი და განისაზღვრება P (კგ) დატვირთვის შეფარდებით პირამიდალური ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობისადმი. ამასთან, პირამიდალური ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობს გამოითვლიან დიაგონალის მიხედვით:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2},$$

სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

α პირამიდის წვეროსთან ურთიერთსაწინააღმდეგო წახნაგებს შორის არსებული კუთხე, რომელიც ტოლია 136⁰;

d - ანაბეჭდის ორივე დიაგონალის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, მმ (დატვირთვის მოხსნის შემდეგ);

ე) სისალის განსაზღვრა გაფხაჭნით (გაკაწვრით)

მოსის მიხედვით, სისალე წარმოადგენს მასალის ზედაპირული ნაწილაკების წინააღმდეგობას გაფხაჭნისადმი. მოსის სისალის სკალას აღვსებენ იყენებენ მინერალოგიაში.

ფხაჭნის მეთოდით ლითონების და შენადნობების სისალის გაზომვის ინსტრუმენტად ხმარობენ კონუსისმაგვარ აღმასს, რომლის წვეროსთან მდებარე კუთხე ტოლია 90° ან 120°. ნიმუშის გულდასმით გახეხილ ან გაპირალბულ ზედაპირზე დატვირთვის ქვეშ მყოფი ზემოაღნიშნული აღმასით აკეთებენ ნაფხაჭნს. სისალის სიდიდეზე მსჯელობენ ნაფხაჭნის სიგანის მიხედვით, რომელიც გამოწვეულია გარკვეული სიდიდის დატვირთვით გრამებში. მაგალითად

განსაზღვრავენ სიდიდეს $\frac{1}{n}$ 20 გ. დატვირთვის ქვეშ, სადაც n არის ნაფხაჭნის სიგანე მიკრონებში, გაზომილი 0.001 მმ სიზუსტით.

გაფხაჭნით სისალის გაზომვას დიდი მნიშვნელობა აქვს ლითონების ცვეთმედუგობის განსაზღვრისათვის.

ე) სისალის გაზომვა დარტყმით

დარტყმით სისალის განსაზღვრისას ფოლადის მაღალი სისალის მქონე ბურთულას ჩააწნევენ გამოსაცდელ ნიმუშში უცბად გაშეებული ზამბარის ან ჩაქურის საშუალებით. პირველ შემთხვევაში დარტყმის ენერგია მუდმივია, ხოლო მეორე შემთხვევაში - ცვალებადი.

დარტყმითი მეთოდით სისალის გაზომვის ხელსაწყოებიდან გავრცელებულია ზამბარიანი ხელსაწყოები და პოლდისა და ბრინელის ჩაქურები. ბურთულა დარტყმის შედეგად ანაბუჭდს ტოვებს როგორც გამოსაცდელ ნიმუშზე, ისე განსაზღვრული სისალის ეტალონურ ძელაკზე. გამოსაცდელი ნიმუშის სისალის შესახებ მსჯელობენ ორივე ანაბუჭდის დიამეტრების თანაფარდობის მიხედვით.

დარტყმითი მეთოდით მომუშავე ხელსაწყოები გადატანითი ტიპისაა, ამიტომ მათ იყენებენ მსხვილი დეტალების ან ნაკეთობათა სისალის გასაზომად. დარტყმითი მეთოდით მომუშავე ხელსაწყოები ისე უნდა იყენენ დაკალიბრებული, რომ მათი ჩვენების მიხედვით ანაბუჭდის დიამეტრის გადაყვანა შეიძლებოდეს სისალის რიცხვში ბრინელის მიხედვით. დარტყმითი მეთოდით მომუშავე ხელსაწყოები გამოირჩევიან ნაკლები სიზუსტით სტატიკური გამოცდების ხელსაწყოებთან შედარებით, ამიტომ მათ იყენებენ ნაკლებ საპასუხისმგებლო გაზომვებისთვის.

ზ) სისალის განსაზღვრა უკუსხლეტის სიმაღლის მიხედვით.

მცირე ზომის დამრგვალებული ალმასის ბუნიკით აღჭურვილი სარტყმელა გარკვეული სიმაღლიდან ეცემა გამოსაცდელი ნიმუშის ზედაპირზე. ბუნიკის უკუსხლეტის სიმაღლის მიხედვით მსჯელობენ სისალის სიდიდეზე პირობით ერთეულებში. უკუსხლეტის სიმაღლე დამოკიდებულია მასალის დრეკადობისგან. ამიტომ, ამ მეთოდით სხვადასხვა მასალების სისალის გაზომვის შედეგად მიღებული მონაცემები დაემთხვევა სხვა მეთოდით განსაზღვრულ სისალის რიცხვებს მხოლოდ მაშინ, თუ გამოსაცდელი მასალების დრეკადობის მოდული პრაქტიკულად ერთნაირია. ამ მეთოდით სისალის გაზომვის ყველაზე გავრცელებული ხელსაწყოა შორის სკლერესკოპი, რომლის უკანასკნელი ნიმუშები აღჭურვილია ავტომატური მაჩვენებლებით.

სისალის რიცხვების ერთი სკალიდან მეორე სკალაში გადასაყვანი ცხრილი

ცხრილი 28

სისალე ვიკერსის მისუდეთ, HV	სისალე ბრინელის მიხედვით, HB			სისალე როკეელის მიხედვით			სისალე შორის მიხედვით, Hsh
	ანაბეჭდის დიამეტრი, მმ	ფოლადის ბურთულით გამოცდისას	ვოლფრამის კარბიდის ბურთულით გამოცდისას	ს კ ა ლ ე ბ ი			
				C	A	B	
1	2	3	4	5	6	7	8
1124	2.20	780	872	72	84	-	106
1116	2.25	745	840	70	83	-	102
1022	2.30	712	812	68	82	-	98
941	2.35	682	794	66	81	-	94
9	2.40	653	760	64	80	-	91
804	2.45	627	724	62	79	-	87
746	2.50	601	682	60	78	-	84
694	2.55	578	646	58	78	-	81
650	2.66	555	614	56	77	-	78
606	2.65	534	578	54	76	-	76
587	2.70	514	555	52	75	-	73
551	2.75	495	525	50	74	-	71
534	2.80	477	514	49	74	-	68
502	2.85	461	477	48	73	-	66
574	2.90	444	460	46	73	-	64
460	2.95	429	432	45	72	-	62
435	3.00	415	418	43	72	-	61
423	3.05	401	401	42	71	-	59
401	3.10	388	388	41	71	-	57
390	3.15	375	375	40	70	-	56
380	3.20	363	364	39	70	-	54
361	3.25	352	352	38	69	-	53
344	3.30	341	341	36	68	-	51
334	3.55	331	330	35	67	-	50
320	3.40	321	321	33	67	-	49
311	3.45	311	311	32	66	-	47
303	3.50	302	302	31	66	-	46

392	3.55	293	-	30	65	-	45
285	3.60	285	-	29	65	-	44
278	3.65	277	-	28	64	-	43
270	3.70	269	-	27	64	-	42
261	3.75	262	-	26	63	-	41
255	3.80	255	-	25	63	-	40
249	3.85	248	-	24	62	-	39
240	3.90	241	-	23	62	102	38
235	3.95	235	-	21	61	101	37
228	4.00	229	-	20	61	100	36
222	4.05	223	-	19	60	99	35
217	4.10	217	-	17	60	98	34
213	4.15	212	-	15	59	97	34
208	4.20	207	-	14	59	95	33
201	4.25	201	-	13	58	94	32
197	4.30	197	-	12	58	93	31
192	4.65	192	-	11	57	92	30
186	4.40	187	-	9	57	91	30
183	4.45	183	-	8	56	90	29
178	4.50	179	-	7	56	90	29
174	4.55	174	-	6	55	89	28
171	4.60	170	-	4	55	88	28
166	4.65	167	-	3	54	87	27
162	4.70	163	-	2	53	86	27
159	4.75	159	-	1	53	85	26
155	4.80	156	-	0	52	84	26
152	4.85	152	-	-	-	83	25
149	4.90	149	-	-	-	82	24
148	4.95	146	-	-	-	81	24
143	5.00	143	-	-	-	80	24
140	5.05	140	-	-	-	79	24
138	5.10	137	-	-	-	78	23
134	5.15	134	-	-	-	77	23
23							
131	5.20	131	-	-	-	76	22
129	5.25	128	-	-	-	75	222

127	5.30	126	-	-	-	74	22
123	5.35	123	-	-	-	73	21
121	5.40	121	-	-	-	72	21
118	5.45	118	-	-	-	71	21
116	5.50	116	-	-	-	70	20
115	5.55	114	-	-	-	68	20
113	5.60	111	-	-	-	67	20
110	5.65	110	-	-	-	66	20
109	5.70	109	-	-	-	65	19
108	5.75	107	-	-	-	64	19

7. ელექტრო ფოლადის გამომდნობის ტექნოლოგიის საპლანძმო საპითხეები

7.1 განმჯანგავეების და მალეგირებელი დამატებების წონის გაანგარიშება ნადნობის მსუფელლობისას

განმჯანგავეების და მალეგირებელი დამატებების წონის გაანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$G = \frac{aT}{bc}, \quad \text{სადაც}$$

G - არის განმჯანგავის ან მალეგირებელი ფეროშენადნობის წონა კგ-ში ან ტ-ში;

a - მზა ფოლადში მოცემული ელემენტის შემცველობა % -ში,

T - ღუმელის ტევალობა, კგ-ში ან ტ-ში,

b - მოცემული ელემენტის შემცველობა ფეროშენადნობში, %-ში.

C - მოცემული ელემენტის ათვისების ხვედრი მისი ნამწვის გათვალისწინებით (მაგ. თუ ელემენტის ნამწვი 20%-ია, ათვისების ხვედრი იქნება $1-0,2 = 0,8$ და ა.შ.)

გარდა ამისა, მოცემული ელემენტის მზა ფოლადში შემცველობის დასადგენად გათვალისწინებული უნდა იყოს მისი აბაზანაში შემცველობის პროცენტული რაოდენობა განჯანგავამდე ან ლეგირებამდე. მაგ. მზა ფოლადში მანგანუმის

შემცველობა უნდა იყოს $\frac{0.35 + 0.65}{2} = 0,50\%$,

მზა ფოლადში მანგანუმის ასეთი შემცველობის მიღებისათვის საჭიროა გავეითავდისწინოთ აბაზანაში აღდგენილი მანგანუმის პროცენტული რაოდენობა, რაც 0,12% ტოლია, ე.ი. 0,50% -0,12 =0,38%.

1. მაგ. გამოვითვალოთ ფერომანგანუმის რაოდენობა შემდეგი მონაცემის პირობებში:

- ა. ლითონის რაოდენობა ღუმელში -12 ტ.
- ბ. ლითონის საბოლოო სინჯში მანგანუმის შემცველობა ტოლია 0,12%;
- ც. მანგანუმის საეარაუდო ნამწვი ღუმელში 20%-ია;
- დ. მანგანუმის აბაზანაში შესატანი რაოდენობა %%-ში მოცემულია ზევით და უდრის 0,38%;
- ე. მანგანუმის რაოდენობა ფეროშენადნობში (ფერომანგანუმი) ტოლია 80%-ისა

ამრიგად,
$$G = \frac{0.38 \cdot 12}{80 \cdot 0.8} = \frac{4.56}{64} = 0.07125 \approx 70 \text{ კგ.}$$

2. გამოვითვალოთ 45%-იანი ფეროსილიციუმის რაოდენობა 20 მარკის კონსტრუქციული ფოლადის განუანგეისათვის. მონაცემები ანგარიშისთვის:

- ა. ლითონის რაოდენობა ღუმელში - 12 ტ.
- ბ. სილიციუმის შემცველობის საჭირო ზღვრები მზა ფოლადში 0,17 - 0,37%-ია გოსტის მოთხოვნების მიხედვით
- გ. სილიციუმის ნამწვი ციცხეში 30%-ია, (C = 0,7);
- ე. სილიციუმის შემცველობა ლითონში - აბაზანაში 0,04%-ია,
- ე. ლითონში შესატანი სილიციუმის პროცენტული შემცველობა ტოლია:

$$\frac{0.17 + 0.37}{2} = 0,27\%; \quad 0,27 - 0,04 = 0,23\%;$$

ე. ფეროსილიციუმში სილიციუმის შემცველობა 45%-ია.

ამრიგად
$$G = \frac{0.23 \cdot 12}{45 \cdot 0.7} = \frac{2.76}{31.5} = 0,0876 \approx 90 \text{ კგ.}$$

3. გამოვიანგარიშოთ ფერომოლიბდენის რაოდენობა ფოლადის ლეგირებისათვის მოცემულია:

- ა. ლითომის წონა ღუმელში - 12ტ,
- ც. ღუმელში (ფოლადში) შესატანი მოლიბდენის შემცველობა 0,25%0ია;
- დ. მოლიბდენის შემცველობა ფეროშენადნობში 62%-ია;

ე. ვინაიდან ფეროშოლიბდენიდან შოლიბდენი პრაქტიკულად არ იჟანგება, მისი რაოდენობა ტოლი იქნება

$$G = \frac{0.25 \cdot 12}{62 \cdot 1} = \frac{3}{62} = 0,05\text{ტ} = 50 \text{ კგ.}$$

72 ელექტროინდუქციურ ღუმელში ფოლადის გამოდნობისა და ღუმელგარეშე დამუშავების ძირითადი მოთხოვნილებები და დებულებები

ელექტროფოლადსადნობ ღუმელებში ფოლადის გამოდნობის ამოცანას წარმოადგენს ფოლადის ჯართისა და დამხმარე მასალების (წიდაწარმომქმნელების, განმჟანგავების და მალევირებლების და სხვ.) გამოყენებით თხევადი პროდუქტის ან ნახევრადპროდუქტის მიღება ნორმატიული ხანგრძლივობის დროში ტექნოლოგიური პარამეტრების უზრუნველყოფით.

ინდუქციურ ღუმელებში ფოლადის გამოდნობის საწყისი მასალებია:

ლითონკაზმი – ფოლადის ჯართი გოსტ-2787–86 მიხედვით, გადასამუშავებელი თუჯი გოსტ 805–95-ის მიხედვით და სხ.

განმჟანგავები და მალევირებლები;

წიდაწარმომქმნელი მასალები (კირქვა, კირი, მლღობი შპატი, ბოქსიტი და სხვ.)

ინდუქციური ფოლადსადნობი ღუმელიდან გამოშვებული პროდუქტი არის ან მოცემული მარკის მზა ფოლადი ფუნდში გადასაცემად $1600 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურით ან ნახევარპროდუქტი ღუმელ-ციცხვისთვის გადასაცემად საბოლოო დაყვანისთვის.

ნაღნობის დასაწყისის მიხედვით განარჩევენ პროცესის ორ სახეობას:

1. ვარიანტი (ძირითადი) ლითონკაზმის ჩატვირთვა წარმოებს ე.წ. “ჭაობზე” – წინა ნაღნობისგან ღუმელში დატოვებული თხევადი ლითონის გუბებზე – 800 – 1200 კგ რაოდენობით.
2. ვარიანტი – ნაღნობებს ატარებენ ღუმელების რემონტების შემდეგ.

ტიგელში პირველ რიგში ჩატვირთავენ საშუალო და მძიმე წონის ჯართს 50% რაოდენობით საერთო მასიდან. შემდეგ ჩატვირთავენ მსუბუქწონა ჯართს სწრაფი შედნობის მიზნით.

ლითონკაზმის ერთი ნაჭრის წონამ არ უნდა გადაამეტოს 200კგ-ს.

გადნობის მომენტისთვის სასურველია რომ აბაზანაში ნახშირბადის შემცველობა შეესაბამებოდეს ფოლადის სამარკო კონცენტრაციას.

ლითონიდან ფოსფორის და გოგირდის მოცილების აუცილებლობის შემთხვევაში კირის ხარჯმა შეიძლება შეადგინოს 800 კგ-მდე.

აბაზანის სრული გადნობის მომენტისა და ღუმელიდან გამოშვების წინ აუცილებელია ფოლადის სინჯების აღება სრული ქიმიური ანალიზის ჩასატარებლად.

ლითონის გამოშვებამდე 5 წთ-ით ადრე ღუმელში შეაქეთ ფერომანგანუმის და ან სილიკომანგანუმის გაანგარიშებული რაოდენობა მანგანუმის და სილიციუმის ფოლადში შემცველობის ზღვრების მიღების მიზნით.

ნადნობის გამოშვებამდე ციცხეს მიაწვდიან 15 წუთით ადრე. ციცხვის ამონაგის ტემპერატურა უნდა იყოს არა ნაკლები 900°C ციცხვი უნდა იყოს სუფთა და გულდასმით გაწმენდილი ლითონის ან წიდის ნარჩენებისაგან.

ალუმინის რაოდენობა განუანგვისთვის უნდა შეესაბამებოდეს მზა ფოლადში ნახშირბადის შემცველობას და უნდა შეადგენდეს 0,5-1,5 კგ/ტ. მაგ. СТЗСН მარკის ფოლადისთვის 0,6-0,7 კგ/ტ.

ფეროშენადნობების საერთო რაოდენობამ არ უნდა გადაამეტოს ლითონის მასის 5%-ს. (600კგ-ს.)

ინდუქციურ ელექტროფოლადსადნობ ღუმელში ფოლადის გამოდნობისას ნადნობის პასპორტში შეაქეთ შემდეგი მონაცემები და პარამეტრები:

ნადნობის პერიოდების დაწყება – დამთავრების დრო (1 წთ სიზუსტით);

ღუმელში ჩატვირთული კაზმის სახეობა, მასა დამატებების ჩათვლით;

ფეროშენადნობების და წიდაწარმოქმნელების სახეობა და რაოდენობა;

მოცდენების დრო და მიზეზები;

ლითონის ტემპერატურა პროცესის მსვლელობისას და გამოშვების მომენტისთვის;

ნადნობის ხანგრძლივობა;

ელექტროენერჯის და სხვა ენერგომატარებლების ხარჯი;

ნახშირბადშემცველი მასალების ხარჯი;

ნახშირბადის ექვივალენტური შემცველობის მნიშვნელობა.

ფოლადის ღუმელგარეშე დამუშავების მომენტად ითვლება აზოტით ან სხვა ინერტული აირით თხევადი ლითონის გაქრევის დაწყება.

ციცხვის ღ-ც-ს სახურავის ქვეშ დაყენების შემდეგ ჩართავენ აზოტით ან სხვა აირით გაქრევის ორივე ხაზს. აზოტის ან სხვა აირის ჯამური ხარჯი შეადგენს 40-50 ლ/წთ-ში.

პირველ 4-6 წუთის განმავლობაში აწარმოებენ ლითონის ქიმიური შედგენილობის და ტემპერატურის გასაშუალებას და მის გახურებას ძაბვის საჭირო საფეხურით. საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება აწარმოონ წიდის კორექტირება 100-150 კგ კირის მირთვით და 10-15 კგ მლღობი შპატით ან ბოქსიტით.

კარგად განჯანგულ მაღალი ფუძიანობის წიდას აქვს ნათელი რუხი ან მოყვითალო ფერი, მქრქალი ხაოიანი ზედაპირი, ტეხილში უნდა ჰქონდეს წერილფოროვანი სტრუქტურა და გაციებისას უნდა გადაეიდეს ფხენილოვან მდგომარეობაში.

ღ-ც-ში ფეროშენადნობების მირთვის და გაქრევის დამთავრების შემდეგ იღებენ ლითონის მეორე სინჯს. შემდეგ ლითონის ტემპერატურა მიჰყავთ $1620 \pm 20^{\circ}\text{C}$ -მდე და აუცილებლობის შემთხვევაში აწარმოებენ ლითონში ელემენტების შემცველობის საბოლოო კორექტირებას. მეორე სინჯის შედგენილობის დაზუსტების შემდეგ ციცხეს გადასცემენ ფურმ-ზე.

ნაღნობის პასპორტში შეაქეთ თხევადი ლითონის ციცხე-ღუმელში დამუშავების მონაცემები და ელექტროენერჯის ხარჯი. ლითონის ღუმელ-ციცხეში დამუშავების ბოლოს აღუმინის შემცველობამ უნდა შეადგინოს 0,02 0,03 %. გოგირდის შემცველობა ციცხე-ღუმელში დამუშავების შემდეგ უნდა იყოს არა $>0,020\%$ -სა.

დამუშავებული ფოლადის მიწოდება დაუყოვნებლივ უნდა მოხდეს ფურმ-ზე და მისი ჩამოსხმა უნდა განხორციელდეს სპეციალური ტექნოლოგიური ინსტრუქციის მოთხოვნილებების დაცვით.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს ნახშირბადის შემცველობის ექვივალენტის მნიშვნელობის სტაბილურ უზრუნველყოფას, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_{\text{მმ}} = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Si}{7}$$

და არ უნდა იყოს 0,32-ზე ნაკლები და 0,36%-მეტე.

ნახშირბადის ექვივალენტის აღნიშნულ ზღვრებში შემცველობა გარანტირებას იძლევა შექანიკური თვისებების და შედუღებადობის საჭირო ზღვრებში მისაღებად.

7.3. ელექტროფოლადსადნობი ტექნოლოგიების ოპტიმალური ვარიანტები

ნედლეული მასალები 50ტ და მეტი მოცულობის ელექტროკალური ღუმელებში

1. ჯართის გაბარიტული ზომები

0,5X0,5X0,6 მ, ან

0,5X0,5X 1,2 მ ან

0,75X1,05X1,0 მ

ჯართის ერთი ნაჭერის წონა არ უნდა აღემატებოდეს 1ტ-ს (± 100 კგ) დაშვებით. ჯართი არ უნდა იყოს ძლიერ დაჟანგული, მაღალგოგირდოვანი ან მაღალფოსფორიანი. ჯართის მაგიერ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გუნდა რკინა 85–93% Fe შემცველობით – პირდაპირი აღდგენ-მიღების პროდუქტი, რომლის ხედრი არ უნდა იყოს 20%-ზე მეტი. ჯართში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წიდასაყარიდან მაგნიტური სეპარაციით მიღებული რკინა არა უმეტეს 20% (ლითონური ნაწილის). ჯართის საერთო მოცულობითი წონა უნდა შეადგენდეს 0,8 – 1,0 ტ/მ³-ს. წნეხზე მიღებული პაკეტირებული ჯართის მოცულობითი წონა უნდა იყოს 1 -3 ტ/მ³ ზღვრებში.

ჯართის ლითონურ ნაწილში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შოთისებრი შემოტანილი ან საკუთარი წარმოების თხევადი თუჯი (25–30 % ლითონური ნაწილის)

თუჯი უნდა იყოს მცირე ფოსფორ-გოგირდოვანი არა უმეტეს 0,05% გოგირდისა და 0,07 % P ფოსფორის შემცველობით.

ნებისმიერი წარმომავლობის ჯართი არ უნდა შეიცავდეს დახშულ (ფეთქებად) წნევის ქვეშ მყოფ საგნებს, აგრეთვე მომწამლავი ნივთიერებების ნარჩენებს. ჯართი არ უნდა იყოს დანაგვიანებული.

2. კოქსი (კოქსწვრილა) ან სხ. სახის ნახშირბადშემცველი მასალები უნდა ხასიათდებოდნენ გოგირდის მცირე შემცველობით (არა>0,1%). მტერის მაგვარი ფრაქციის დასაშვები რაოდენობა არ უნდა იყოს 0,8 – 1,0%-ზე მეტი.

შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ნათობის კოქსი გოგირდის მცირე შემცველობით.

3. კირი.

კირი უნდა იყოს ახლადგამომწვარი CaO-ს შემცველობით არა ნაკლები

85%. S_{02} -შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 2%-ს (0,1% გოგირდის შემცველობა).

- ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება კირის კირქვით შეცვლა თუ მეტი გამოსავალი არ არის. კირი უნდა იყოს ნაჭროვანი 10-50მმ ზომებით. ფქვილის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 5%.

4. რკინის მადანი. მყარ დამუხანგაველ შეიძლება გამოყენებულ იქნას რკინის (კრიოთ-როგის საბადოს) მადანი (21 – კლასი S_{02} -ის შემცველობით არა უმეტეს 8%). ნაჭროვანება (რკინის მადნის) არ უნდა იყოს 40-100 მმ ფარგლებს გარეთ. გოგირდის შემცველობა არა > 0,05%, P არა > 0,2%.

წილის თხევადდენადობის უზრუნველსაყოფად კირის მაღალი შემცველობის პირობებში გამოყენებულ უნდა იქნეს მლღობი შპატი $Ca F_2$ -ის არა ნაკლები 85% შემცველობით. დასაშვებია ბოქსიტის გამოყენებაც შესაბამისი სტანდარტების მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებით. წილის გათხელების მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ შამოტის აგურის ლეწი. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს დაჟანგვით პერიოდში წიდაწარმოქმნის პროცესს. წიდა უნდა იყოს CaO -ს მაღალი შემცველი და ამავე დროს საჭირო თხევადდენადობის მქონე მაღალი სითბოგამტარობით, დევაზირების უნარით. ფოსფორის დროული და სრული სიღრმით მოსაცილებლად (ჩატვირთვაში) ჩატვირთვის პერიოდში ღუმელში შეაქვთ 3-5% კირი ან კირქვა.

5. მაგნეზიტის ფხენილი – გამოიყენება ღუმელის გასაწყობად ნადნობის გაშვების შემდეგ ღუმელის ქველზე და გვერდით კედლებზე (ფერდოებზე) სპაციალური მოწყობილობით – გასაწყობი მანქანით – აყრიან მაგნეზიტის ფხენილს, რომელიც შედგება და ამოაესებს წილის და ლითონის მოქმედებით წარმოქმნილ ღრმულებს. მაგნეზიტური ფხენილის ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები უნდა აკმაყოფილებდეს შესაბამისი სახ. სტანდარტის მოთხოვნებს. ღუმელის გაწყობა გრძელდება 10-15 წუთი. გაწყობის შემდეგ წარმოებს ჯართის ჩატვირთვა ერთჯერადი შეტანით – უღლუფით.

6. ფეროშენადნობები.

ფეროშენადნობების ე.წ. მუდმივმოქმედი წარმომადგენლებია: სილიკომანგანუმი, 45, 65 და 75%-იანი ფეროსილიციუმი და ალუმინი.

შეკეთებულ მოცემული მარკების მიხედვით ქარხანაში მუდმივად უნდა იყოს ფეროშენადნობების ორკვირიან-ერთთვიანი მარაგი შესაბამისი სტანდარტების მოთხოვნილებების შესაბამისობით ნაჭროვანების, სისუფთავის, მაგნე მინარეგების შემცველობის მკაცრი კონტროლით. სასურველია საამქროში დამონტაჟდეს

ფეროშენადნობების საშრობი – გამახურებელი ლითონში წყალბადის შეტანის თავიდან ასაცილებლად.

განსაკუთრებული ყურადღება მომავალ ელექტროფოლადსადნობ საამქროში უნდა დაეთმოს ტრაიბ აპარატების გამოყენებას ალუმინის და სხვ. მათულებების გამოყენებით, წიდაწარმოშქმნელი ნარევეთ ლითონის დამუშაებას, აირებით (ინერტული) გაქრევის ზევიდან და ქევევიდან, მიკროლეგირების ტექნოლოგიების ათვისებას. ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემის გადაწყვეტისათვის ყველაზე მისაღები ეკონომიკურად და ტექნოლოგიურად ხელსაყრელია მიკროლეგირება ვანადიუმით, ტიტანით და სხ. ელემენტებით (იხ. პროფ. ვ.პ. კოპალეიშვილის რეკომენდაციები).

ფოლადის წარმოების ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ ტექნოლოგიას წარმოადგენს ნადნობის მიღება ფუძე ელექტრო ღუმელში ნახშირბადოვან კაზმზე. ამ შემთხვევაში ნადნობის პერიოდებია:

- გაწყობა;
- კაზმის ჩატვირთვა;
- დნობა;
- დაუანგვის პერიოდი;
- აღდგენის პერიოდი;
- ფოლადის გამოშვება.

კაზმის ლითონური ნაწილი მცირე და საშუალო მოცულობის ღუმელებზე შედგება 90-100% ჯართისაგან. ნახშირბადის შემცველობის გაზრდის მიზნით კაზმში შეაქვთ 10%-მდე თუჯი ან კოქსი (ელექტროდების ლეწი) იმ ანგარიშით, რომ გადნობის მომენტისათვის აბაზანაში ნახშირბადის შემცველობა იყოს:

- 0,3%-ით მეტი მაღალნახშირბადოვანი მზა ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობის ქეედა ზღვართან შედარებით;
- 0,3-0,4%-ით მეტი საშუალო ნახშირბადოვანი ფოლადების გამოდნობისას და
- 0,5%-ით მეტი დაბალნახშირბადოვანი ფოლადების წარმოების დროს.

დიდი მნიშვნელობა აქვს ღუმელში ლითონური კაზმის სახეობების ჩატვირთვის თანამიმდევრობის დაცვას.

ბადის ქეედზე აწყობენ მცირეწონიან ჯართს, რომ თავიდან აიცილონ ქეედზე დარტყმები. მიმე წონის ჯართს განაღებენ ბადის ცენტრში, პერიფერიებზე ჩატვირტავენ საშუალო წონის ჯართს, ხოლო ზემოდან აყრიან მსუბუქ წონას. ასეთი თანამიმდევრობა მკაცრად უნდა იყოს დაცული, რაც საგრძნობლად ზრდის ღუმელის ქეედის მედეგობას, აჩქარებს გადნობის

პროცესს. გარდა ამისა, მჭიდროდ ჩატვირთვა აუმჯობესებს სითბოგამტარობას, აჩქარებს გაღნობას.

ჯართის ჩატვირთვის შემდეგ ელექტროდებს დაუშვებენ ძირს თითქმის კაჟმთან, ჯართთან შეხებაზე და ჩართავენ დენს. რკალის წარმოქმნას თან სდევს კაჟმის შეღნობა და თანდათანობით ქვევით დაწევა ელექტროდების გადაადგილებით. აბაზანის სრული გაღნობის შემდეგ ავტომატურად იწყებენ ელექტროდები ზევით გადაადგილებას რკალის განსაზღვრული სიგრძის შენარჩუნებით. ამ პერიოდს (დნობა) ატარებენ საღუმელე ტრანსფორმატორის მაქსიმალური სიმძლავრის გამოყენებით.

გაღნობის (დნობის) პერიოდში მიმდინარეობს წიდაწარმოქმნის პროცესი, ფოსფორის და გოგირდის ნაწილობრივი დაჟანგვა. მინარეგების ამოწვა მიმდინარეობს ჰაერის ჟანგბადით, ხენჯის და ჟანგის მოქმედებით. ამ პერიოდში სრულად ამოიწება სილიციუმი, 40-60% მანგანუმი, ნაწილობრივ ნახშირბადი და რკინა. წიდაწარმოქმნის პროცესში SiO_2 , MnO , და FeO -სთან ერთად მონაწილეობს CaO (კირიდან).

გაღნობის მომენტისთვის წიდას აქვს დაახლოებით შემდეგი შედგენილობა:

CaO – 35 – 40%;

SiO_2 – 15 – 25%;

FeO – 8-15%;

MnO – 5- 10%;

Al_2O_3 – 3 – 7%;

P_2O_5 – 0,5 – 1,2%..

ამ მომენტისათვის არსებული დაბალი ტემპერატურა და რკინაშემცველი წიდის არსებობა ხელს უწყობს დეფოსფორაციას. ელექტრორკალის ზონაში დნობის პერიოდის განმავლობაში აორთქლებას განიცდის 2-5%-მდე ლითონი, ძირითადად რკინა.

დნობის დაჩქარების მიზნით ზოგჯერ იყენებენ აირ-ჟანგბადის სანთურებს, რომლებიც შეჰყავთ ღუმელის ქვედში ან კედლების გავლით. ამავე მიზნით ხშირად იყენებენ ჟანგბადით გაქრევას, რომელიც შეჰყავთ თხევად ლითონებში საქშენების დახმარებით ან ფოლადის ამონაგიანი მიღებით. ჟანგბადის 4-6 მ³/ტ ხარჯის დროს დნობის ხანგრძლიეობა 10-20 წთ-ით მცირდება.

ნაღნობის ხანგრძლიეობა განისაზღვრება ძირითადად ტრანსფორმატორის სიმძლავრით და შეადგენს 1,1-3,0 საათს. ელექტროენერგიის ხარჯი დნობის პერიოდში შეადგენს 400-480 კვტ სთ/ტ.

დაჟანგვის პერიოდი

დაჟანგვის პერიოდის დანიშნულება მდგომარეობს შემდეგში:

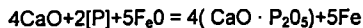
- ა) ფოსფორის შემცველობის შემცირება 0,01–0,015%-მდე;
- ბ) ლითონში წყალბადის და აზოტის შემცველობის შემცირება;
- გ) ლითონის გაცხელება გამოშვების ტემპერატურასთან ახლოს. (120–130°C-ით ლიკვიდუსის ტემპერატურაზე ზევით).

გარდა ამისა, დაჟანგვის პერიოდში წარმოებს ნახშირბადის შემცველობის შემცირება ლითონში მისი ქვედა ზღვარზე შემცველობის დონემდე. ამ დროს CO-ის ბუშტულების ინტენსიური გამოყოფით წარმოებს ლითონის დეგაზაცია და არევა, რაც თავის მხრივ აჩქარებს ლითონის გახურების და დეფოსფორაციის პროცესებს.

ლითონში მინირეგების ამოწვას აჩქარებენ ან რკინის მადნის (ხენჯის), ან აიროვანი ჟანგბადის გამოყენებით.

დაჟანგვის პროცესი და პერიოდი იწყება იმით, რომ ლუმელიდან გამოუშვებენ 65-75% დნობის დროს წარმოქმნილ პირველად წიდას. წიდას უშვებენ ლუმელიდან მისი დახრით 10-12⁰-ით ლუმელის გამორთვის გარეშე. პირველადი წიდას გამოშვებით ლუმელიდან გამოაქვთ ფოსფორი და სხვა მინარეგები, რის შემდეგ ლუმელში შეაქვთ 1,0-1,5% კირი და 0,15-0,25% მლღობი შპატი ან შამოტის ლეწი ან ბოქსიტი. ამით წარმოიქმნება თხევადდენადი წიდა, რის შემდეგ აბაზანაში მიაწოდებენ ჟანგბადს და რკინის მადანს, რაც იწვევს ლითონის ინტენსიურ დუღილს CO-ის გამოყოფით. ამ დროს წიდა აქაფდება და იწყებს ლუმელიდან ჩამოდენას. დუღილის ინტენსიურობის შემცირების შემთხვევაში კელავ შეაქვთ რკინის მადნის ულუფა, სულ მადნის საერთო ხარჯი მერყეობს 3,5-5%-ის ზღვრებში. ლითონის გაციება რომ არ გამოიწვიოს. ერთჯერადი რკინის მადნის მიწოდებული რაოდენობა არ უნდა იყოს 1%-ზე მეტი ლითონის წონიდან.

დაჟანგვის პერიოდის განმავლობაში მიმდინარეობს ლითონის დეფოსფორირება შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



ამ რეაქციის მარცხნიდან მარჯვნივ ინტენსიურობის გაზრდისათვის საჭიროა წიდას მაღალი ფუძიანობა და ჟანგების მაღალი კონცენტრაცია და დადაბლებული ტემპერატურა, რასაც ხელს უწყობს ლუმელში კირის და რკინის მადნის ერთდროული მიწოდება, დაჟანგვის პერიოდში რკინის ჟანგულების მაღალი შემცველობის პირობებში დესულფურაციის პროცესი სუსტდება

გოგირდის მოცილება და წიდაში გადასვლა ფერხდება: დნობის და დაჟანგვის პერიოდის მთელ განმავლობაში წიდაში გადადის ლითონში (კაზმში) არსებული გოგირდის მხოლოდ 30-40%.

ლითონის დუღილის დროს CO-ს ბუშტულებთან ერთად ლითონიდან ლუმელის ატმოსფეროში გადადიან წყალბადი და აზოტი ამ მოვლენას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, ვინაიდან ელექტრორკალების ზონაში მიმდინარეობს ლითონის ინტენსიური გაჯერება აზოტით და წყალბადით. ამიტომ, რომ როგორც წესი ელექტროფოლაღში აზოტის შემცველობა უფრო მაღალია მარტენულ და ჟანგბად-კონვერტორულ ფოლადთან შედარებით. დუღილი და შერევა ხელს უწყობს ლითონის ტემპერატურის და შედგენილობის გათანაბრებას და ზრდას. ჟანგეითი პერიოდის განმავლობაში აუცილებელია დაიქანგოს ნახშირბადის არანაკლები 0,2–0,3% მაღალნახშირბადოვანი (0,6%) ფოლადის გამოდნობისას და 0,3–0,4% საშუალო და მცირენახშირბადოვანი ფოლადის წარმოების დროს.

დაჟანგვის პერიოდის ბოლოს წიდას შედგენილობა უნდა იყოს შემდეგი: %%-
Si 5_50CaO; 10-20 SiO₂; 4-12 MnO; 6-15 MgO; 3-7 Al₂O₃; 2-6 Fe₂O₃; 0,4-1,5 P₂O₅.

რკინის ჟანგეულების შემცველობა ძირითადად დამოკიდებულია გამოსადნობ ლითონში ნახშირბადის შემცველობისგან.

ზემო ზღვარი მახასიათებელია დაბალნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის, ხოლო ქვედა ზღვარი – მაღალნახშირბადიანი ფოლადებისათვის. დაჟანგვის პერიოდი მთავრდება მაშინ, როდესაც ნახშირბადი დაიქანგება ფოლადში შემცველობის ქვედა ზღვრამდე გამოსადნობ ლითონში და ფოსფორის შემცველობა დაყვანილია 0,010-0,015%-მდე. დაჟანგვის პერიოდს ამთავრებენ დაჟანგული წიდას სრული მოხდით, რაც აუცილებელია იმისთვის, რომ მასში შემცველი ფოსფორი კვლავ არ გადავიდეს ლითონში აღდგენითი პერიოდის დროს.

აღდგენითი პერიოდი

აღდგენითი პერიოდის ძირითადი ამოცანებია:

- ა) ფოლადის (ლითონის) განჯანგვა;
- ბ) გოგირდის მოცილება;
- გ) ფოლადის ქიმიური შედგენილობის დაყვანა მოცემულ შედგენილობამდე;
- დ) ტემპერატურის კორექტირება;

ამ ამოცანების შესრულება მიმდინარეობს აღდგენითი პერიოდის განმავლობაში პარალელურად, ფოლადის განჯანგვას ახორციელებენ როგორც ლექვითი, ისე დიფუზიური მეთოდით.

დაჯანგვის წილის მოცილების შემდეგ ღუმელში შეაქვთ ფერომანგანუმი, მისი შემცველობის ქვედა ზღარზე უზრუნველსაყოფად გამოსაღობი ლითონისათვის და აგრეთვე ფეროსილიციუმი ლითონში მისი შემცველობის 0,1-0,15%-მდე დაყვანისათვის და ალუმინი 0,03-0,10%-მდე. ეს დამატებები უზრუნველყოფენ ლექვით განჯანგვას.

შემდეგ წილის განახლებისათვის ღუმელში შეაქვთ კირი, მლღობი შპატი და შამოტის ლექვი. 10-15 წუთის შემდეგ წარმოიქმნება თხევადი წიდა რის შემდეგ იწყებენ დიფუზიურ განჯანგვას. დასაწყისში, 10-15 წუთის განმავლობაში განჯანგვას აწარმოებენ ნარევით, რომელიც შედგება კირის, მლღობი შპატისა და კოქსისაგან 8:2:1 თანაფარდობით, ზოგჯერ ღუმელში შეაქვთ მხოლოდ კოქსი. შემდეგ იწყებენ განჯანგვას დაფუძული 45%-იანი ან 75%-იანი ფეროსილიციუმით, რომელიც შეაქვთ გამჯანგავი ნარევის შედგენილობაში, რომელიც შეიცავს კირს, მლღობ შპატს, კოქსს და ფეროსილიციუმს 4:1:1:1 თანაფარდობით. ზოგიერთი მარკის ფოლადების გამოღობისას აღდგენითი პერიოდის ბოლოს გამჯანგავი ნარევის შედგენილობაში შეაქვთ უფრო ძლიერი გამჯანგავები – დაფუძული სილიკოკალციუმი და ფხენილოვანი ალუმინი, ხოლო მცირე ნახშირბადოვანი ფოლადების გამოღობისას დიფუზიური განჯანგვას აწარმოებენ კოქსის გამჯანგავი ნარევი შეტანის გარეშე.

დიფუზიური განჯანგვის არსი მდგომარეობს შემდეგში. ეინაიდან გამჯანგავი ნივთიერებები შეაქვთ დაფუძულ მდგომარეობაში მათი სიმკვრივე დაბალია, ამიტომ დაბალი სიჩქარით ჩაიძირებიან წიდაში, რომელშიც ვითარდებიან რეაქციები:



რომელთა შედეგად FeO-ს შემცველობა წიდაში მცირდება და განაწილება

$$\text{კანონის შესაბამისად} \quad \frac{(FeO)}{[FeO]} = Const$$

FeO-ს შემცირება წიდაში იწვევს ჯანგბადის გადასვლას ლითონიდან წიდაში დიფუზიის გზით ეი.[FeO] → (FeO)-ში, რაც წარმოადგენს ლითონის დიფუზიური განჯანგვის პროცესს. ეინაიდან რეაქციები ვითარდება წიდაში, ამიტომ ადგილი არ აქვს ფოლადის დაჭუჭყიანებას რეაქციების პროდუქტებით, ჯანგულებით. ასეთი მეთოდით განჯანგული ფოლადი გამოირჩევა არაღლითონური ჩანართების ნაკლები შემცველობით. დიფუზიური განჯანგვის განვითარებასთან ერთად თანდათანობით

მცირდება FeO-ს შემცველობა წიდაში და ასეთი წილის გაცივებული სინჯები თანდათან კარგავენ მუქ ფერს და თითქმის თეთრ ფერს იძენენ. აღდგენითი პერიოდის თეთრი წილის ქიმიური შედგენილობა ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით:

(%-%-ში) CaO-53-60; 15-25S₀₂; 7-15 MgO;

5-8 Al₂O₃; 5-10 CaF₂; 0.8-1,5 CaS.

აღდგენით პერიოდში წარმატებით ხორციელდება განგოგირდება, ვინაიდან მისი განვითარებისთვის შექმნილია უფრო ხელსაყრელი პირობები სხვა ფოლადსადნობ აგრეგატებთან შედარებით (CaO/S₀₂=2,7-3,3), რაც ხელს უწყობს გოგირდის მოცილებას პროცენტის მეთასედ ნაწილებამდე. ლითონის და წილის შერევის გაუმჯობესებისთვის და გოგირდის წიდაში გადასვლის ნელი სიჩქარით მიმდინარე პროცესის დაჩქარების მიზნით რეკომენდირებულია ელექტრომაგნიტური შერევა განსაკუთრებით მაღალი ტევადობის ლუმელებისათვის, რომლებშიც ლითონის-წიდასთან საკონტაქტო კუთრი ზედაპირი მნიშვნელოვნად მცირეა შედარებით მცირეტევადობის ლუმელებთან. აღდგენითი პერიოდის ხანგრძლივობა შეადგენს 40-100 წთ-ს. 10-20 წუთით გამოშვებამდე აკორექტირებენ ლითონში სილიციუმის შემცველობას ლუმელში ნაჭროვანი ფეროსილიციუმის შეტანით. 2-3 წუთით ადრე გამოშვებამდე საბოლოო განჟანგვის მიზნით ლითონში ამატებენ 0,4-1,0 კგ/ტ ალუმინის შოთებს. ლითონს ციცხეში გამოუშვებენ წიდასთან ერთად. ამ დროს ლითონის და წილის ერთმანეთთან ინტენსიური შერევა უზრუნველყოფს ლითონის დამატებით რაფინირებას – თეთრ წიდაში ლითონიდან გადადის გოგირდი და არილითონური ჩანართები.

ლეგირების რეჟიმი (წესრიგი)

ელექტრორკალურ ლუმელში ლეგირებული ფოლადების ლეგირების რეჟიმი დამოკიდებულია მალეგირებელი ელემენტების თვისობისაგან ჟანგბადისადმი რკინასთან შედარებით. ნიკელი და მოლიბდენი, რომელნიც გამოირჩევიან ჟანგბადისადმი ნაკლები თვისობით რკინასთან შედარებით, დაჟანგვას არ განიცდიან. მათი მიწოდება ლუმელში შეაქვთ ნადნობის დასაწყისში, ნიკელი ჩატერითვის პერიოდში, ხოლო მოლიბდენი-დნობის ბოლოს ან დაჟანგვის პერიოდის დასაწყისში. ქრომი და მანგანუმი გამოირჩევიან ჟანგბადისადმი უფრო მაღალი თვისობით ვიდრე რკინა, ამიტომ ისინი ლითონში შეაქვთ ჟანგბადი წილის მოცილების შემდეგ აღდგენითი პერიოდის დასაწყისში.

ვოლფრამს ასევე აქვს ჟანგბადისადმი რკინასთან შედარებით უფრო მაღალი თვისობა, ამიტომ იგი ლითონში შეაქვთ ადღგენითი პროცესის დასაწყისში.

ვოლფრამით ფოლადის ლეგირების თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ დნობის მაღალი ტემპერატურის გამო იგი ლითონში გახსნას დიდ დროს ანდომებს, ამიტომ ვოლფრამის შემცველობის კორექტირებისათვის ფოლადში ფეროვოლფრამი უნდა შევიტანოთ აბაზანაში არა უგვიანეს 30 წუთით გამოშვებამდე.

სილიციუმი, ვანადიუმი და განსაკუთრებით ტიტანი და ალუმინი გამოირჩევიან ჟანგბადისადმი მაღალი ქიმიური თვისობით და ადვილად იჟანგებიან. ფეროვანადიუმით ლეგირებას აწარმოებენ 15-35 წუთით ადრე გამოშვებამდე, ფეროსილიციუმით 10-20 წუთით ადრე გამოშვებამდე. ფეროტიტანი ღუმელში შეაქვთ 5-15 წუთით ადრე გამოშვებამდე, ან ციცხეში. ალუმინი შეაქვთ 2-3 წუთით ადრე გამოშვებამდე ციცხეში.

ფოლადის გამოდნობა გადადნობის მეთოდით

მეტალურგიულ ქარხნებში ბოყვებში ჩამოსხმული ლითონის ნარჩენები 25-40%-ს აღწევენ. ნარჩენების დაგროვების კვალობაზე ახორციელებენ ფოლადის გამოდნობას გადადნობის მეთოდით. ნადნობი მიჰყავთ დაჟანგვითი პერიოდის გარეშე ან ჟანგბადის მოკლედროით დაბერვით, რაც საშუალებას იძლევა შეინარჩუნოთ ნარჩენებში მყოფი ძვირფასი ელემენტები. დაჟანგვის გარეშე ფოლადის გამოდნობის დროს ნახშირბადი და ფოსფორი არ იჟანგებიან, ამიტომ კაზმში ფოსფორის შემცველობა არ უნდა ოყოს მისი დასაშვები ზღვრებზე მეტი მზა ფოლადში, ხოლო ნახშირბადის შემცველობა უნდა იყოს 0,05-0,1%-ით ნაკლები მზა ფოლადთან შედარებით, რაც განპირობებულია ლითონის ელექტროდებით დანახშირბადიანებასთან. დანარჩენი ელემენტების დასაშვებ რაოდენობას განსაზღვრავენ გამოსადნობი ფოლადის შედგენილობის გათვალისწინებით და დნობის პერიოდში მათი დაჟანგვის ხარისხით, რაც ხასიათდება შემდეგი რაოდენობით, %%-ში:

Al	Ti	Si	V	Mn	Cr	W
100	8-90	40-60	15-25	15-25	10-15	5-15

ლეგირებული ნარჩენების გარდა კაზმში შეაქვთ რბილი რკინა ნახშირბადის და ფოსფორის დაბალი შემცველობითი და საჭირო შემთხვევაში ფეროქრომი და ფეროვოლფრამი.

კაზმის ჩატვირთვას და დნობას აწარმოებენ როგორც ჩვეულებრივი ნაღობის დროს. დნობის პერიოდში ჩარეირთავენ 1-1,5% კირს ან კირქვას. გაღობის შემდეგ წიდას არ მოხდიან და მაშინვე შეუდგებიან აღდგენითი პერიოდის წაყვანას. ამასთან განჯანგვას, დესულფურაციას და ლეგირებას აწარმოებენ როგორც ჩვეულებრივი ნაღობის დროს. დიფუზიური განჯანგვის დროს წიდიდან აღდგებიან კრომი, ვოლფრამი და ეანადიუმი. თუ გაღობის შემდეგ მიიღება სქელი წიდა მაგნიუმისზუჟანგის მაღალი შემცველობის გამო, მას მოაცილებენ და წარმოქმნიან ახალ წიდას.

გადაღობის მეთოდით ფოლადის გამოდნობისას მცირდება ფეროშენადნობის ხარჯი, 10-30%-ით იზრდება ღუმელის მწარმოებლურობა და 10-20%-ით მცირდება ელექტროენერჯის და ელექტროდების ხარჯი.

ნაღობის ტექნოლოგიის თავისებურებანი დიდი ტევადობის ღუმელში

დიდი ტევადობის (80-300ტ) ღუმელების ექსპლუატაციის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ ღუმელებში ტრადიციული ტექნოლოგიის გამოყენება ვერ უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის ფოლადის მიღებას. ეს აიხსნება რიგი მიზეზებით, რომელთაგანაც ძირითადია: დაბალი ხარისხის ჯვართის გამოყენება (დაჯანგული დანაგვიანებული მსუბუქწონიანი), რაც იწვევს დნობის პერიოდის არასტაბილურობას, წიდის რაოდენობის მერყეობას და მისი ფუძიანობის და დაჯანგვისუნარიანობის ცვალებადობას. ეს თავის მხრივ იწვევს ნახშირბადის და ფოსფორის შემცველობის სხვადასხვაობას გაღობის მომენტისათვის. ეს გარემოება კი დაკავშირებულია დაჯანგვის პერიოდის ტექნოლოგიის არასტაბილურობასთან, რაც იწვევს დამჯანგვების ხარჯის გაზრდას და ლითონის და წიდის მაღალ დაჯანგულობას მცირე ტევადობის ღუმელებთან შედარებით.

ასეთივე არაუფექტურობით გამოირჩევა აღდგენითი პერიოდი დიდი ტევადობის ღუმელებში. აქ გაანგვებულია და ვერ ხერხდება დაჯანგული წიდის სრული მოცილება, ვინაიდან დიდი ტევადობის ღუმელებში, რომლებიც აღჭურვილნი არიან მტვერარიტამწოვი ძლიერი მოწყობილობებით ჰაერის შვწოვის, შედეგად ვერ ხერხდება აღდგენითი ატმოსფეროს შექმნა და პრაქტიკულად შეუძლებელია წიდის მიღება FeO -ს მცირე შემცველობით ფხენილოვანი გამყანგი მასალებით წიდის ინტესიური დამუშავის დროსაც კი. აღდგენითი პერიოდის პირობები დიდი ტევადობის ღუმელებში უარესდებან იმითაც, რომ მათში საგრძნობლადაა შემცირებული წიდის და ლითონის საკონტაქტო კუთრი ზედაპირი. აბაზანის

მაღალი სიღრმის გამო 100ტ ელექტროდუმელში წიდალითონის კუთრი საკონტაქტო ზედაპირი შეადგენს 0,2მ²/ტ-ს, მაშინ როდესაც ეს მაჩვენებელი 10ტ ტევალობის ღუმელში შეადგენს 6მ²/ტ-ს. კიდევ ერთ არასასურველ თავისებურებას დიდი ტევალობის ღუმელებში წარმოადგენს ის, რომ ღუმელში ლითონის დაყონების პერიოდში ადგილი აქვს ღუმელის ამონაგის ინტენსიურ ცვეთას. წიდაში MgO-ს მაღალი შემცველობა იწვევს მის გასქელებას და რეაქციაუნარიანობის შემცირებას. ეს თავის მხრივ იძულებულს ხდის მეფოლადეს შეამციროს ადღგენითი პერიოდის ხანგრძლივობა და უარი თქვას დოფუზიურ განჯანგვის ჩატარებაზე. ამიტომ დღეისათვის შემუშავებულია ფოლადის გამოდნობის რამოდენიმე სახეობის გამარტივებული ტექნოლოგია დიდი ტევალობის ღუმელებში. ასეთებია:

ა) გამარტივებული სორტამენტის ფოლადების გამოდნობა ერთწიდიანი პროცესით;

ბ) მარალხარისხოვანი ფოლადების გამოდნობა გამარტივებული ტექნოლოგიით ფოლადის საბოლოო დაყენით ციციხე-რუმელში

დიდ ღუმელებს იყენებენ ძირითადად კაზმის გადნობისათვის, ლითონის გახურებისა და დაჯანგვითი პროცესების დეფოსფორირებისა და გაუნახშირბადიანებისათვის, ზოდჯერ ღუმელში ახორციელებენ ლევირებას და წილის შედგენილობის კორექტირებას გამოშვების წინ.

დიდი ტევალობის ღუმელებისათვის დამახასიათებელია ნაღნობის შემდეგი თავისებურებები:

ლითონში საჭირო ნახშირბადის შემცველობის უზრუნველსაყოფად დნობის პერიოდში კაზმში შეაქეთ თუჯის გაზრდილი (30%-მდე) რაოდენობა ნახშირბადოვანი ფოლადების გამოსადნობად.

დეფოსფორაციის გადნობასთან შეთავსებისა და გადნობის პერიოდის შემცირების მიზნით ჩატრთვაში შეაქეთ რკინის მადანი ან აგლომერატი კაზმიდან 2% რაოდენობით და კირი (3%);

კაზმის ჩატვირტვა ხორციელდება ორჯერადად. პირველ რიგში ჩატვირთავენ ჯართის ძირითად ნაწილს და შემდეგ კაზმის გადნობის კვალობაზე ჩატვირთავენ ნარჩენ ჯართს.

ერთწიდიანი პროცესი

ერთი წილის ქვეშ ნაღნობის ტექნოლოგიას ადღგენითი პერიოდის გარეშე იყენებენ მარტივი სორტამენტის ფოლადის გამოდნობის დროს: ნახშირბადოვანი

და მცირედლევირებული ფოლადები, აგრეთვე, ქრომიტ, სიცილიუმით, მანგანუმით და ნიკელით ლეგირებული ფოლადების წარმოებისას.

კაზში ნახშირბადის შემცველობის კვალობაზე ფოლადში შეაქვთ 25-30%-მდე თუჯი (შოთისებრი სახით). იმისათვის რომ დეფოსფორირების პროცესი შეათავსონ გადნობის პროცესთან კაზში შეაქვთ 2-3% კირი და 1,5% რკინის მაღანი და აგლომერატი.

კაზის გადნობის შემდეგ ღუმელიდან თვითდინებით მოაცილებენ წიდის მაქსიმალურ რაოდენობას და იწყებენ აბაზანის გაქრევას ჟანგბადით, რომელიც შეკავთ ღუმელში თაღში გამავალი საქშენის დახმარებით. გაქრევის წინ თუ ლითონში ფოსფორის მაღალი შემცველობაა ღუმელში შეიტანენ კირსა და მლღობ შპატს. ჟანგბადით გაქრევას აწარმოებენ ნახშირბადის მოცემულ შემცველობამდე მზა ფოლადში. გაქრევის შეწყვეტის შემდეგ ღუმელში შეაქვთ სილიკომანგანიუმი ან ფერომანგანუმი და საჭირო შემთხვევაში ფეროქრომი, ფოლადში საჭირო შემცველობის მანგანუმის და ქრომის მიღების უზრუნველსაყოფად. შემდეგ ფოლადს გამოუშვებენ ციცხეში, რომელშიც დაამატებენ ფეროსილიციუმს და ალუმინის საჭირო რაოდენობას ლითონის განჯანგვის მიზნით. იმისათვის რომ თავიდან ავიცილოთ წიდიდან ლითონში ემ-ს გადასვლა და შემცირებულ იქნენ სილიციუმის და მანგანუმის ნაშევი ღუმელს დახრიან ისე, რომ გამოშვების პერიოდის პირველ მესამედში ლითონი ღუმელიდან გამოვიდეს წიდის გარეშე. ნიკელის მიწოდება ლითონში შეიძლება მოხდეს კაზის ჩატვირთვისას მისი ჟანგბადისადმი მცირე თვისობის გამო.

სილიციუმით ლეგირებული ფოლადების გამოდნობის დროს იყენებენ ნაღნობის ტექნოლოგიას წიდის ნაწილობრივი განჯანგვით. ასეთი ტექნოლოგიის არსი შემდეგში მდგომარეობს: დაბერვის (0₂) შემდეგ ღუმელში შეაქვთ ფერომანგანუმი ფოლადში მანგანუმის მოცემული შემცველობის მისაღებად და შედარებით მცირე რაოდენობის 5%-იანი ფეროსილიციუმი (2კგ/ტ ფოლადზე) და წიდაზე აყრიან გამჯანგავ ნარევეს – კირს (10კგ/ტ), მლღობ შპატს (2კგ/ტ) და კოქსს (1-2 კგ/ტ) რამოდენიმე წუთის დაყოვნებით ლითონს გამოუშვებენ ციცხეში, სადაც საბოლოო განჯანგვისა და ლეგირების მიზნით მიაწოდებენ ფეროსილიციუმს და ალუმინს. ასეთი ტექნოლოგიით მუშაობის დროს მხედველობაში მისაღები ის გარემოებაა, რომ წიდის დიფუზიურ განჯანგვას თან ახლავს რეფოსფორაციის პროცესი – წიდიდან ფოსფორის ლითონში გადასვლა.

ერთწიდიანი პროცესის ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა შევამციროთ ნაღნობის ხანგრძლივობა, ელექტროენერჯის, ცეცხლგამძლე და წიდაწარმომქმნელი მასალების ხარჯი.

ნადნობის ტექნოლოგია ლუმელის წილით ციცხეში ლითონის რაფინირებით

ეს ტექნოლოგია გამოიყენება 50-100-200 ტ ტევადობის ლუმელზე. ჩატვირთვაში შეაქვთ 25-30%-მდე თუჯი, 1,5-2% მადანი და 2-3% კირი. ნადნობის დნობის პერიოდის ბოლოს იწყებენ აბაზანის ჟანგბადით გაქრევას, რომელსაც მიაწოდებენ თალის საქშენიდან. მოცემული ფოლადის მარკის ნახშირბადის მიღების შემდეგ გაქრევას ამთავრებენ და დაჯანგვის პერიოდის წიდას მოხსნიან (75-80% რაოდენობით), შემდეგ ლუმელში შეაქვთ ფეროსილიციუმი ლითონში 0,15% სილიციუმის მიღების ანგარიშით და ფერომანგანუმი მანგანუმის საჭირო (მოცემულ) შემცველობამდე მისაღებად და თუ საჭიროა ფეროტორმი. დააყენებენ ახალ წიდას კირის, მლღობი შპატის და შამოტის ლეწის შეტანით (25; 5-10 და 5-10 კგ/ტ შესაბამისად). დაჯანგვის პერიოდის შუალედში ფოლადის სინჯების ანალიზის გათვალისწინებით ლუმელში შეაქვთ ფეროშენადნობების მაკორექტირებელი დამატებები.

8-10 წუთით ადრე გამოშვებამდე წიდას ათხელებენ მლღობი შპატის დამატებით (~ 4კგ/ტ) CaF_2 -ის წიდაში შემცველობის 10-15%-მდე დაყვანით. CaF_2 -ის ასეთი მაღალი შემცველობა აუცილებელია წიდას სიბლანტის შემცირებისათვის და მისი მარაფინირებელი თვისებების გაზრდისათვის. გამოშვების წინ წიდას კიდევ განჯანგავენ ფხენილოვანი ალუმინით (0,8 კგ/ტ). აუცილებელია, რომ საბოლოო წიდაში იყოს 1%-ზე ნაკლები FeO და 50%-ზე მეტი CaO – ფუჰიანობით (2,7 – 3,4).

ციცხეში გამოშვებისას დასაწყისში გამოშვებენ წიდას, ხოლო შემდეგ ლითონს, რაც უზრუნველყოფს მათ ინტენსიურ შერევას, დესულფურირებას და არალითონური ჩანართების მოცილებას ლითონიდან. საბოლოო განჯანგვისათვის ციცხეში შეაქვთ ალუმინი.

ნადნობის სინთეტიკური წილებით რაფინირება ციცხეში

ასეთი ტექნოლოგია გამოიყენება დიდი ტევადობის (50 – 200ტ) ლუმელებში და ისეთ საამქროებში, რომლებსაც აქვთ სინთეტიკური წიდას გამოსადნობი ლუმელი. ჩატვირთვაში შეაქვთ 25% თუჯი, (1,5 – 3,5%) კირი და (2 – 3%) რკინის მადანი. გადნობის შემდეგ აწარმოებენ ლუმელის აბაზანის ჟანგბადით გაქრევას. დაჯანგულ წიდას მოაცილებენ და აბაზანაში შეაქვთ ფერომანგანუმი მზა ფოლადში მანგანუმის მისაღებად ქვედა ზღვარზე, აგრეთვე ფეროსილიციუმი

0,15-0,20% სილიციუმის შეტანის მიზნით. შემდეგ დააყენებენ მცირე რაოდენობის (1%-მდე) კირიან წიდას კირის, მლღობი შპატის ან შამოტის დახმარებით. ამ შემთხვევაში აღდგენითი პერიოდი პრაქტიკულად გამორიცხულია მის მაგიერ აწარმოებენ მოკლედროიან (~30წთ) დაყვანას, რომლის განმავლობაში ფოლადი დაჰყავთ მოცემულ ტემპერატურამდე და შედგენილობამდე, შეჰყავთ რა ღუმელში მალეგირებული ელემენტების საჭირო რაოდენობა. წიდას გაჟანგვა არ ხდება. გამოშვების წინ ღუმელიდან მოაცილებენ 80 – 90% წიდას. შემდეგ ლითონს გამოუშვებენ ციცხეში, სადაც ადრე ჩასხმულია სინთეტიკური წიდა, რაც უზრუნველყოფს ლითონის რაფინირებას გოგირდის და არალითონური მინარევებისგან. გამოშვების დროს ციცხეში შეაქვთ საჭირო რაოდენობის ფეროსილიციუმი და აუცილებლობის შემთხვევაში ფეროტიტანი და ფეროვანადიუმი. გამოშვების დამთავრების შემდეგ ციცხეში შეაქვთ ალუმინი საბოლოო განუანგვის მიზნით. ჩვეულებრივად იყენებენ სინთეტიკურ თიხამიწოვან წიდას (~%55CaO, 45% Al₂O₃), რომელსაც ჩაასხავენ ციცხეში 1650-1700°C ტემპერატურით და 4-6% რაოდენობით ლითონის წონიდან).

ფოლადის ამოღების ტექნოლოგია ფხენილოვანი რეაგენტების გაქრევით ციცხეში

როგორც წესი, ნაღობი მიჰყავთ ერთწიდიანი პროცესის ტექნოლოგიით, იღებენ რა მოცემული შედგენილობისა და ტემპერატურის მქონე ლითონს. ციცხეში გამოშვებულ ლითონს გააქრევენ ფხენილოვანი ნარევებით, რომლის შემადგენლობაშიც შედიან გოგირდისა და ჟანგბადისადმი აქტიური ელემენტები: კალციუმის კარბიდი, სილიკოკალციუმი, გრანულირებული მაგნიუმი. ფხენილოვან ნარევებს გააქრევენ არგონის ნაკადით ლითონში ჩაძირული საქშენის დახმარებით. რამოდენიმე წუთიანი ხანგრძლივობის გაქრევა უზრუნველყოფს გოგირდს, ჟანგბადის და სხვ. არალითონური მინარევების შემცველობის შემცირებას. გარდა ამისა, მაგნიუმი და კალციუმი იწვევენ ლითონის მოდიფიცირებას, მისი მექანიკური თვისებების გაუმჯობესებას.

ნაღობის ტექნოლოგია ლითონის ღუმელგარეშე დაყვანით და რაფინირებით

ნაღობი მიჰყავთ შემდეგი ტექნოლოგიით: ფოლადის ჯართს გააღნობენ თუჯის დამატებით და იწყებენ დაჟანგვის პერიოდს ჟანგბადის გაქრევით, რაც

უზრუნველყოფს გაუნახშირბადიანებას, დეფოსფორირებას და ლითონის გახურებას საჭირო ტემპერატურამდე. შემდეგ ლითონს გამოუშვებენ ციცხვში წიდის გარეშე და იგი გადააქეთ სპეციალურ დანადგარზე, სადაც სხვადასხვა ხერხებით ლითონს დაამუშავენ (დუმელგარეშე მეთოდებით). მოაცილებენ რა გოგირდს, ჟანგბადს არალითონურ მინარევებს. აქვე დაამუშავენ ეაკუუმით და ლითონში საჭირო რაოდენობის და სახეობების დამატებებით მიკროლეგირების და რაფინირების მიზნით, ტემპერატურის გაზომვით და კორექტირებით.

ნადნობის ტექნოლოგია მეტალიზირებული გუნდა რკინის გამოყენებით

გუნდების საფუძველს წარმოადგენს რკინა ნახშირბადის 0,2–0,5%-დან 2%-მდე შემცველობით, ისინი აგრეთვე, შეიცავენ არადღეენილ რკინის ჟანგულებს და ფუჭ ქანებს (SiO_2 და Al_2O_3 -ის სახით), რომლის რაოდენობა უნდა იყოს არა უმეტესი 3-7%-სა გუნდების მასიდან. ამ ნედლეულის განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ გუნდა რკინა გამოირჩევა გოგირდის, ფოსფორის, სპილენძის, ნიკელის, ქრომის და სხვა მინარევების მცირე შემცველობით ფოლადის ჯართთან შედარებით, რომელიც ჩვეულებრივად შეიცავს Pb, Sn, Bi, Zn, As, Sb-ს. ეს გარემოება ამარტივებს გამოდნობის პროცესს და უზრუნველყოფს მაღალი სისუფთაეის ფოლადის მიღებას (მინარევების ჯამური შემცველობა 3-10 ჯერ ნაკლებია ფოლადის ჯართიდან მიღებულ ლითონთან შედარებით).

თუ მეტალიზირებული გუნდების შემცველობა კაზმში 25-30%-ს არ აღემატება, მაშინ ფოლადის გამოდნობის ტექნოლოგია არსებითად არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ტექნოლოგიისაგან. გუნდა რკინის ნედლეულის მქონე კაზმის დროს აღინიშნება ტექნოლოგიის შემდეგი თავისებურებები:

- ღუმელში გუნდა რკინის ჩატვირთვა უნდა მოხდეს უწყვეტად ღუმელში მიწოდებული ელექტროსიმძლავრის პროპორციულად, ამასთან ჩატვირთვა უნდა დაიწყოს აბაზანაში თვეადი ლითონის ფორმირების შემდეგ;
- დნობის პერიოდის დამთხვევა დაჟანგვის პერიოდთან (გაუნახშირბადიანებასთან);
- ტექნოლოგიის გამარტივება კაზმში მანვე მინარევების – გოგირდის და ფოსფორის მცირე შემცველობის გამო.

გუნდა რკინის მეტალიზაციის ხარისხი უნდა იყოს განსაზღვრულ ზღვრებში, რამაც უნდა უზრუნველყოფს აბაზანის დუღილი მისი ჩატვირთვის და დნობის დროს. კაზმში გუნდა რკინის ოპტიმალური შემცველობა უნდა შეადგენდეს 60-

70%-ს მისი მასიდან – უფრო მაღალი შემცველობის შემთხვევაში საგრძნობლად გაიზარდება გაღრმობის და მთლიანად ნადნობის ხანგრძლივობა.

ნადნობს იწყებენ ფოლადის ჯართის ჩატვირთვით 30-40% რაოდენობით კაჟმის ლითონური ნაწილიდან ერთი ულუფით. შემდეგ მიიყვანენ ძაბვას და ჯართის გაღრმობის შემდეგ ფორმირებულ თხევად აბაზანაში შეაქვთ გუნდა რკინა. გუნდა რკინას ჩვეულებრივად ჩატვირთავენ ელექტრორკალის ზონაში ატომმატური სისტემის დახმარებით ღუმელის თაღის გავლით. გუნდა რკინის მიწოდების სიჩქარეს ათანხმებენ ღუმელში მიწოდებულ ელექტროსიმძლავრესთან ისე რომ აბაზანის ტემპერატურა უნდა იყოს 30-40°C-ით მაღალი ლითონის დნობის ტემპერატურასთან შედარებით, ვინაიდან უფრო ნაკლები გადახურების დროს დნობის ხანგრძლივობა იზრდება.

ჩატვირთვის და გაღრმობის პერიოდებს ერთმანეთს ამთხვევენ ე.ი. აბაზანის დუღილით და ნახშირბადის უწყვეტი დაჟანგვით. ამით ჩქარდება გუნდა რკინის გაღრმობა, უზრუნველყოფილდება აბაზანის დეგაზაცია და პერიოდის ბოლოს საჭირო ნახშირბადის შემცველობა ლითონში. დუღილის უზრუნველყოფისათვის თავის მხრივ გუნდა რკინის მეტალიზაციის ხარისხი უნდა იყოს 90-97%-ის დონეზე, რაც შეესაბამება გუნდა რკინაში ნარჩენი ჟანგბადის 1,2-დან 0,6%-მდე შემცველობას. ნარჩენი ჟანგბადის უფრო დაბალი შემცველობის დროს შეუძლებელია აბაზანის დუღილი. გუნდა რკინის მეტალიზაციის არასაკმარისი ხარისხის დროს მნიშვნელოვნად იზრდება ელექტრონერგეტიის ხარჯი რკინის ჟანგულების აღდგენის ენდოთერმიული რეაქციების მიმდინარეობის გამო. აბაზანის დუღილის უზრუნველსაყოფად მეტალიზირებული ნედლეული უნდა შეიცავდეს ნახშირბადის განსაზღვრულ რაოდენობას. თუ მისი შემცველობა არასაკმარისია აუცილებელია აბაზანაში ნახშირბადის შეტანა კარბურიატორების სახით. (გაქრევის გზით).

დნობის მიმდინარეობის დროს ღუმელში აუცილებელია კირის შეტანა გუნდა რკინაში მყოფი ფუჭი ქანების (SiO_2 , Al_2O_3) შეწიდვის მიზნით. წიდის ფუძიანობა გუნდა რკინაში გოგირდის და ფოსფორის მცირე შემცველობის გამო შეიძლება იყოს მცირე ჯარბზე მიმდინარე ნადნობთან შედარებით და შეადგენს 1,5-2,0-ს. დნობის პერიოდის ბოლოს აუცილებელია მივიღოთ გამოსადნობი ფოლადის ნახშირბადის მოცემული შემცველობა. ნახშირბადის არასაკმარისი რაოდენობისას მიმართავენ კარბურიატორებით გაქრევას – ჭარბ ნახშირბადს დაჟანგავენ ჟანგბადით ხანმოკლე გაქრევით.

გაღრმობის პერიოდის დამთავრების შემდეგ იყენებენ ნადნობის დამამთავრებელი პერიოდების წაყვანის სხვადასხვა ვარიანტებს: ერთ-ერთი

მათგანია – ლითონის გახურება საჭირო ტემპერატურამდე და ციციხეში გამოშვება, სადაც წარმოებს ლითონის ღუმელგარეშე დამუშავება და რაფინირება; მეორე მეთოდი – მოკლედროიანი დაყვანის ჩატარება თვით ღუმელში, რომლის დროს ახორციელებენ გახურებას, განჯანგვას და ლეგირებას.

ფოლადის გამოდნობის ტექნოლოგია მჟავა ამონაგან ღუმელში

მჟავამონაგანი ელექტრორკალურ ღუმელებს იყენებენ საჩამოსხმო სააპქრობებში ფასონური სხმულების ფოლადის გამოსადნობად.

მჟავამონაგანი ელექტროღუმელების უპირატესობაა ფუქე ამონაგანი ღუმელთან შედარებით უფრო მაღალი მდგრადობა, ამონაგის დაბალი ღირებულება, (2,5-ჯერ ნაკლები), ნადნობის უფრო მოკლე დრო, ვინაიდან აღდგენითი პერიოდი საერთოდ არაა საჭირო, ელექტროენერჯის შედარებით მცირე ხარჯი მჟავა ამონაგის მცირე სითბოგამტარობის გამო.

მჟავამონაგანი ელექტრორკალური ღუმელის ძირითადი უარყოფითი მხარეა – გოგირდის და ფოსფორის მოცილების შეუძლებელობა.

ლითონური კაზმის შედგენა წარმოებს, ისე, რომ გადნობის შემდეგ აბზანაში ნახშირბადის შემცველობა 0,15-0,20%-ით აღემატებოდეს გამოსადნობ ფოლადში ნახშირბადის შემცველობას. ნახშირბადის კაზმში შემცველობის გაზრდის მიზნით ფოლადის ჯართთან ერთად შეაქეთ კოქსი, ელექტროდების ღეწი ან თუჯი. ვინაიდან გოგირდის და ფოსფორის მოცილება მჟავე ღუმელში შეუძლებელია, ამიტომ მათი შემცველობა კაზმში უნდა იყოს 0,01%-ით ნაკლები გამოსადნობ ფოლადში მათ შემცველობასთან შედარებით.

ლითონის ჯართის დაჯანგულობა დაუშვებელია, ვინაიდან FeO ხსნის ქვედის ამონაგის კაჟმიწას და არღვევს მას. ძირითადად საკაჟმე და სხ. მასალებისადმი მოთხოვნილებები პრაქტიკულად იგივე ხასიათისაა, რაც ფუქემონაგანი ღუმელების ტექნოლოგიაში.

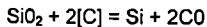
მჟავამონაგანი ღუმელში დნობის ხანგრძლივობა 50-70 წუთია და მიმდინარეობს ისეთივე რეჟიმით, როგორც ფუქემონაგანი ღუმელში. დნობის პერიოდში მიმდინარეობს სილიციუმის, მანგანუმის, რკინის, ნახშირბადის ამოწვა მათი ეანგეულების წარმოქმნით, ვინაიდან მათი რაოდენობა შედარებით ნაკლებია, ღუმელში შეაქეთ წინა ნადნობების წიდა, მშრალი სილა, საყალიბე მიწა და კირქვა, რათა დაიფაროს ღუმელი და შემცირდეს კაზმის შემადგენელი ელემენტების ნამწვი.

გადნობის მომენტისთვის წიდას აქვს შემდეგი შედგენილობა: %%-ში 40-40 SiO₂; 15-30 FeO; 10-30 MnO; 2-6 Al₂O₃; 5-15 დანარჩენი ჟანგეულები.

დაჯანგვის პერიოდის ამოცანებია:

– ლითონის დეგაზაცია მისი დუღილის და გახურების ხარჯზე; ამ პერიოდში უნდა დაიქანგოს ნახშირბადის 0,10-0,20%; მისი დაჯანგვა მიმდინარეობს FeO-ხარჯზე, აბაზანის დუღილი უზრუნველყოფილია დამატებითი დამაჯანგავების შეტანის გარეშე, ვინაიდან ლითონი გახურებულია საკმარისად. დუღილის ინტენსიურობას ზრდიან კირის და რკინის მადნის მცირე ულუფის შეტანით ღუმელში (0,2% არა უმეტესი ულუფით); ამ დროს ადგილი აქვს FeO-ს გამონათვისუფლებას და წიდას დამაჯანგავუნარიანობის გაზრდას.

ნახშირბადის ამოწვის კეალობაზე FeO-ს შემცველობა წიდაში კლებულობს, ხოლო SiO₂-ის რაოდენობა მატულობს და დაჯანგვის პერიოდის ბოლოს იგი შეადგენს 55-60%-ს. მაღალი ტემპერატურის პირობებში სილიციუმის აღდგენის ენდოთერმული რეაქციის ინტენსიურობა მატულობს:



სილიციუმის შემცველობამ ღუმელში შეიძლება მიაღწიოს 0,2-0,4%-ს, ფოლადის გამოდნობისას ფასონური სხმულებისთვის აღდგენითი პერიოდი საჭირო არ არის და ფოლადის განაჯანგვა წარმოებს ლექვითი მეთოდით. თუ სილიციუმის შემცველობა ფოლადში ნაკლებია საჭირო რაოდენობაზე, მაშინ ღუმელში 7-10 წუთით გამოშვებამდე შეაქეთ ფეროსილიციუმი. ფერომანგანუმი შეაქეთ ან ღუმელში (3-5 წუთით ადრე გამოშვებამდე) ან ციცხეში. ალუმინის მიწოდება საბოლოო განაჯანგვისთვის წარმოებს ციცხეში.

ღუმელის გამავალი აირების მოცილება და გაწმენდა

ნაღნობის მიმდინარეობის დროს ღუმელიდან გამოიყოფა დამტკერიანებული აირების დიდი რაოდენობა, რომელთა ტემპერატურა მერყეობს 900-1400°C, ხოლო მტერის შემცველობა ჟანგბადით აბაზანის გაქრევის დროს აღწევს 100გ/მ³ აირზე, 100ტ. ღუმელის შემთხვევაში ჟანგბადით გაქრევის პერიოდში აირების რაოდენობა აღწევს 9-10 ათას მ³/სთ-ში. ფოლადსაღნობ სამქროში ნორმალური სამუშაო პირობების შესაქმნელად აუცილებელია აირების დაჭერა და გაწმენდა.

ძველ საამქროებში მცირე ტეპადობის ღუმელებისათვის გამოყენება შემწოვი (გამწოვი) ქოლგები თაღზე. ისინი იკაებენ დიდ ადგილს და თანამედროვე

პირობებში ვერ ასრულებენ თავიანთ ფუნქციას. ბოლო წლებში გაეროცვლება კპოევს თაღში მოწყობილ ხერხელებში დამონტაჟებულმა აირსადენებმა აირების შემდგომი გაწმენდით. ფართო გაეროცვლება კპოეა სველმა აირგაწმენდის დანადგარებმა ეენტურის მიღების გამოყენებით.

საღუმელე აირების მოცილების სქემა ითვალისწინებს შემდეგი თანამიმდევრობის ოპერაციებს:

აირები თაღში მოთავსებული მილით მოხედებიან გამაციებელში – სკრუბერში. სკრუბერის წინ დაყენებულია სარეგულირებელი ღრეჩო, რომლის გავლით შეიწოება ჰაერი, რომელიც უზრუნველყოფს აირის საწვავი კომპონენტების ბოლომდე დაწვას. სკრუბერში აირი ცივდება წყლით, რომელსაც მიაწვდიან ფრქვევანებით წყალგაყვანილობიდან. ნამუშავარი წყალი გროედება ავზში. წყლის ხარჯის რეგულირება წარმოებს იმის მიხედვით, რომ უზრუნველყოფილი იყოს აირების გაციება 200°C-მდე, რომელსაც ზომავენ თერმოწყვილით, რომელიც დაყენებულია ვერტიკალურ აირსადენში. შემდეგ აირები მარეგულირებელი სახურავის გავლით ევამლსაწოეს მიეწოდება ეენტურის მიღების ბატარეის წყლის ფრქვევანებით, სადაც წარმოებს მტერის შთანთქმა წყლის წვეთებით. ციკლონური წვეთდამტერის გავლის შემდეგ აირების გამოშვება წარმოებს ატმოსფეროში გამომბოლქვევი შახტის მიერ.

თანამედროვე ფოლადსადნობ საამქროებს ელექტროღუმელებით ან ელექტროღუმელთ ათავსებენ პერმეტიულ კამერებში, რომლებიც აღჭურვილი არიან წიდის და ლითონის ურიკების გადასადგილებელი კარებებით. კამერა აღჭურვილია აირების გამოწოვის სისტემით, რაც არ დაუშვებს აირების საამქროში მოხედრის შესაძლებლობას. გარდა ამისა, კამერა საგრძნობლად ამცირებს ხმაურს, რომელიც გამოწვეულია ელექტროროკალებით.

ნადნობის პროცესის ავტომატური მართვა

რკალური ელექტროღუმელი წარმოადგენს მძლავრ სამფაზიან აგრეგატს შესაბამისი ძალური მოწყობილობით. მაღალტემპერატურული რკალები უზრუნველყოფენ კაზმის გადნობას და აბაზანის გახურებას საჭირო ტემპერატურამდე. თითოეული ნადნობი შეიძლება დაყოფილ იქნეს სამ ძირითად პერიოდად:

1. ღუმელში ჩატვირთული მყარი კაზმის გადნობა;
2. თხევადი აბაზანის დაჟანგვა (დუღილი);
3. აბაზანის განჟანგვა (აღდგენითი პერიოდი).

თითოეულ პერიოდში ვითარებიან სხვადასხვა ხასიათის ქიმიურ-ფიზიკური პროცესები, რომლებიც განსაზღვრავენ ავტომატური მართვის სხვადასხვა სისტემებს და მათ ამოცანებს.

რკალურ ელექტროლუმელში ნადნობის პროცესზე სამართავე ზემოქმედებებს წარმოადგენენ:

- ელექტრული სიმძლავრე;
- მკვებავი დენის ძაბვა (რკალის სიგრძე);
- კაზმის შედგენილობა, დამატებების ხარისხი და შედგენილობა;
- ჟანგბადის ხარჯი ლითონის გაქრევაზე;
- აბაზანის ელექტრომაგნიტური შერევა.

შემაწვოთებელი ზემოქმედებები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

- ა. ელექტრული რეჟიმის შემწვოთებები;
- ბ. ტექნოლოგიური და თბოტექნიკური შემწვოთებები.

ელექტრორეჟიმის შემწვოთებები წარმოიქმნებიან კაზმის ჩამოწოლებისაგან დნობის პერიოდში, ლითონის დუღილისგან, ელექტროდების დაწვის შედეგად, ლითონის დონის ამაღლებით დნობის პერიოდში, რკალური შუალედის წინააღობის რხევისგან, რაც გამოწვეულია ტემპერატურული პირობების ცვალებადობით რკალური განმუხტვის ზონაში. ტექნოლოგიური და თბოტექნიკური შემწვოთებები გამოწვეულია კაზმის შედგენილობის არასტაბილურობით, აბაზანაში ფიზიკო-ქიმიური რაექციების მსვლელობის არასტაციონალურობით, დამატებების შეტანით, ამოგების გაცვეთით და აირების შეწოვით და გამობოლქვით ღუმელიდან.

რკალურ ელექტროლუმელში ნადნობის ავტომატური მართვის ძირითადი ამოცანებია:

1. ტექნოლოგიური პროცესის მსვლელობის ცენტრალიზებული კონტროლი მოცემული პარამეტრებიდან გადახრების რეგისტრირებით და სიგნალიზირებით;
2. მეტალურგიული პროცესის მართვა;
 - კაზმის ოპტიმალური შედგენილობის ანგარიში მოცემული გეგმიური დავალებებისა და საწვავ ნედლეული მასალების არსებობის მიხედვით;
 - ღუმელში ჩატვირთვის მართვა კაზმის საანგარიში შედგენილობის მიხედვით;
 - ჟანგბადის, მალევირებელი და წიდაწარმოქმნელი დამატებების ანგარიში, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოცემული შედგენილობის ლითონის მიღებას და მასალების ეკონომიას;

– ტექნოლოგიური პერიოდების დამთავრების პროგნოზირება მოცემული ტემპერატურის და ლითონის ქიმიური შედგენილობის მიღების უზრუნველყოფა.

3. ენერგეტიკული რეჟიმის მართვა, რომელიც უზრუნველყოფს:

– ელექტროენერჯის მიწოდებას ღუმელის სითბური მდგომარეობის და იმ სითბური ენერჯის გათვალისწინებით, რომელიც ღუმელში შეაქვთ სხვა წყაროებს;

– ღუმელის სიმძლავრის მაქსიმალურ გამოყენებას;

– ელექტროენერჯის მინიმალურ კუთხ ხარჯებს;

– ელექტრული და ღუმელის რკალური მოწყობილობის ნორმალურ ექსპლუატაციას.

4. დამხმარე ოპერაციების მართვა (სინჯების აღება, ლითონის ტემპერატურის გაზომვა და სხ.)

5. ინფორმაციის შეკრება და დამუშავება საჭირო დოკუმენტაციის გაცემით, მათ შორის საკაზმე მასალების ხარჯის რეგისტრაცია და აღრიცხვა, ელექტროენერჯის და სხვა ენერგომატარებლების დაფიქსირება ნაღნობის პასპორტის შედგენით.

6. მოწყობილობების მუშაობის კონტროლი უწყისიერობების და გაუთვალისწინებელი გაჩერებების რეგისტრაციით და სიგნალიზაციით.

ელექტრორკალურ ღუმელში გათვალისწინებული ავტომატური კონტროლის და მართვის მოცულობამ უნდა უზრუნველყოს საჭირო სიზუსტით მოცემული ტექნოლოგიური რეჟიმის და პარამეტრების დაჭერა და აგრეგატის ექსპლუატაციის უსაფრთხოება.

ახალი და რეკონსტრუირებული ღუმელების ავტომატიზაციის რაციონალური მოცულობა განისაზღვრება სხვადასხვა ფოლადის მარკების გამოღნობის პროცესების მართვის ტექნოლოგიური მოთხოვნილებების გათვალისწინებით, ელექტროფოლადნაღნობი წარმოების განვითარებით ტრანსფორმატორების კუთრი სიმძლავრის ამადლების მიმართულებით, საზღვარგარეთის მოწინავე გამოცდილების მონაცემების გამოყენებით ელექტრონაღნობის პროცესების ავტომატიზაციის დარგში.

ელექტრორკალური ღუმელი თანამედროვე პირობებში აღჭურვილი უნდა იყოს სწრაფადმოქმედი სიმძლავრის რეგულატორებით, რომლებსაც აქვს მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები და საიმედოობა. ავტომატურმა რეგულიატორმა უნდა დაიჭიროს დენის ძალასა და რკალის ძაბვას შორის

- ელექტროლუმების მწარმოებლურობის გაზრდა 3-5%-ით ელექტროენერჯის ხარჯის შემცირება 2-4%-ით, ამონაგის მდგრადობის გაზრდა 5-8%-ით;
- ლითონის კაზმის, ფეროშენადნობების და წიდაწარმოქმნელი მასალების ხარჯის შემცირება 1-2%-ით მათი რაციონალური გამოყენებით;
- გამოდნობილი ლითონის თვითღირებულების შემცირება არანაკლები 1,5%-ით.

**ტპ ამს დონეცკის მეტალურგიული ქარხნის
ელექტროფოლადსადნობ საამქროში**

დმქ 100ტ რკალურლუმელს აქვს ტპ ამს ორდონიანი სტრუქტურა. ამ სისტემის ზემო დონე წარმოდგენილია სპეციალიზირებული “YBK” –ით ობიექტთან კავშირის მოწყობილობების დამატებითი მოდულებით ანალოგიური და დისკრეტული სიგნალების მიღება-გაცემისთვის. ქვედა დონე წარმოდგენილია ამს-ის ლოკალური კომპლექსით ლითონის კაზმის წონისთვის 1, ფხვიერი მასალების დოზირებით 2, და გასაწყობი მასალების დოზირებით 3, საკაზმე მასალების მომზადებისა და ჩათვირთვისათვის 4, ელექტრორეჟიმით 5, აბაზანის ჯანგაბადით გაქრევის მოწყობილობით 6. ელექტროდის მდებარეობის განსაზღვრის სისტემით 7, ქიმიური ანალიზის შედეგების გადაცემით 8, ნადნობის ხანგრძლივობის გაზომვით 9. გარდა ამისა, ქვედა დონეზე უზრუნველყოფილია ტექნოლოგიური ინფორმაციის ფორმირება ლუმელის საკონტროლო საზომი ხესლაწყობებით და პოზიციური მოწყობილობით. ამს-ის ყველა ლოკალური კვანძი უზრუნველყოფენ ობიექტის მართვას ავტონომიურ და კომბინირებულ რეჟიმში. “YBK” – სთან ინფორმაციის გაცვლა წარმოებს კოდირებული სიგნალით.

კაზმის სახეობისა და მასის შესახებ ინფორმაცია შემოდის **ЭВМ**-ელექტროგამოთვლით მანქანაში – YBK-ში და შეინახება მანქანის მახსოვრობაში, რომელიც გამოითვლის კაზმის ძირითად კომპონენტრებს.

ლითონის კაზმით (მისი სახეობების და მასის მიხედვით) კარხნის (კალათის) ჩათვირთვაზე დავალება შეაქეთ ამს-ში ოსტატებს პულტიდან ან YBK – დან. კალათაში კაზმის ყველა კომპონენტის ჩატვირთვის შემდეგ **ЭВМ YBK**-ით შეტყობინება ეძლევა ოსტატს კალათის მზადყოფნის შესახებ. შემდეგ ურიკა კალათით მიეწოდება სადუმელე განყოფილებაში ლუმელში ჩასატვირთად.

ЭВМ YBK-ში ინახება ყველა გამოსადნობი ფოლადის მარკის პროგრამა. ნადნობის დაწყების წინ **BM** პოულობს მონაცემების ბაზაში შერჩეული მარკის ფოლადის შესახებ და გასცემს მისი გამოდნობის საერთო პროგრამას.

ЭБМ გამოითვლის კაზმის გადნობისათვის საჭირო ელექტროენერჯის რაოდენობას, ეგზოთერმიული რეაქციების და ჟანგბადის გაქრევის გათვალისწინებით. **BM** გამოითვლის აგრეთვე ელექტრულ დანაკარგებს და გასაცემს ენერგეტიკული რეჟიმის ოპტიმალურ პარამეტრებს. ამით იწყება კაზმის დნობის პროცესი. ელექტროდენების მდებარეობის გამზომი სისტემა განსაზღვრავს დნობის პერიოდის ტექნოლოგიური ინტერვალების დაწყების მომენტებს და ამ ინფორმაციას გადასცემს **ЭБМ**-ში, რომელიც ელექტრორეჟიმის ამს მეშვეობით ცვლის საღუმელე ტრანსფორმატორის საფეხურს და ადგენს რკალის დენის ოპტიმალურ სიდიდეს.

თუ ღუმელის ამონაგის ტემპერატურა მიაღწევს მნიშვნელობას, რომელიც გაელენას ახდენს ცვეთაზე, მაშინ ელექტრო რეჟიმის (ერ) ამს (მართვის ავტომატური სისტემა) ღუმელის ტრანსფორმატორს გადართავს ძაბვის ახლო მდებარე ქვედა საფეხურზე. **ЭБМ YBK** გაქრევის დაწყების წინ გადასცემს დაეალებას ამს-ას გაქრევის რეჟიმის შესახებ. ამს ახორციელებს ჟანგბადის საქშენის გადაადგილებას დააყენებს რამ მას მოცემულ პოზიციაში და განსაზღვრავს ღუმელში მიწოდებული ჟანგბადის რაოდენობას და გარკვეული რაოდენობის შემდეგ წყვეტს O_2 -ს მიწოდებას და საქშენს ზევით ასწევს.

ექსპრეს-ლაბორატორია შეერთებული ქიმიური ანალიზის შედეგების გადაცემის სისტემასთან. **ЭБМ YBK** იძლევა კომანდას სინჯის აღებისთვის. ექსპრეს-ლაბორატორიაში მოხვედრილ სინჯს დაამუშაებენ და მოათავსებენ კვანტომეტრში, სადაც 40—60 წამის განმავლობაში მოცემული პროგრამის მიხედვით განსაზღვრავენ ქიმიურ შედგენილობას. ამ ანალიზის შედეგების მიხედვით გამოითვლიან რა რაოდენობის მალეგირებელი, წიდაწარმოქმნელი და სხ. მასალებია საჭირო ღუმელში ან ციციხეში შეტანისათვის. ამასთან **ЭБМ** ითვალისწინებს ხეიმირებში შენახული მალასების რაოდენობას, ღირებულებას და იორრეეს მასალების გამოყენების ოპტიმალურ ვარიანტს.

მას ფხენილოვანი მასალების და ფეროშენადნობების დოზირებისთვის კომანდას იძლევა ვიბრომკვებავების ჩართვის შესახებ განსაზღვრული ხეიმირის ქვეშ, საიდანაც აღებულ უნდა იქნეს შესაბამისი მასალა. მასალების სრული დოზის აღების შემდეგ მკვებავებს გამორთავენ. სამართავ პულტში ინიციირებას განიცდის თითოეული მასალის რიცხობრივ ტაბლოზე. ხეიმირიდან გამოცემისას მათი მასა რეგისტრირდება და გადაეცემა **ЭБМ**-ს.

ЭБМ-ში ინახება ფოლადის თითოეული მარკისთვის ლითონის ტემპერატურის ცვლილების ოპტიმალური კანონი. **YBK** პერიოდულად ახსენებს მეფოლადეს შეასრულოს ლოთონის ტემპერატურის გაზომვა. ტემპერატურის გაზომილი

სიდიდე გადაცემა **3BM**-ში და აღარებენ ფაქტიურ და მოცემულ მონაცემებს. მათი სხვაობის მიხედვით გამოითვლიან ელექტრონურების საჭირო რაოდენობას. ამს ერ (მართვის ავტომატური სისტემის ელექტრონუროეში) აღგენს ახალ რეჟიმს იმ ანგარიშით, რომ შემდეგი გაზომვისას ტემპერატურა უნდა დაემთხვეს ლითონის მოცემულ ტემპერატურას.

იღებს რა უწყვეტად ინფორმაციას სითბური დანაკარგების შესახებ ქსელის ძაბვის, ქვედის და ამონგის ტემპერატურაზე, **3BM YBK** გამოითვლის ელექტრო და სითბურ რეჟიმებს, რომლებიც შეესაბამებიან მინიმალურ კუთრ ხარჯებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ მინიმალურ თვითღირებულებას ერთ ტონა წარმოებულ ლითონზე.

8. ტექნიკური პირობები და სახელმწიფოთაშორისო სტანდარტები შავ ლითონებზე

8.1. ჩვეულებრივი ხარისხის ნახშირბადოვანი ფოლადი (გოსტი 380-94-ის მიხედვით)

დანიშნულების მიხედვით ფოლადი იყოფა სამ ჯგუფად:

A – რომელსაც მიაწოდებენ მექანიკური თვისებების მიხედვით;

B – რომელსაც მიაწოდებენ ქიმიური შედგენილობის მიხედვით;

B – რომელსაც მიაწოდებენ მექანიკური თვისებებისა და ქიმიური შედგენილობის მიხედვით.

ნორმირებული მაჩვენებლებისგან დამოკიდებულებით თითოეული ჯგუფის ფოლადს კატეგორიებად ყოფენ:

A ჯგუფის – 1, 2, 3;

B ჯგუფის – 1, 2;

B ჯგუფის – 1, 2, 3, 4, 5, 6.

ამზადებენ შემდეგი მარკის ფოლადებს:

A ჯგუფის – C10, C11, C12, C13, C15, C16;

B ჯგუფის – BC10, BC11, BC12, BC13, BC14, BC15, BC16;

B ჯგუფის – BC11, BC12, BC13, BC14, BC15.

ყველა ჯგუფის 1, 2, 3 და 4 ნომრიანი მარკის ფოლადებს განუანგვის ხარისხია მიხედვით ამზადებენ მღულარე, ნახევრადმშეიდი და მშეიდი მდგომარეობით.

1-5 ნომრის მარკების ნახევრადმშეიდ ფოლადს აწარმოებენ მანგანუმის ჩვეულებრივი და გაზრდილი შემცველობით.

BC_T0 და BC_T0 მარკების ფოლადებს განუანგვის ხარისხის მიხედვით არ ყოფენ.

BBC_T1, BC_T2, და BC_T3 ფოლადების ყველა კატეგორიებს და განუანგვის ყველანაირი ხარისხით, მათ შორის მანგანუმის გაზრდილი მნიშვნელობით და BC_T1, BC_T2, BC_T3 მეორე კატეგორიის განუანგვის უველა ხარისხის ფოლადებს, მათ შორის მანგანუმის გაზრდილი შემცველობით, მიაწოდებენ შედუღებადობის გარანტიით.

ქიმიური შედგენილობის ცხრილი გოსტ 380-94 მიხედვით

ცხრილი 29

ფოლადის მარკა	ქიმიური შედგენილობა, %-ში							
	C	Mn	Si	P	S	C _z	N _i	Cu
BC _T 0	0,23 max	—	—	0,07	0,06	—	—	—
BC _T 1kn	0,06-0,12	0,25-0,50	0,05 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 1cn	0,06-0,12	0,25-0,50	0,12-0,30	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 1nc	0,06-0,12	0,7-1,1	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 2kn	0,09-0,15	0,25-0,50	0,07 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 2nc	0,09-0,15	0,25-0,50	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 2c n	0,09-0,15	0,25-0,50	0,12-0,30	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 2Гcn	0,09-0,15	0,7-1,1	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 3k n	0,14-0,22	0,3-0,6	0,07 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 3 nc	0,14-0,22	0,4-0,65	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 3cn	0,14-0,22	0,4-0,65	0,12-0,30	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 3Гnc	0,14-0,22	0,8-1,1	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 4kn	0,18-0,27	0,4-0,7	0,07 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 4 nc	0,18-0,27	0,4-0,7	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 4cn	0,18-0,27	0,4-0,7	0,12-0,30	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 4Гnc	0,18-0,27	0,8-1,2	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 5nc	0,28-0,37	0,5-0,8	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 5cn	0,28-37	0,5-0,8	0,15-0,35	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 5Гnc	0,28-0,37	0,22-1,2	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 6nc	0,38-0,49	0,5-0,8	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
BC _T 6cn	0,38-0,49	0,5-0,8	0,15-0,35	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3

შენიშვნა:

1. დარიშხანის და ფოსფორის შემცველობა ფოლადში არ უნდა აღემატებოდეს 0,08 და 0,008%-ს შესაბამისად.
2. ალუმინით, ტიტანით ან სხვა კაემიწის არშემცველი განმჟანგავით ფოლადის განუანგვისას ნახევრადშეიდ ფოლადში დასაშვებია 0,05%-ზე ნაკლები სილიციუმის შემცველობა.

**82 A 500 C და B 500 C კლასების პერიოდული პროფილის
შედულებადი არმატურული ნაგლინი რკინაბეტონის
კონსტრუქციების არმირებისთვის
(გოსტ P 52544-2006-ის მიხედვით)**

წინამდებარე სტანდარტი ვრცელდება A500C და 500C კლასების შედულებად არმატურულ ნაგლინზე რკინაბეტონის კონსტრუქციების არმირებისთვის.

არმატურულ ნაგლინს ყოფენ:

– წარმოების მეთოდის მიხედვით კლასებად:

A500C – ციემდგომარეობაში მექანიკურად განმტკიცებული (ცივადღეფორმირებული).

A500C – ცხლადგლინული შემდგომი დამუშავების გარეშე ან თერმომექანიკურად განმტკიცებული გლინის ნაკადში;

– პროდუქციის სახეობის მიხედვით: წნელები, გორგალები, კლასის აღნიშვნაში ასოები და რიცხვები ნიშნავს:

A – ცხლადგლინულს ან თერმომექანიკურად განმტკიცებულ საარმატურე ნაგლინს

B – ცივადღეფორმირებულ საარმატურე ნაგლინს

C – შედულებადს

500 – არა ნაკლებ 500 ნ/მ² სიმტკიცის ზღვარს

ნომინალური დიამეტრი, ძმ. მმ	განივი კვეთის ნომინალური ფართი F6 მმ ²	1მ ნაგლინის ნომინალური მასა
4,0	12,6	0,099
5,0	19,6	0,154
6,0	28,3	0,222
8,0	50,3	0,395
10,0	78,3	0,616
12,0	118,1	0,888
14,0	153,9	1,208
16,0	201,1	1,578
18,0	254,5	1,998
20,0	314,2	2,466
22,0	380,1	2,984
25,0	490,9	3,853
28,0	615,8	4,834
32,0	804,2	6,313
36,0	1017,9	7,990
40,0	1256,6	9,865

შენიშვნები:

1. მომხმარებლის მოთხოვნებების მიხედვით ამზადებენ 4,5; 5,5; 6,5; 7; 7,5; 8,5; 9; 9,5; 45; 50მმ ნომინალური დიამეტრის არმატურულ ნაგლინს.
2. 1 მ სიგრძის ნაგლინის ნომინალურ მასას განსაზღვრავენ 7,85 გ/სმ³-ზე ფოლადის სიმკვრივის გათვალისწინებით.

არმატურულ ნაგლინს ამზადებენ ნომინალური დიამეტრით:

6 მმ-მდე – გორგალების სახით;

6 დან 12 მმ-მდე – გორგალების ან წნელების სახით;

14 მმ და ზევით – წნელების სახით.

წნელებს ამზადებენ 6 დან 12 მ-მდე ზომედად სიგრძით.

არაზომეადი სიგრძით 6 დან 3 მ-მდე არა უმეტესი 7%-სა პარტიის მასიდან. ზომეადი სიგრძის ზღვრული გადახრები დასაშვებია + 100 მმ-ით. წნელების სიმრუდე არ უნდა აღემატებოდეს გაზომილი სიგრძის 0,6 %-ს.

არმატურული ნაგლინის პირობითი აღნიშვნის მაგალითი:

არმატურული ნაგლინი წნელების სახით 12 მმ ნომინალური დიამეტრით A500C კლასის ზომეადი სიგრძით 11700 მმ აღინიშნება შემდეგნაირად:

“წნელი 12 X 11700 – A500C ГОСТ P 52544-2006”.

არმატურული ნაგლინის თვისებები უნდა შეესაბამებოდნენ შემდეგ ცხრილში მოცემულ ნორმებს

მახასიათებლის (მანქანების) დასახელება	მანქანების მნიშვნელობა	
	A500C	B500C
დიამეტრი	6-40	4-12
დასაშვები გადახრები განივი ჭრილის ფართობისა და 18 სიგრძის ნომინალური მნიშვნელობიდან, %		
5.5 მმ-მდე დიამეტრით	-	±4,5
5.5 –დან 8,0 მმ-მდე	±5,0	±4,5
8.5 დან 14 მმ-მდე დიამეტრით	±8,0	±4,5
16,0-დან 40 მმ-მდე	±4,0	±4,5
დენადობის ზღვარი ნ ₁ (ნ ₂) ¹ , ნ/მმ ² არა ნაკლები	500	500
დროებითი (სიმტკიცის) ზღვარი ნ ₁ ² , ნ/მმ ² არა ნაკლები	600	550
შეფარდებითი წაგრძელება, ბ _კ , % არა ნაკლები	14,0	-

დენადობის ზღვარის და სიმტკიცის სტატისტიკური მანქანებლები უნდა იყოს არანაკლები 0,95.

არმატურულმა ნაგლინმა უნდა დაიჭიროს ერთ-ერთი შემდეგი გამოცდა

- ერთჯერადი გლუნვა ციე მდგომარეობაში 180⁰-იან კუთხით სამართულზე, რომლის დიამეტრიც უნდა იყოს 3 ძმ-ის ტოლი.

- გალუნვაზე 90⁰-მდე კუთხით და შემდგომი გასწორებით 20⁰ არანაკლები კუთხით.

ამ გამოცდისას სამართულის დიამეტრიც უნდა იყოს შემდეგი:

არმატურული ნაგლინის ნომინალური დიამეტრი, მმ

სამართულის დიამეტრი გალუნვაზე

12 მმ-მდე	5 ძმ
12დან-16 მმ-მდე	6 ძმ
16დან-25 მმ-მდე	8 ძმ
25დან-50 მმ-მდე	10 ძმ

ფოლადის ქიმიური შედგენილობა და ნახშირბადის, ექვივალენტის მნიშვნელობანი შეესაბამებოდნენ შემდეგი ცხრილის მონაცემებს:

ცხრილი 32

ანალიზის სახეობა	ელემენტის მასური ხვედრი, % არა უმეტეს							ნახშირბადის ექვივალენტი
	C	Si	Mn	P	S	აზოტი	Cu	
ციხისის სრულიდან	0,22	0,90	1,60	0,05	0,050	0,012	0,55	0,50
შპა ნაგლინიდან	0,24	0,95	1,70	0,055	0,055	0,013	0,55	0,52

8.3 მცირე დღეობის და ლეგირებული მანქანათმშენებელი
ფოლადი (გოსტ 4543-ის მიხედვით)

ცხრილი 33

ფოლადის ჯგუფი	ფოლადის მარკა	ელემენტების შემცველობა									
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V	
ქრომოვანი	15X	0.12- 0.18	0.17- 0.37	0.40- 0.70	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	
	15XA	0.12- 0.17	0.17- 0.37	0.40- 0.70	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	
	20X	0.17- 0.23	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	
	30X	0.24- 0.32	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	30XPA	0.27- 0.33	0.17- 0.37	0.50- 0.80	1.00- 1.30	-	-	-	-	-	
	35X	0.31- 0.39	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	38XA	0.35- 0.42	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	40X	0.36- 0.44	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	45X	0.41- 0.49	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	50X	0.46- 0.54	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	-	-	-	-	-	
	მანგანუმიანი	15Г	0.12- 0.19	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-
		20Г	0.17- 0.24	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-
		25Г	0.22- 0.30	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-
		30Г	0.27- 0.35	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-
35 Г		0.32- 0.40	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-	
40 Г		0.37- 0.45	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-	
45 Г		0.42- 0.50	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-	
50 Г		0.48- 0.56	0.17- 0.37	0.70- 1.00	-	-	-	-	-	-	
10 Г2		0.07- 0.15	0.17- 0.37	1.20- 1.60	-	-	-	-	-	-	
30 Г2		0.26- 0.35	0.17- 0.37	1.40- 1.80	-	-	-	-	-	-	
35 Г2		0.31- 0.39	0.17- 0.37	1.40- 1.80	-	-	-	-	-	-	
40 Г2		0.36- 0.44	0.17- 0.37	1.40- 1.80	-	-	-	-	-	-	
45 Г2		0.41- 0.49	0.17- 0.37	1.40- 1.80	-	-	-	-	-	-	
50 Г2		0.46- 0.55	0.17- 0.37	1.40- 1.80	-	-	-	-	-	-	
ქრომმანგანუმიანი		18X Г	0.15- 0.21	0.17- 0.37	0.90- 1.20	0.90- 1.20	-	-	-	-	-
		35X Г2	0.32- 0.40	0.17- 0.37	1.60- 1.90	0.40- 0.70	-	-	-	-	-
	18X ГТ	0.17- 0.23	0.17- 0.37	0.80- 1.10	1.00- 1.30	-	-	-	0.03 0.09	-	

ფოლადის ჯგუფი	ფოლადის მარკა	ელემენტების შემცველობა,%								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V
ქრომმანგანუმისანი	20XГP	0,18-0,24	0,17-0,37	0,70-1,00	0,75-1,05	-	-	-	-	-
	27XГP	0,25-0,31	0,17-0,37	0,70-1,00	0,70-1,00	-	-	-	-	-
	25XГT	0,22-0,29	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,30	-	-	-	0,03-0,09	-
	30XГT	0,24-0,32	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,30	-	-	-	0,03-0,09	-
	40XГTP	0,38-0,45	0,17-0,37	0,80-1,00	0,80-1,10	-	-	-	0,03-0,09	-
	35XГФ	0,31-0,38	0,17-0,37	0,95-1,25	1,10-1,30	-	-	-	-	-
	25XГM	0,23-0,29	0,17-0,37	0,90-1,20	0,90-1,20	-	0,20-0,30	-	-	-
ქრომოვან-სილიციუმისანი	33XC	0,29-0,37	1,00-1,40	0,30-0,60	1,30-1,60	-	-	-	-	-
	38XC	0,34-0,42	1,00-1,40	0,30-0,60	1,30-1,60	-	-	-	-	-
	40XC	0,37-0,45	1,20-1,60	0,30-0,60	1,30-1,60	-	-	-	-	-
ქრომმოლიბდენური და ქრომმოლიბდენ ვანადიუმისანი	15XM	0,11-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,40-0,55	-	-	-
	20XM	0,15-0,25	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,15-0,25	-	-	-
	30XM	0,26-0,34	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,15-0,25	-	-	-
ქრომმოლიბდენისანი და ქრომმოლიბდენ ვანადიუმისანი	30XMA	0,26-0,33	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,15-0,25	-	-	-
	35XM	0,32-0,40	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,15-0,25	-	-	-
	38XM	0,35-0,42	0,17-0,37	0,35-0,65	0,90-1,30	-	0,20-0,30	-	-	-
	30X3MФ	0,27-0,34	0,17-0,37	0,30-0,60	2,30-2,70	-	0,20-0,30	-	-	0,06-0,12
	40XMΦA	0,37-0,44	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	0,20-0,30	-	-	0,10-0,18
ქრომივანადიუმისანი	15XФ	0,12-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	-	-	-	-	0,06-0,12
	40XΦA	0,37-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	-	-	-	-	0,10-0,18
ნიკელ-მოლიბდენისანი	15H2M (15HM)	0,10-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	-	1,50-1,90	0,20-0,30	-	-	-
	20H2M (20HM)	0,17-0,25	0,17-0,37	0,40-0,70	-	1,50-1,90	0,20-0,30	-	-	-
ქრომნიკელისანი და ქრომნიკელისანი ბორით	20XH	0,17-0,23	0,17-0,37	0,40-0,70	0,45-0,75	1,00-1,40	-	-	-	-
	40XH	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,45-0,75	1,00-1,40	-	-	-	-

ფოლადის ჯგუფი	ფოლადის მარკა	ელემენტების შემცველობა								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V
ქრომნიკელიანი და ქრომნიკელიანი ბორით	45XH	0.41- 0.49	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.45- 0.75	1.00- 1.40	-	-	-	-
	50XH	0.46- 0.54	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.45- 0.75	1.00- 1.40	-	-	-	-
	20XHP	0.16- 0.23	0.17- 0.37	0.60- 0.90	0.70- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-
	12XH2	0.09- 0.16	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	1.50- 1.90	-	-	-	-
	12XH3A	0.09- 0.16	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	2.75- 3.15	-	-	-	-
	20XH3A	0.17- 0.24	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	2.75- 3.15	-	-	-	-
	30XH3A	0.27- 0.33	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	2.75- 3.15	-	-	-	-
	12X2H4A	0.09- 0.15	0.17- 0.37	0.30- 0.60	1.25- 1.65	3.25- 3.65	-	-	-	-
	20X2H4A	0.16- 0.22	0.17- 0.37	0.30- 0.60	1.25- 1.65	3.25- 3.65	-	-	-	-
	ქრომნიკელ მანგანუმიანი და ქრომნიკელმანგანუმიანი ნიკელიანი	20XГСА	0.17- 0.23	0.90- 1.20	0.80- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-
25XГСА		0.22- 0.28	0.90- 1.20	0.80- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-	-
30XГC		0.28- 0.35	0.90- 1.20	0.80- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-	-
ქრომნიკელმანგანუმიანი და ქრომსილიციუმმანგანუმ ნიკელიანი	30XГСА	0.28- 0.34	0.90- 1.20	0.80- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-	-
	35XГСА	0.32- 0.39	1.10- 1.40	0.80- 1.10	1.10- 1.40	-	-	-	-	-
	30XГСН2А (30XГСНА)	0.27- 0.34	0.90- 1.20	1.00- 1.30	0.90- 1.20	1.40- 1.80	-	-	-	-
ქრომმანგანუმიანი ნიკელიანი ტიტანიით და ბორით	15XГН2ТА (15XГН2ТА)	0.13- 0.18	0.17- 0.37	0.70- 1.00	0.70- 1.00	1.40- 1.80	-	0.03- 0.09	-	-
	20XГНР	0.16- 0.23	0.17- 0.37	0.70- 1.00	0.70- 1.10	0.80- 1.10	-	-	-	-
	20XГНТР	0.18- 0.24	0.17- 0.37	0.80- 1.10	0.40- 0.70	0.40- 0.70	-	0.03- 0.09	-	-
	38XГН	0.35- 0.43	0.17- 0.37	0.80- 1.10	0.50- 0.80	0.70- 1.00	-	-	-	-
	14X2H3MA 20XH2M	0.12- 0.17	0.17- 0.37	0.30- 0.60	1.50- 1.75	2.75- 3.15	0.20- 0.30	-	-	-
ქრომნიკელმოლიბდენიანი	(20XHМ)	0.15- 0.22	0.17- 0.37	0.40- 0.70	0.40- 0.60	1.60- 2.00	0.20- 0.30	-	-	-
	30XH2MA (30XHMA)	0.27- 0.34	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	1.25- 1.65	0.20- 0.30	-	-	-
	38X2H2MA (38XHMA)	0.33- 0.40	0.17- 0.37	0.20- 0.50	1.30- 1.70	1.30- 1.70	0.20- 0.30	-	-	-
	40XH2MA (40XHMA)	0.37- 0.44	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.60- 0.90	1.25- 1.65	0.15- 0.25	-	-	-

ფოლადის ჯგუფი	ფოლადის მარკა	ელემენტების შემცველობა								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V
ქრომნიკელ მოლიბდენიანი	40X2H2MA (40X1HBA)	0.35 0.42	0.17- 0.37	0.30- 0.60	1.25- 1.65	1.35- 1.75	0.20- 0.30	-	-	-
	38XH3MA	0.33- 0.40	0.17- 0.37	0.25- 0.50	0.80- 1.20	2.75- 3.25	0.20- 0.30	-	-	-
	18X2H4MA (18X2H4BA)	0.14- 0.20	0.17- 0.37	0.25- 0.55	1.35- 1.65	4.00- 4.40	0.30- 0.40	-	-	-
	25X2H4MA (25X2H4BA)	0.21- 0.28	0.17- 0.37	0.25- 0.55	1.35- 1.65	4.00- 4.40	0.30- 0.40	-	-	-
ქრომნიკელ მოლიბდენიანი და ქრომნიკელ ვანადიუმიანი	30XH2MΦA (30XH2BΦA)	0.27- 0.34	0.17- 0.37	0.30- 0.60	0.60- 0.90	2.00- 20.40	0.20- 0.30	-	-	0.10- 0.18
	36X2H2MΦA (36XH3MΦA)	0.33- 0.40	0.17- 0.37	0.25- 0.50	1.30- 1.70	1.30- 1.70	0.30- 0.40	-	-	0.10- 0.18
	38 XH3MΦA	0.33 0.40	0.17- 0.37	0.25- 0.50	1.20- 1.50	3.00- 3.50	0.34- 0.45	-	-	0.10- 0.18
	45XH2MΦA (45XHΦA)	0.42- 0.50	0.17- 0.37	0.50- 0.80	0.80- 1.10	1.30- 1.80	0.20- 0.30	-	-	0.10- 0.18
	20XH4ΦA	0.17- 0.24	0.17- 0.37	0.25- 0.55	0.70- 1.10	3.75- 4.15	-	-	-	0.10- 0.18
ქრომალუმინიანი ქრომალუმინიამი მოლიბდენით	38X2IO (38XIO)	0.35- 0.43	0.20- 0.40	0.20- 0.50	1.50- 1.80	-	-	0.50- 0.80	-	-
	38X2MIOA (38XMIOA)	0.35- 0.42	0.20- 0.45	0.30- 0.60	1.35- 1.65	-	0.15- 0.25	0.70- 1.10	-	-

შენიშვნა: ფოსფორის, გოგირდის, ნარჩენი სპილენძის, ნიკელის და ქრომის შემცველობა ყველა ზეგით ჩამოთვლილ მარკებში არ უნდა აღემატებოდეს შემდეგ ცხრილში მოყვანილ ნორმებს:

ცხრილი 34

ფოლადის კატეგორია	ელემენტების შემცველობა, % არა უმეტესი				
	P	C	Cu	Ni	Cr
ხარისხოვანი	0.035	0.035	0.30	0.30	0.30
მაღალხარისხოვანი	0.025	0.025	0.30	0.30	0.30
განსაკუთრებული მაღალ- ხარისხოვანი	0.025	0.015	0.30	0.30	0.30

8.4 სორტული ნაგლისის ძირითადი სახესხვაობები

1. ცხლადგლინული მრგვალი ფოლადი სორტამენტი (გოსტ 2590-88-ის მიხედვით)

ცხრილი 35

დიამეტრი, მმ	დასაშვები გადახრები დიამეტრის მიხედვით, მმ		ბანევიკვითის შართობი, სმ ²	ერთი მატრის თეორიული წონა, კგ
	გლინის ჩვეულებრივი სიზუსტის დროს	გლინის მაღალი სიზუსტის დროს		
1	2	3	4	5
5			0.1963	0.154
5.6			0.2463	0.193
6	+0.1	+0.1	0.2827	0.222
6.3	-0.2	-0.5	0.3117	0.245
6.5			0.3318	0.260
7			0.3848	0.302
8			0.5027	0.395
9			0.6359	0.499
10			0.7854	0.617
11			0.9503	0.746
12			1.131	0.888
13			1.327	1.04
14	+0.1	+0.3	1.539	1.21
15	-0.3	-0.5	1.767	1.39
16			2.011	1.58
17			2.270	1.78
18			2.545	2.00
19			2.835	2.23
20	+0.1	+0.2	3.142	2.47
21	-0.4	-0.5	4.464	2.72
22	+0.1	+0.1	3.801	2.98
24	-0.5	-0.5	4.524	3.55
25			4.909	3.85
26			5.309	4.17
28			6.158	4.83
30			7.069	5.55
32			8.042	6.31
34	+0.1	+0.8	9.079	7.13
36	-0.4	-0.7	10.18	7.99
38			11.34	8.90
40			12.57	9.87
42			13.85	10.87
45			15.90	12.48
48			18.10	14.21
50			19.64	15.42
53	+0.1	+0.2	22.06	17.32
56	-0.7	-0.7	24.63	19.33
60			28.27	22.19
63	+0.1	+0.3	31.17	24.47
65	-1.1	-1.0	33.18	26.05
70			38.48	30.21
75			44.18	34.68
80			50.27	39.46
85	+0.3	+0.3	56.75	44.55
90	-1.1	-1.3	63.62	49.94
95			70.88	55.64
100			78.54	61.65
105	+0.6	+0.4	86.59	67.97
110	-1.7	-1.7	95.03	74.60

ცხრილი 35-ის დასასრული

1	2	3	4	5
120	+0.6	+0.8	113.10	88.78
125	-2.0	-2.0	122.72	96
130	+0.6	+0.8	132.73	104.20
140	-2.0	-2.0	153.94	120.84
150			176.72	138.72
160			201.06	157.83
170	+0.9	არ ნორმირდება	226.98	178.18
180	-1.5		254.47	199.76
190			283.53	222.57
200			314.16	246.62
210			346.36	271.89
220	+1.2	არ ნორმირდება	380.13	298.40
240	-3.0		452.39	355.13
250			490.88	385.34

- შენიშვნები:**
1. დასაბუთებულ შემთხვევებში დასაშვებია შემდეგი დიამეტრების ღეროების გაგლინვა-გამოყენება: 23 , 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 44, 46, 52, 58, 62, 64, 68, 72, 76, 78, 115 მმ. *31 ცხრილში* მოცემული უახლოესი ზომის ღეროებზე დადგენილი გადახრებით.
 2. ფოლადის კუთრი წონა მიღებულია 7.85 ტოლად.

2. ცხლადგლინული კვადრატული ფოლადი (გოსტ 2591-71-ის მიხედვით)

ცხრილი 36

კვადრატის გვერდი, მმ	დასაშვები ბაზახრივი კვადრატის გვერდი, მმ		კვადრატი სწორი კუთხეებით	
	გლინვის ჩვეულებრივი სიზუსტის დროს	გლინვის მაღალი სიზუსტის დროს	განივი კვეთის ფართობი, სმ ²	ერთი გრძივი მეტრის თეორიული წონა, კგ
1	2	3	4	5
5			0.25	0.196
6	+0.1	+0.2	0.36	0.283
7	-0.2	-0.5	0.49	0.385
8			0.64	0.502
9			0.81	0.636
10			1.00	0.785
11	+0.1	+0.1	1.21	0.95
12	-0.3	-0.5	1.44	1.13
13			1.69	1.33
14			1.96	1.54
15			2.25	1.77
16	+0.1	+0.1	2.56	2.01
17	-0.3	-0.5	2.89	2.27
18			3.24	2.54
19			3.61	2.82

1	2	3	4	5
20			4.00	3.14
21	+0.2	+0.2	4.41	3.46
22	-0.3	-0.5	4.84	3.80
24			5.76	4.52
25			6.25	4.91
26			6.76	5.30
28			7.84	6.15
30			9.00	7.06
32	+0.2	+0.2	10.24	8.07
34	-0.5	-0.7	11.56	9.07
36			12.96	10.17
38			14.44	11.24
40			16.00	12.56
42			17.64	13.85
45			20.25	15.90
48			23.04	18.09
50			25.00	19.63
53	+0.2	+0.2	28.09	22.05
56	-0.8	-1.0	31.36	24.61
60			36.00	28.26
63	+0.3	+0.3	39.69	31.16
65	-0.9	-1.1	42.25	33.17
70			49.00	38.47
75			56.25	44.16
80			64.00	50.24
85	+0.3	+0.4	72.25	56.72
90	-1.1	-1.2	81.00	63.59
95			90.25	70.85
100	+0.4	+0.4	100.00	78.50
105	-1.7	-1.7		
110			-	-
120	+0.6	+0.6		
125	-2.0	-2.0		
130				
140	+0.8	+0.6		
150	-2.0	-2.0		
160				
170	+0.9	არ ნორმირდება		
180	-2.5			
190				
200				
210				
220	+1.2	არ ნორმირდება		
240	-0.3			
250				

შენიშვნები:

- განსაკუთრებულ შემთხვევებში გამოიყენებენ შემდეგი ზომების კვადრატს: 27, 35, 41, 46, 55, 58, 61 და 115მმ. 32 ცხრილში მოცემული უახლოესი ზომის კვადრატების გადახრებით.
- ფოლადის კუთრი წონა მიღებულია 7,85-ის ტოლად.

3. ორტესებრი კოჭები. სორტამენტი (გოსტ 8239-ის მიხედვით)

ცხრილი 37

პროფილის №	ერთი ბრძივი მატარის წონა, კგ	ზომები, მმ						ბრძის შართობა, სმ ²
		h	b	d	t	R	r	
10	9.46	100	55	4.5	7.2	7	2.5	12.0
12	11.5	120	64	4.8	7.3	7.5	3	14.7
14	13.7	140	73	4.9	7.5	8	3	17.4
16	15.9	160	81	5.0	7.8	8.5	3.5	20.2
18	18.4	180	90	5.1	8.1	9	3.5	23.4
18a	19.9	180	100	5.1	8.3	9	3.5	25.4
20	21.0	200	100	5.2	8.4	9.5	4	26.8
20a	22.7	200	110	5.2	8.6	9.5	4	28.9
22	24.0	220	110	5.4	8.7	10	4	30.6
22a	25.8	220	120	5.4	8.9	10	4	32.8
24	27.3	240	115	5.6	9.5	10.5	4	34.8
24a	29.4	240	125	5.6	9.8	10.5	4	37.5
27	31.5	270	125	6.0	9.8	11	4.5	40.2
27a	33.9	270	135	6.0	10.2	11	4.5	43.2
30	36.5	300	135	6.5	10.2	12	5	46.5
30a	39.2	300	145	6.5	10.7	12	5	49.9
33	42.2	330	140	7.0	11.2	13	5	53.8
36	48.6	360	145	7.5	12.3	14	6	61.9
40	56.1	400	155	8.0	13.0	15	6	71.4
45	65.2	450	160	8.6	14.2	16	7	83.0
50	76.8	500	170	9.5	15.2	17	7	97.8
55	89.8	550	180	10.3	16.5	18	7	114
60	104	600	190	11.1	17.8	20	8	132
65	120	650	200	12.1	19.2	22	9	153
70	138	700	210	13.0	20.8	24	10	176
70a	158	700	210	15.0	24.0	24	10	202
70δ	184	700	210	17.5	28.2	24	10	234

ორტესებრი კოჭების ზომებზე და წონაზე დასაშვები გადახრები უნდა შეესაბამებოდეს ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებს:

ცხრილი 38

პროფილის №	დასაშვები ბაზანრები			
	კოჭის სიმაღლეზე, მმ	კოჭის თაროზე, მმ	კოჭის თაროს სისქეზე, მმ	ერთი ბრძივი მატარის წონაზე, %
10-დან 14-მდე ჩათვლით	±2.0	±2.0	-0.06t	
16-18	±2.5	±2.5	დადებითი გადახრები	+3
20-30 -.	±3.0	±3.0	არ	-5
30-40 -.	±3.5	±3.5	რეგლამენტირდება	
45-70 -.	±4.0	±4.0		

აღნიშვნები: h- კოჭის სიმაღლე;
 h- კოჭის სიგანე (თაროსი);
 d- კედლის სისქე;
 t- თაროს საშუალო სისქე;

R- შიგა დამრგვალების რადიუსი;
 r- თაროს დამრგვალების რადიუსი;

4. შეეღერები სორტამენტი (გოსტ 8240-ის მიხედვით)

ცხრილი 39

პროფილის №	ერთი ბრძივი მატრის წონა, კგ	ზომები, მმ						ბრძივის ფართობი, სმ ²
		ჰ	ბ	დ	ტ	დ	რ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	4.84	50	32	4.4	7.0	6	2.5	6.16
6.5	5.90	65	36	4.4	7.2	6	2.5	7.51
8	7.05	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	8.98
10	8.59	100	46	4.5	7.6	7.0	3	10.9
12	10.4	120	52	4.8	7.8	7.5	3	13.3
14	12.3	140	58	4.9	8.1	8.	3	15.6
14a	13.3	140	62	4.9	8.7	8	3	17.0
16	14.2	160	64	5.0	8.4	8.5	3.5	18.1
16a	15.3	160	68	5.0	9.0	8.5	3.5	19.5
18	16.3	160	70	5.1	8.7	9	3.5	20.7
18a	17.4	180	74	5.1	9.3	9	3.5	22.2
20	18.4	180	76	5.2	9.0	9.5	4	23.4
20a	19.8	200	80	5.2	9.7	9.5	4	25.2
22	21.0	200	82	5.4	9.5	10	4	26.7
22a	22.6	220	87	5.4	10.2	10	4	28.8
24	24.0	220	90	5.6	10.0	10.5	4	30.6
24a	25.8	250	95	5.6	10.7	10.5	4	32.9
27	27.7	250	95	6.0	10.5	11	4.5	35.2
30	31.8	270	100	6.5	11.0	12	5	40.5
33	36.5	300	105	7.0	11.7	13	5	46.5
36	41.9	360	110	7.5	12.6	14	6	53.4
40	48.3	400	115	8.0	13.5	15	6	61.5

შეეღერების ზომებზე და წონაზე დასაშვები გადახრები უნდა შეესაბამებოდეს ქვემოთმოყვანილ ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებს:

ცხრილი 40

პროფილის №	დასაშვები გადახრები			
	შეეღერის სიმაღლეზე, მმ	შეეღერის თაროს სიგანეზე, მმ	შეეღერის თაროს სისქეზე, მმ	ერთი ბრძივი მატრის წონაზე, %
5-8 ჩათვლით	±1.5	±1.5		
10-14	±2.0	±2.0	-0.06t	
16-18	±2.5	±2.5	დადებითი გადახრები	+3
20-30 -"-	±3.0	±3.0	არ	-5
33-40	±3.5	±3.5	რეგლამენტირდება	

5. ტოლგვერდა კუთხოვანი ნაგლინი ფოლადი. სორტამენტი
(გოსტ 8509-ის მიხედვით)

ცხრილი 41

პროფილის №	ზ ო მ ე ბ ი				პროფილის ზართობი, სმ ²	ერთი ზრპი80 მეტრის წონა, კგ
	b	d	R	r		
1					6	7
2	20	3	8.5	1.2	1.13	0.89
		4			1.46	1.15
2.5	25	3	3.5	1.3	1.43	1.12
		4			1.86	1.46
2.8	28	3	4	1.3	4.62	1.27
3.2	32	3	4.5	1.5	1.86	1.46
		4			2.43	1.91
3.6	36	3	4.5	1.5	2.10	1.65
		4			2.75	2.16
4	40	3	5	1.7	2.35	1.85
		4			3.08	2.42
4.5	45	3	5	1.7	2.65	2.08
		4			3.48	2.73
		5			4.29	3.37
5	50	3	5.5	1.8	2.96	3.32
		4			3.89	3.05
		5			4.80	3.77
5.6	56	3.5	6	2	3.86	3.03
		4			4.38	3.44
		5			5.41	4.25
6.3	63	4	7	2.3	4.96	3.90
		5			6.13	4.81
		6			7.28	5.72
7	70	4.5	8.0	2.7	6.20	4.87
		5			6.86	5.38
		6			8.15	6.39
		7			9.42	7.39
		8			10.7	8.37
7.5	75	5	9	3	7.39	5.80
		6			8.78	6.89
		7			10.1	7.96
		8			11.5	9.02
		9			12.8	10.1
8	80	5.5	9	3	8.63	6.78
		6			9.38	7.36
		7			10.8	8.51
		8			12.3	9.65
9	90	6	10	3.3	10.6	8.33
		7			12.3	9.64
		8			13.9	10.9
		9			15.6	12.2

1	2	3	4	5	6	7
100	100	6.5 7 8 10 12 14 16	12	4	12.8 13.8 15.6 19.2 22.8 26.3 29.7	
11	110	7 8	12	4	15.2 17.2	
12.5	125	8 9 10 11 12 14 16	14	4.6	19.7 22.0 24.3 28.9 33.4 37.8	
14	140	9 10 12	14	4.6	24.7 27.3 32.5	19.4 21.5 25.5
16	160	10 11 12 14 16 18 20	16	5.3	31.4 34.4 37.4 43.3 49.1 54.8 60.4	24.7 27.0 29.4 34.0 38.5 43.0 47.4
18	180	11 12	16	5.3	38.8 42.2	30.5 33.1
20	200	12 13 14 16 20 25 30	18	6	47.1 50.9 54.6 62.0 76.5 94.3 111.5	37.0 39.9 42.8 48.7 60.1 74.0 87.6
22	220	14 16	21	7	60.4 68.6	47.4 53.8
25	250	16 18 20 22 25 28 30	24	8	78.4 87.7 97.0 106.1 119.7 133.1 142.0	61.5 68.9 76.1 83.3 94.0 104.5 111.4

სწორფურდა კუთხოვანი ფოლადის ზომებზე და წონაზე დასაშვები გადახრები უნდა შეესაბამებოდეს ქვემოთჩამოთვლილი ცხრილის მონაცემებს:

პროფილის №	დასაშვები ბაზახრები				ერთი ბრძოლის მძლავრის წონაში, %
	თაროს სიზანაზე, 88	თაროს სისქეზე			
		688 და ნაკლები	6.5-დან 9-ის ჩათვლით	10 და მეტი	
2 - 4.5 ჩათვლით	±1.0	±0.40	-	-	
5-9	±1.5	±0.45	±0.55		
10-14	±2.0		±0.60	±0.65	+3
16-20	±3.0			±0.70	-5
22 და 25	±4.0			±0.80	

აღნიშვნები: b- თაროს სიგანე;

d- თაროს სისქე;

R- შიგა დამრგვალების რადიუსი;

r- თაროს დამრგვალების რადიუსი;

6. არატოლფერდა კუთხოვანი ნაგლინი ფოლადი, სორტამენტი (გოსტ 8510)

პროფილის №	ზ რ მ ე ბ ი					პროფილის შარბოტი	ერთი ბრძოლის მძლავრის წონაში, %
	B	b	d	R	r		
1	2	3	4	5	6	7	8
2.5/1.6	25	16	3	3.5	1.2	1.16	0.91
32/2	32	20	3	3.5	1.2	1.49	1.17
			4			1.94	1.52
4/2.5	40	25	3	4.0	1.3	1.89	1.48
			4			2.47	1.94
4.5/2.8	45	28	3	5.0	1.7	2.14	1.68
			4			2.8	2.20
5/3.2	50	32	3	5.5	1.8	2.42	1.90
			4			3.17	2.49
5.6/3.6	56	36	3.5	6.0	2.0	3.16	2.48
			4			3.58	2.81
			5			4.41	3.46
6.3/4	63	40	4	7.0	2.3	4.04	3.17
			5			4.98	3.91
			6			5.90	4.63
			8			7.68	6.03

1	2	3	4	5	6	7	8
7/4.5	70	45	4.5 5	7.5	2.5	5.07 5.59	3.98 4.39
7.5/5	75	50	5 6 8	8.0	2.7	6.11 7.25 9.47	4.79 5.69 7.43
8/5	80	50	5 6	8.0	2.7	6.36 7.55	4.99 5.92
9/5.6	90	56	5.5 6 8	9	3	7.86 8.54 11.18	6.17 6.70 8.77
10/6.3	100	63	6 7 8 10	10 3.3 9.59 11.1 12.6 15.5	3.3	9.59 11.1 12.6 15.5	7.53 8.70 9.87 12.1
11/7	110	70	6.5 7 8	10	3.3	11.4 12.3 13.9	8.98 9.64 10.9
12.5/8	125	80	7 8 10 12	11	3.7	14.1 16 19.7 23.4	11 12.5 15.5 18.3
14/9	140	90	8 10	12	4	18 22.2	14.1 17.5
16/10	160	100	9 10 12 14	13	4.3	22.9 25.3 30 34.7	18 19.8 23.6 27.3
18/11	180	110	10 12	14	4.7	28.3 33.7	22.2 26.4
20/12.5	200	125	11 12 14 16	14	4.7	34.9 37.9 43.9 49.8	27.4 29.7 34.4 39.1
25/16	250	160	12 16 18 20	18	6	48.3 63.6 71.1 78.5	37.9 49.9 55.8 61.7

არატოლფერდა კუთხოვანი ნაგლინიი ფოლადის ზომებზე და წონაზე დასაშვები გადახრები უნდა შეესაბამებოდეს ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი მონაცემებს:

პროექტის №	დასაშვები ბაღახრები				ერთი ბოკივი მუტრის წონაზე %
	თარუს სიბანეზე, მმ	თარუს სისძეზე			
		თარუს სხვამასხვა სისძის შხმთხვევაში			
		688 და ნაკლები	6.5-დან 9-ის ჩათვლით	10 და მეტი	
2.5/1.6 - 5/3.2 -ის ჩათვლით	±1.0	±0.40	-	-	
8.5/3.6 - 9.0-5.6	±1.5	±0.45	±0.55		+3
10/6.3-16/10	±2.0	±50	±0.60	±0.65	-5
18/11 და მეტი.	±4.0			±0.70	

DIN 1629,1630,17121, (St37.0; St37-2; St37-4; St44.02; St52. API5CT (H40,K55,M65,N80(1),P110 da API 5L (B, X42, X46, X-52, X-60)) სტანდარტების მიხედვით მარკების აღნიშვნების განმარტებები.

DIN 1629,1630,17121 სტანდარტებში გამოყენებულნი არიან სამი ძირითადი მარკა St37.0; St44.02; St52, რომელთაც აქვთ ცალკეული მოდიფიკაციები კლასის მიხედვით ფოლადები St37.0, St37.2, St37.3, St37.4 კლასების მიხედვით განსხვავება განისაზღვრება ან განჟანგვის წესით (მდულარე, ნახევრადმშვიდი და მშვიდი ფოლადები), ან მინარევების გოგირდის და ფოსფორის შემცველობის განსხვავებით, ან დამატებითი მოთხოვნილებებით დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდის დროს. 37, 44, 52 ციფრები ამ მოდიფიკაციების სახელწოდებებში აღნიშნავენ მოცემული ფოლადების სიმტკიცის ზღვრებს გაჯიმვაზე გამოცდისას მეტრულ სისტემაში ე.ი. კგ/მმ² ერთეულებში.

ამრიგად, თუ შემკვეთი თხოულობს შეკვეთის შესრულებას St 37.3 მარკის ფოლადიდან ეს ნიშნავს, რომ დაამზადეთ ლითონპროდუქცია ნახშირბადის შემცველობით არა უმეტესი 0.17%-სა (ციცხვის სინჯში), წყნარი (მშვიდი) ფოლადისაგან (ინდექსი 3) 37 კგ/მმ² სიმტკიცის მინიმალური ზღვართ.

API 5CT სტანდარტის მიხედვით, სამაგრი და სატუმბე-საკომპრესორო მილების წარმოების დროს H40, K55, J55, M65, N80, L80, C95, P110,VAM-150 ასოები აღნიშნავენ ფოლადის რიგით ნომერს ინგლისური ალფაბეტის მიხედვით, ხოლო ციფრები 40, 55, 65, 80, 95, 110 და 150 - დენადობის ზღვრის პირველი ორი მნიშვნელოვანი ციფრი ში-ის ერთეულებში (ფუნტი/დიუმ²-ზე).

API 5L სტანდარტის მიხედვით X42, X46, X52, X60 აღნიშვნებში 42, 46, 52, 60 - ორი პირველი მნიშვნელოვანი დენადობის ზღვარის ციფრია PSi - ერთეულებში (ფუნტი/დიუმ²-ზე).

სხვა ქვეყნების, მაგ: იტალიის სტანდარტებში Fe330, Fe410, Fe510 (UNI6363, 7729, 8863 გოსტ-ების მიხედვით) ციფრები აღნიშნავენ სიმტკიცის მინიმალურ ზღვრებს N/მმ²- ერთეულებში.

EN 10210-1 სტანდარტებში S355 JOH, S355 J2H, S355 NH, S355 NLH.

- 355 აღნიშნავს დენადობის მინიმალურ ზღვარს N/მმ² - ერთეულებში; ასო „J“ აღნიშნავს (0 და 2 შემდგომი ციფრებით) ან უბრალოდ „L“ ასო - რღვევის მუშაობას დარტყმით გაღუნვაზე 0°C, -20°C და -50°C ტემპურატურის პირობებში შესაბამისად;
- „JR“ აღნიშნავენ მინიმალურ მუშაობას დარტყმითი გაღუნვაზე ოთახის ტემპურატურაზე.
 - „N“ - აღნიშნავს მიღების მიწოდებას ნორმალიზებულ მდგომარეობაში.
 - „H“ - აღნიშნავს ღრუ პროფილის პროდუქციას.

7. ցողաձախան խողովրդի քանակությունը և՛ ՌԷՖԻՆԱԿՄԵՆ օպերացիայի DIN, API, ASTM, NFA, EN10210-1-ով նույնացրած

Օլիմպիկ 45

/	Տ	Ս	ՍՆԱ ՆԱԳՆՈՒՄԻ ԽՈՂՈՎՐԴԻ ՔԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԸ										ՍՆԱ ՆԱԳՆՈՒՄԻ ԽՈՂՈՎՐԴԻ ՔԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԸ		ՍՆԱ ՆԱԳՆՈՒՄԻ ԽՈՂՈՎՐԴԻ ՔԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԸ		ՍՆԱ ՆԱԳՆՈՒՄԻ ԽՈՂՈՎՐԴԻ ՔԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԸ			
			C	Mn	Si	S	P	N	Ce	max	min	II	III	IV	V	VI		VII		
DIN 1815	S133	5	0.10			0.050	0.050	0.010				290	540		175	17(15)				
	S144	5	0.23			0.050	0.050	0.010			350	480		235/225/215	25(23)					
	S152	5	0.16	1.70	0.60	0.45	0.050	0.010			420	550		275/267/255	21(19)					
DIN 1830	S137-4	5	0.16	0.20mm	0.38	0.050	0.050				500	650		350/345/335	21(19)					
	S144-4	5	0.22	0.30mm	0.38	0.050	0.050				350	480		235/225/215	25(23)					
	S152-4	5	0.16	1.80	0.38	0.045	0.050				420	550		275/267/255	21(19)					
DIN 17121*	S144-3	5	0.19			0.050	0.050				500	650		350/345/335	21(19)					
	S152-3	5	0.23	1.70	0.60	0.050	0.050				340	470		235/225/215	26(24)					
	S155-3	5	0.24	0.38-0.84	0.60	0.050	0.050				410	540		275/267/255	22(20)					
DIN 17175	S145-8	5	0.23	0.38-1.25	0.7-0.38	0.050	0.050				300	480		235/225/215	25(23)					
	S145-9	5	0.23	0.38-1.25	0.7-0.44	0.050	0.050				410	530		235/245/235	21(19)					
	S145-10	5	0.19-0.22	0.86-3.55	0.27-0.84	0.050	0.050				460	580		270/270/260	23(21)					
DIN 2381	S145S	5	0.11	0.35	0.30	0.044	0.044				250	420		310/310/300	19(17)					
	S150S	5	0.11	0.35	0.05	0.044	0.044				290	420		215	30					
	S155S	5	0.19	0.40mm	0.35	0.055	0.055				340	470		215	25					
DIN 2440	S145	5	0.25	0.40mm	0.35	0.055	0.055				440	570		265	21					
	S152	5	0.24	1.60	0.35	0.055	0.055				480	630		365	22					
	S153-2	5	0.19			0.050	0.050				310/230	540		185	10-16(8-16)					
NFA 48 112	S133-2	5	0.19			0.050	0.050				310/230	540		185	10-16(8-16)					
	S137-2	5	0.20	0.85	0.40	0.045	0.045				360/340	510/470		235	10-16(8-16)					
	S235A	5	0.24	1.05	0.40	0.045	0.045				360	500		221/200	23					

Տիպային 45-րդ հոսանքային																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
EN 10210-1	TU 52-b	S	0.22	1.60	0.55	0.045	0.045	-	-	510/490	-	345/525	17/20/19	-	-	-
	TU XC35	S	0.3-0.4	0.4-0.9	0.1-0.45	0.040	0.040	-	-	940/520	-	320/300	16/18/19	-	-	-
	S253JRH	S.W	0.18(0.22)	1.50	-	0.055	0.055	0.011	-	340	470	235/252/215	26/25/24/23	+20	27	-
	S275J0H	S.W	0.22(0.25)	1.60	-	0.050	0.050	0.011	-	410	560	275/265/235	27/21(20)/19	0	27	-
	S275J2H	S.W	0.22(0.25)	1.60	-	0.045	0.045	-	-	410	560	275/265/235	27/21(20)/19	-20	27	-
	S355J0H	S.W	0.25	1.70	0.60	0.050	0.050	0.011	-	490	630	355/345/335	27/21(20)/19	0	27	-
	S355J2H	S.W	0.25	1.70	0.60	0.045	0.045	-	-	490	630	355/345/335	27/21(20)/19	-20	27	-
	S275NH	S.W	0.22	0.4-1.5	0.45	0.035	0.040	0.017	-	370	510	275/265/235	24(22)	-20	40	-
	S275NHLH	S.W	0.22	0.4-1.5	0.45	0.030	0.035	0.017	-	370	510	275/265/235	24(22)	-20	40	-
	S355NH	S.W	0.22	0.85-1.75	0.55	0.035	0.040	0.017	-	470	630	355/345/335	22(20)	-20	40	-
S355NHLH	S.W	0.20	0.85-1.75	0.55	0.030	0.035	0.017	-	470	630	355/345/335	22(20)	-50	27	-	
S430NH	S.W	0.22	0.95-	0.65	0.0335	0.035	0.027	-	590	720	460/440/430	17(15)	-20	40	-	
S460NHLH	S.W	0.22	1.00-	0.70	0.030	0.035	0.027	-	550	720	460/440/430	17(15)	-50	27	-	
ASTM A53 ASME ASTM A108 ASTM A108	B	S.W	0.30	1.30	-	0.045	0.050	-	-	415	-	240	23	-	-	-
	B	S.W	0.30	1.20	0.045	0.050	-	-	415	-	240	23	-	-	-	-
	B	S	0.30	0.9-	0.1min	0.035	0.035	-	-	415	-	240	22.5	-	-	-
	B	S	0.20	0.9-	0.1min	0.035	0.035	-	-	415	-	240	22.5	-	-	-
	X42	S	0.28	1.30	-	0.030	0.030	-	-	414	-	280	23	-	-	-
	B	S	0.28	1.20	-	0.030	0.030	-	-	414	-	280	23	-	-	-
	X52	S	0.24	1.40	-	0.030	0.030	-	-	455	-	350	21	-	-	-
	X60	S	0.28	1.40	-	0.030	0.030	-	-	517	-	414	19	-	-	-
	B	S	0.24	1.20	-	0.015	0.025	-	0.430(23)	414	758	241-448	23	0	41(27)	-
	X42	S	0.24	1.30	-	0.015	0.025	-	0.430(23)	414	758	280-496	23	0	41(27)	-
X52	S	0.24	1.40	-	0.015	0.025	-	0.430(23)	455	750	350-531	21	0	41(27)	-	
X60	S	0.24	1.40	-	0.015	0.025	-	0.430(23)	517	758	414-565	19	0	41(27)	-	
X65	S	0.24	1.40	-	0.015	0.025	-	0.430(23)	531	758	440-600	18	0	41(27)	-	
H40	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	414	-	276-552	22.5	-	-	-	
H55	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	517	-	378-557	15	-	-	-	
K55	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	655	-	379-552	18.55	-	-	-	
N80	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	689	-	552-768	14.5	-	-	-	
M85	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	586	-	449-546	16.5	-	-	-	
L80(1)	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	655	-	502-655	15	-	-	-	
P110	S.W	-	-	-	0.030	0.030	-	-	862	-	458-565	11.5	-	-	-	

9.1 ძირითადი განმარტებები

ელექტროდენი ეს არის გამტარში დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობა, განპირობებული ელექტროველის ზემოქმედებით.

დამყარებული რეჟიმებისათვის განარჩევენ დენის ორ სახეობას: მუდმივ და ცვლად დენს. მუდმივი ეწოდება დენს, რომელიც იცვლება სიდიდის მიხედვით, მაგრამ არ იცვლის თავის ნიშანს. ცვლადი ეწოდება დენს, რომელიც იცვლება როგორც სიდიდის, ისე ნიშნის მიხედვით. თვით ცვლადი დენი იყოფა სინუსოიდურ და არასინუსოიდურ დენებად. სინუსოიდური ეწოდება დენს, რომელიც იცვლება პარმონიული კანონის მიხედვით:

$$i = I_m \sin \omega t,$$

სადაც I_m არის დენის ამპლიტუდური (მაქსიმალური) მნიშვნელობა. ცვლადი დენის ცვალებადობის სიჩქარე ხასიათდება მისი სიხშირით, რომელიც განისაზღვრება სრული განმეორებითი რხევების რიცხვით დროის ერთეულში. სიხშირე აღინიშნება f ასოთი და იზომება ჰერცებში. ქსელში 50 ჰც სიხშირის მქონე დენი შეესაბამება წამში 50 სრულ რხევას.

მუდმივი და ცვლადი დენების დამყარებულ მნიშვნელობას აღნიშნავენ I ასოთი, ხოლო მყისი მნიშვნელობა - i ასოთი აღინიშნება.

დენის დადებით პირობით მიმართულებად თელიან დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულებას.

თუ q მუხტის მქონე ნაწილაკი გადაიტანება ელექტრულ ველში რაიმე გზის გასწვრივ, მაშინ მასზე მოქმედი ველის ძალები ასრულებენ მუშაობას. ამ მუშაობის შეფარდებას გადატანილი მუხტის სიდიდესთან ეწოდება ელექტრული ძაბვა. ე.ი. q მუხტი M წერტილიდან H წერტილში გადასვლისას ასრულებს მუშაობას, რომელიც ტოლია მუხტის ნამრავლისა ამ წერტილებს შორის პოტენციალების სხვაობაზე.

ელექტოსტატიკური ველის ორ წერტილს შორის პოტენციალების სხვაობას ეწოდება ელექტროძაბვა.

$$U = \varphi_M - \varphi_H = \frac{A}{q}$$

ძაბვის საზომი ერთეულია ვოლტი.

წინააღმდეგობა წარმოადგენს წრედის ელემენტს, რომელშიც ადგილი აქვს ელექტროენერჯის შეუქცევად გარდაქმნას სითბურ ენერჯიაში.

წინააღმდეგობის ერთეულია ომი (აღინიშნება r ასოთი). გამტარების წინააღმდეგობა დამოკიდებულია მათი ფორმებისა და ზომებისაგან. ეს დამოკიდებულება მარტივია თუ გამტარებს აქვს ცილინდრის ფორმა და განივი კვეთის მუდმივი სიდიდე:

$$r = \rho l / S,$$

სადაც l არის გამტარის სიგრძე, ხოლო S განივი კვეთის ფართობი. პროპორციულობის კოეფიციენტი ρ დამოკიდებულია ნივთიერების გვარობისა და მდგომარეობისგან და წარმოადგენს მის კუთრ წინააღმდეგობას.

კუთრი წინააღმდეგობის უკუსიდიდემ მიიღო ნივთიერების კუთრი ელექტროგამტარობის სახელწოდება.

ინდუქციურიობა - ეწოდება ელექტროწრედის ელემენტს, რომელშიც გროვდება მაგნიტური ველის ენერჯია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ცვლადი დენის ელექტროწრედის ყველა ელემენტს გააჩნია სხვადასხვა მნიშვნელობის ინდუქციური წინააღმდეგობა.

მუდმივი დენის ქსელებში ინდუქციური წინააღმდეგობა თავს იჩენს მხოლოდ გარდამავალი რეჟიმების დროს.

ინდუქციური წინააღმდეგობა - ეს არის ელემენტის წინააღმდეგობა, რაც დაკავშირებულია მის ირგვლივ მაგნიტური ველის შექმნასთან. იგი დამოკიდებულია ელემენტის კონფიგურაციისა და ზომებისგან, აგრეთვე მისი მაგნიტური თვისებებისა და დენის სისშირისგან.

$$X_L = 2\pi fL = \omega L,$$

სადაც X_L - არის ინდუქციური წინააღმდეგობა, ომებში;

f - დენის სისშირე, ჰც-ში;

$\omega = 2\pi f$ - კუთხური სისშირე;

L - წრედის ელემენტის ინდუქციურობა, გაზომილი ჰენრებში-(ჰნ-ში);

ტევადობა წარმოადგენს ელექტროწრედის ელემენტს, რომელშიც გროვდება ელექტრული ველის ენერჯია

$$C = q / u_c$$

თუ q და u_c შესაბამისად იზომება კულონებში და ვოლტებში, მაშინ C იზომება ფარადებში (ფ);

ტევადობითი წინააღმდეგობა - ეს არის ელექტრო წრედის ელემენტის წინააღმდეგობა დაკავშირებული მის ირგვლივ ელექტროველის წარმოქმნასთან.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

9.2 ერთფაზა დენის წრედების გაანგარიშების ფორმულები

ცვლადი სინუსოიდური დენები და ძაბვები

ცვლადი დენის წრედებში განარჩევენ მყისიერ, მოკმედ, საშუალო და ამპლიტუდურ დენისა და ძაბვის მნიშვნელობებს:

მყისიერს უწოდებენ დენის ან ძაბვის მნიშვნელობას, რომელიც განისაზღვრება დროის ნებისმიერ t მომენტისათვის.

დენის და ძაბვის მყისიერი მნიშვნელობებია:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_1)$$

$$u = U_m \sin(\omega T + \psi_2) \text{ ვ.}$$

სადაც I_m და U_m დენის და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობებია.

ψ_1 და ψ_2 - დენისა და ძაბვის ფაზების ძერის კუთხეებია.

$\psi_2 - \psi_1 = \varphi$ - დენის ფაზის ძერის კუთხეა ძაბვის ფაზის მიმართ, გრადუსებში.

მოკმედს უწოდებენ პერიოდული დენის ისეთ მნიშვნელობას, რომელიც წარმოქმნის იგივე სითბურ ეფექტს, რასაც წარმოქმნის მისი ტოლი სიდიდის მუდმივი დენი.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = 0.707 U_m \text{ ვ.}$$

9.3 სიმძლავრეები ცვლადი დენის წრედებში

1. აქტიური წინაღობის (r) მქონე წრედში სიმძლავრის მყისიერი მნიშვნელობა, ვტ-ში:

$$p = ui = U_m I_m \sin^2 \omega t$$

ხოლო სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა

$$P_{\varphi} = U, I = I^2 r.$$

2. წმინდა ინდუქციური წინაღობის წრედში, თუ დენი ტოლია $i = I_m \sin \omega t$, მაშინ თვითინდუქციის ემპ (ელექტრომაგნიტური ძალა) ტოლია:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}),$$

ე.ი. ე.მ.ძ. მის გამომწვევ დენს ჩამორჩება $\pi/2$ კუთხით.

კოჭაზე ძაბვის ვარდნა ტოლია:

$$U_L = \omega L I.$$

კოჭას მყისიერი სიმძლავრე:

$$P_L = ui = UI \sin 2\omega t.$$

კოჭას რეაქტიული სიმძლავრე:

$$Q_L = UI \sin \varphi = I^2 X_L.$$

3. ტევადობითი წინაღობის წრედში

$$u = U_m \sin \omega t,$$

$$i = C du / dt = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad \text{ე.ი.}$$

დენი კონდენსატორში წინ უსწრებს ძაბვას $\pi/2$ კუთხით.

დენის მოქმედი მნიშვნელობა: $I = \omega C U = \frac{U}{X_C}$.

ტევადობითი წინაღობა, ომ: $X_C = \frac{1}{\omega C}$.

ცვლადი სინუსოიდური დენის წრედებში რეაქტიული ტევადობითი სიმძლავრე დამყარებული რეჟიმების დროს წარმოქმნის ელექტრულ ველს წრედის ელემენტების დიელექტრიკულ გარემოში:

$$Q_C = UI \sin \varphi = I^2 X_C.$$

რეაქტიული სიმძლავრის ერთეულია - ვარი.

დამყარებული რეჟიმების დროს მუდმივი დენის წრედში რეაქტიული სიმძლავრეები 0-ის ტოლია. ცვლადი სინუსოიდური დენის წრედში ელემენტის სრული სიმძლავრე განისაზღვრება როგორც აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების გეომეტრიული ჯამი, ე.ა.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad \text{ან } S = UI, \quad \text{ან } S = I^2 Z,$$

სადაც $Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)}$ - წრედის სრული წინაღობა, ომ-ში.

9.4 ელექტროტექნიკის ძირითადი კანონები

ომის კანონი სამართლიანია მუდმივი და ცვლადი სინუსოიდური დენის წრედებისათვის და აკავშირებს ერთმანეთთან წრედის ელემენტის წინააღობას, მის დენს და ძაბვას.

წრედის უბანზე ძაბვის ვარდნა დენის პროპორციულია და ამ უბნის წინააღობის სიდიდისა:

$$\text{მუდმივი დენის დროს: } U = Ir,$$

$$\text{ცვლადი დენის დროს: } U = IZ.$$

ჯოულ-ლენცის კანონი. ეს კანონი განსაზღვრავს ელექტროდენის სითბური მოქმედების სიდიდეს.

გამტარში დენის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია t დროში მუხტის გადასატანად ელექტრორეელის მიერ შესრულებული მუშაობისა:

$$Q = Ult = I^2rt.$$

სითბოს რაოდენობის ერთეულია - ჯოული (ჯ).

ენიანიდან 1 კალ=4,1868ჯ, ან 1ჯ=0.24 კალ, მაშინ სითბოს რაოდენობა, გაზომილი კალ-ში ტოლი იქნება:

$$Q = 0.24I^2rt.$$

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის (ფარადეის) კანონი.

გამტარში ან კონტურში აღძრული ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) \mathcal{E} პროპორციულია მაგნიტური ნაკადის Φ -ის ცვალებადობის სიჩქარისა, რომელიც შეიღწევა ამ გამტარში ან კონტურში და აქვს უარყოფითი ნიშანი:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt},$$

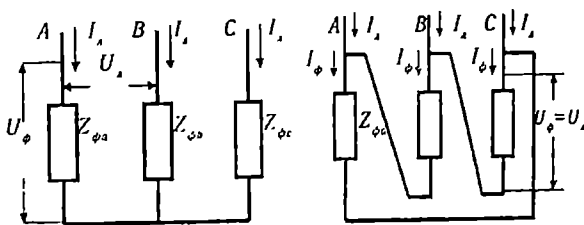
თუ კონტური შეიცავს w სხივებს ადგილი აქვს კონტურის ნაკადშეშების მოვლენას და $\psi = w\Phi$, მაშინ

$$\mathcal{E} = -\frac{d\psi}{dt}.$$

ფარადეის კანონის თანახმად, დენის ცვალებადობა, რომელიც L ინდუქციურობის მქონე კონტურში მიმდინარეობს, იწვევს მისი მაგნიტური ნაკადის ცვალებადობას, რაც განაპირობებს ამ კონტურში ელექტრომაგნიტური ძალის წარმოქმნას, რომელსაც უწოდებენ თეითინდუქციის ე.მ.ძ.

9.5 სამფაზიანი დენის წრედების საანგარიშო თანაფარდობანი

სამფაზიანი ელექტროწრედი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს სამი ერთფაზიანი წრედების ერთობლიობის სახით, რომლებშიც მოქმედებს ერთი და იგივე სიხშირის ე.მ.ძ. დაძრულნი ერთი მეორის მიმართ პერიოდის ერთი მესამედით ან რაც იგივეა $2\pi/3$ კუთხით. სამფაზა წრედის ფაზები აღინიშნება A, B, C ასოებით (ნახ.9.1):



ნახ. 9.1 ელექტრომიმედების ეარსკელავა და სამკუთხა შეერთების სქემები.

სამფაზიანი სიმეტრიული სისტემის ანგარიში ფაზების თანაბარი დატვირთვისას დაიყვანება ერთი ფაზის ანგარიშამდე. დაეუშვათ წრედში ჩართულია მიმდები, რომლის ფაზებს აქვთ ერთნაირი წინაღობები Z და შეერთებული არიან ეარსკელავეური სქემით.

სიმეტრულ წრედში ფაზური ძაბვა ტოლი იქნება:

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\text{ხაზ}}}{\sqrt{3}}.$$

ფაზური და ხაზური დენები:

$$I_{\Phi} = I_{\text{ხაზ}} = \frac{U_{\Phi}}{Z}.$$

ფაზის საშუალო აქტიური სიმძლავრე ტოლი იქნება:

$$P_{\Phi} = U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi.$$

სამფაზა წრედის აქტიური სიმძლავრე:

$$P = \sqrt{3} I_{\text{ხაზ}} U_{\text{ხაზ}} \cos \varphi.$$

ფაზის რეაქტიული სიმძლავრე:

$$Q_{\text{ფ}} = U_{\text{ფ}} I_{\text{ფ}} \sin \varphi.$$

სამივე ფაზის რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = \sqrt{3} U_{\text{ხაზ}} I_{\text{ხაზ}} \sin \varphi.$$

ხოლო სრული სიმძლავრე

$$S = \sqrt{3} U_{\text{ხაზ}} I_{\text{ხაზ}}.$$

ფაზების თანაბარი დატვირთვისას სამფაზიანი წრედის ანგარიში სამკუთხა შეერთებისას შეიძლება დაიყვანოს ერთი ფაზის ანგარიშად.

ფაზური ძაბვა:

$$U_{\text{ფ}} = U_{\text{ხაზ}}.$$

ფაზური დენი:

$$I_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{ფ}}}{Z_{\text{ფ}}}$$

ხაზური დენი

$$I_{\text{ხაზ}} = \sqrt{3} I_{\text{ფ}}.$$

სამივე ფაზის საერთო აქტიური სიმძლავრე:

$$P = \sqrt{3} U_{\text{ხაზ}} I_{\text{ხაზ}} \cos \varphi.$$

სრული სიმძლავრე: $S = 3 U_{\text{ფ}} I_{\text{ფ}} = \sqrt{3} U_{\text{ხაზ}} I_{\text{ხაზ}}.$

ცვლადი დენის წრედის უბნის პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს სიმძლავრის გამოყენების ხარისხს არის სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$P/S = P/\sqrt{P^2 + Q^2} = \cos \varphi.$$

რაც უფრო მაღალია სიმძლავრის კოეფიციენტი, მით უფრო სრულად გამოიყენება ელექტრომოწყობილობა მოცემული ძაბვის და დენის პირობებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტთან ერთად არსებობს მქკ (მარგი ქმედების კოეფიციენტის) ცნება $\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P)$, სადაც P_2 - არის სასარგებლოდ გამოყენებული აქტიური სიმძლავრის ნაწილი; ΔP - არის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, ხოლო $P_1 = P_2 + \Delta P$ საერთო მოხმარებული აქტიური სიმძლავრე;

9.6 მარტივი ელექტროწრედების ანგარიში

მიმღებების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

მიმდევრობით შეერთებულ ელემენტებს აქვთ საერთო დენი და თითოეულს - თავისი ძაბვის ვარდნა, ხოლო პარალელურად შეერთებულებს აქვთ საერთო ძაბვა და თითოეულს - თავისი დენი.

მიმღებების მიმღევრობითი შეერთებისას წრედის საერთო წინაღობა

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_n,$$

სადაც r_1, r_2, \dots, r_n არის ცალკეული ელემენტების წინაღობა.

წრედის საერთო ძაბვა:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n [3],$$

სადაც U_1, U_2, \dots, U_n არის ძაბვის კარგები ცალკეულ მიმღებებზე.

მიმღებების პარალელური შეერთებისას, წრედის საერთო წინაღობა ტოლია:

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}} \text{ [ომ]},$$

სადაც r_1, r_2, \dots, r_n არის ცალკეული მიმღებების წინაღობები.

წრედის საერთო დენია:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \text{ [ა]},$$

სადაც $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ ცალკეული მიმღებების დენებია.

კონდენსატორის მიმღევრობით შეერთებისას

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n},$$

ხოლო პარალელური შეერთებისას

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n.$$

9.7 დენების რეზონანსი

განვიხილოთ ცვალებადი დენის წრედი, რომელიც შედგება პარალელური განუტოებისგან. დენი წრედის განუტოებელ ნაწილში ტოლი იქნება:

$$I = U \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$$

სადაც g და b შესაბამისად არიან აქტიური და რეაქტიური გამტარობები.

როდესაც რეაქტიული გამტარობები (ინდუქციური b_L და ტევადობითი b_C) ურთიერთკომპენსაციას განიცდიან, ე.ი. $b_C = b_L$ ადგილი ექნება დენების რეზონანსს.

9.8 ფოლადისგულარიანი კოჭა ცვლადი დენის წრედში

პრაქტიკაში ხშირად გვხვდებიან ელექტროწრედები, რომლებიც შეიცავენ კოჭებს ფოლადის გულარებით, მაგ: დროსელები, ტრანსფორმატორები, ელექტრომანქანები და სხვ.

ცვლადი დენის არსებობისას გულარიან კოჭაში, რომელიც შესრულებულია მაგნიტურ-რბილი მასალისაგან, დამაგნიტება და განმაგნიტება წარმოებს ერთი და იგივე კანონის მიხედვით, ე.ი. ჰისტერეზისული ციკლის აღმავალი და დაღმავალი შტოები პრაქტიკულად ერთმანეთს ემთხვევიან.

ღია და პარამაგნეტიკების გარდა არიან ნივთიერებები, რომელთაც შეუძლიათ ძლიერ დამაგნიტება, რის შედეგად მათ მიიღეს ფერომაგნეტიკების სახელწოდება. სინამდვილეში გულარას დამაგნიტების და განმაგნიტების პროცესში ჰისტერეზისის მარყუჟის შტოები ერთმანეთს არ ემთხვევა.

მაგნიტური ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი ტოლია ენერჯისა, რაც იკარგება ნიმუშში ველის ცვალებადობის ერთი ციკლის დროს. ეს ენერჯია საბოლოო ანგარიშით იხარჯება ნიმუშის გახურებაზე. ენერჯის ასეთ დანაკარგებს უწოდებენ ჰისტერეზისულს. ცვლადი მაგნიტური ველის სიხშირის ზრდასთან ერთად ჰისტერეზისულ დანაკარგებს ემატება სხვა დანაკარგები, დაკავშირებული გრივალურ დენებთან და მაგნიტურ სიბლანტესთან. შესაბამისად, ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი მაღალი სიხშირეების დროს იზრდება.

ფოლადის გადამაგნიტების დანაკარგების სიმძლავრეს P_h ჩვეულებრივ გამოითვლიან ექსპერიმენტებით დადგენილი ფორმულით:

$$P_h = \eta B_{\text{მაქ}}^{1.6} V 10^{-7},$$

სადაც η ჰისტერეზისის კოეფიციენტი (ფოლადის სხვადასხვა მარკებისათვის იცვლება 0.001 დან 0.03- მდე ზღერებში);

f - სიხშირე კჰ-ში;

$B_{\text{მაქ}}$ - მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა;

V - ფოლადის მოცულობა, სმ³-ში;

9.9 გრიგალური დენები

თუ ცვალებად მაგნიტურ ველში იმყოფება მასიური გამტარი სხეული (ფოლადი, სპილენძი, თითბერი და სხე), მაშინ მათში ელექტრომაგნიტური ინდუქციით აღძრული ემპ წარმოქმნის გრიგალურ დენებს.

გრიგალური დენების სიდიდე მით მეტია, რაც უფრო სწრაფად იცვლება მაგნიტური ნაკადი.

გრიგალურ დენები იწვევენ მაგნიტური ნაკადის არათანაბარ განაწილებას მაგნიტოგამტარის კვეთში. მაღალი სიხშირეების დროს ნაკადი გაივლის მხოლოდ გულას თხელ ზედაპირულ ფენაში.

ჯოულ-ლენცის კანონის შესაბამისად, გრიგალური დენები ახურებენ გამტარებს, რომლებშიც ისინი წარმოიქმნებიან, ამიტომ გრიგალური დენები იწვევენ ენერჯის დანაკარგებს მაგნიტო გამტარებში.

გრიგალურ დენებს იყენებენ ლითონების გამოდნობისათვის და ზედაპირული წრთობისათვის.

9.10 ელექტრომაგნიტი

ელექტრომაგნიტი წარმოადგენს ელექტროტექნიკურ მოწყობილობას, რომელიც ჩვეულებრივად შედგება გამტარი ხეისგან და ფერომაგნიტური გულარასაგან. ელექტრომაგნიტის მაგნიტოგამტარებს ამზადებენ მაგნიტურ-რბილი მასალებისგან ჩვეულებრივად ელექტროტექნიკური ან ხარისხოვანი კონსტრუქციული ფურცლოვანი ფოლადებისგან. ელექტრომაგნიტის „ამგლუჯი“ ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$F = \left(\frac{B}{5000} \right)^2 S \text{ [კგ]}$$

სადაც B არის მაგნიტური ინდუქცია, გაუსებში;

S - პოლუსების კვეთის ფართობი, სმ² -ში;

ელექტრომაგნიტის „ამგლუჯი“ ძალა შეიძლება დაეარეგულიროთ მის ხეიბში დენის ცვალებადობით.

9.11 ტრანსფორმატორის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი

ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილებისთვის აუცილებელია სხვადასხვა ძაბვების ქონა. ელექტროენერჯის გადაცემისას სადგურიდან მისი გამოყენების პუნქტამდე ელექტრული დანაკარგებისა და გადამცემი ხაზების კეეთის შემცირების მიზნით აუცილებელია გენერატორის ძაბვა გაიზარდოს ასეულობით კილოვოლტამდე. ძაბვის გაზრდა და შემცირება წარმოებს ტრანსფორმატორების გამოყენებით.

ტრანსფორმატორი შედგება ჩაკეტილი გულარისაგან (მაგნიტოგამტარისაგან), რომელიც აწუბილია ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლებისგან და ორი ან მეტი რაოდენობის გრაგნილისაგან.

i დენი ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში წარმოიქმნება მასზე მოდებული სინუსოიდური ძაბვის u_1 -ის მოქმედებით. ამ დენის დამამაგნიტებელი ძალა გულარაში აღაგზნებს ცვლად მაგნიტურ ნაკადს. ეს ნაკადი ტრანსფორმატორის გრაგნილებში აინდუქცირებს ე.მ.ძ.-ს.

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{და} \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

ელექტრომაგნიტური ძალების მოქმედ მნიშვნელობებს და პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხეიათა რიცხვებს შორის დამოკიდებულებას $E_1 : E_2 = w_1 : w_2 = K$ ეწოდება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.

თუ წინასწარ გვეცოდინება ცალფაზა ტრანსფორმატორის სიმძლავრე P (ვატებში), მიახლოებით შეიძლება გამოვიანგარიშოთ მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორის ძირითადი პარამეტრები:

გულარის განივეკეთის ფართობი:

$$Q = 1,25 \sqrt{1,2P} \text{ სმ}^2.$$

1 ვოლტ ძაბვაზე მოსული ხეიების რაოდენობა w ტოლი იქნება

$$w = \frac{40 + 60}{Q}.$$

პირველადი გრაგნილის დენი:

$$I_1 = \frac{1,2P}{U_1}$$

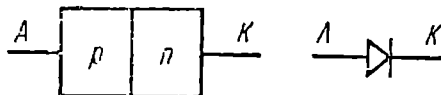
თითოეული გრაგნილის სადენის დიამეტრი დენებთან დამოკიდებულებაში:

$$d_1 = 0,7 + 0,8\sqrt{I_1} \text{ მმ};$$

$$d_2 = 0,7 + 0,8\sqrt{I_2} \text{ მმ}.$$

9.12 ნახევრადგამტარიანი დიოდები

დიოდებს უწოდებენ ელექტროწრედის ორელექტროდიან ელემენტებს, რომლებიც ხასიათდებიან დენის ერთმხრივი გამტარობით (ნახ.9.2)



ნახ.9.2 დიოდის პირობითი აღნიშვნა

დიოდებში ერთმხრივი გამტარობა განპირობებულია ნახევარგამტაროვან სტრუქტურის გამოყენებით, რომელიც აერთიანებს თავის თავში ორ ფენას, რომელთაგან ერთ მათგანს აქვს ხერელოვანი (p), ხოლო მეორეს ელექტრონული ელექტროგამტარობა. დიოდის აღნიშვნა ელექტროსქემებში მოცემულია ნახ.9.2-ზე. ნახევრადგამტარიანი დიოდის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ისეთი პროცესების სპეციფიკაზე, რომლებიც მიმდინარეობენ p და n ფენების გაყოფის ზღვარზე, ე.წ. ელექტრონულ-ხერელოვან გადასვლაზე ($p-n$ გადასვლაზე).

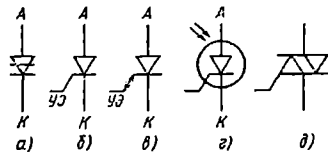
თუ დიოდის $p-n$ გადასვლას მოვდებთ ძაბვას პირდაპირი მიმართულებით, ე.ი. p -უბანზე მივაწოდებთ დადებით პოტენციალს, მაშინ გადასვლის შესაბამისი პოტენციალური ბარიერი მცირდება და იწყება ხერელების ინტენსიური ინექცია p -არედან n -არეში, ხოლო ელექტრონებისა n -არედან p -არეში მიედინება დიდი პირდაპირი დენი. თუ ძაბვას მოვდებთ უკუ მიმართულებით, მაშინ პოტენციალური ბარიერი ამადლდება და $p-n$ გადასასვლელის გავლით გაივლის მხოლოდ უმნიშვნელო სიდიდის დენი ანუ ე.წ. უკუ დენი.

9.13 ტირისტორები

ტირისტორი ოთხფენოვანი ნახევრადგამტარიანი ხელსაწყო, რომელიც ფლობს ორ მდგრად მდგომარეობას, დაბალი გამტარობის მდგომარეობას (ტირისტორი დაკეტილია) და მაღალი გამტარობის მდგომარეობას (ტირისტორი ღია). ტირისტორის გადაყვანა დაკეტილიდან ღია მდგომარეობაში ელექტროწრედში ხორციელდება ხელსაწყოზე გარე ზემოქმედებით.

ტირისტორების ძირითად ტიპებს მიეკუთვნებიან დიოდური და ტრიოდური ტირისტორები. დიოდურ ტირისტორებში (დინისტორებში) ხელსაწყოს გადასვლა ჩაკეტილი მდგომარეობიდან ღია მდგომარეობაში დაკავშირებულია იმასთან, რომ ძაბვა ანოდსა და კათოდს შორის აღწევს რაიმე ზღვრულ მნიშვნელობას, რაც ხელსაწყოს პარამეტრს წარმოადგენს. ტრიოდულ ტირისტორებში ხელსაწყოს მდგომარეობის მართვა წარმოებს მესამე-მმართველი ელექტროდის მეშვეობით. განაჩევენ ერთ ან ორ ოპერაციულ ტირისტორებს. ერთოპერაციულ ტირისტორებში შესაძლებელია მხოლოდ მისი გაღება. ამ მიზნით მმართველ ელექტროდზე მიეწოდება ძაბვის დადებითი იმპულსი. ერთოპერაციულ ტირისტორის დაკეტვა წარმოებს ანოდ-კათოდის ძაბვის პოლარულობის შეცვლით. ოროპერაციული ტირისტორის მმართველი ელექტროდის საშუალებით ხდება როგორც გახსნა, ისე ხელსაწყოს ჩაკეტვა. ჩაკეტვისას მმართველ ელექტროდზე მიეწოდება ძაბვის უარყოფითი იმპულსი. ფოტოტირისტორებში ხელსაწყოს გახსნა წარმოებს სინათლის იმპულსის დახმარებით.

ყველა ზემოთჩამოთვლილი ხელსაწყო ასრულებს უკონტაქტო გასაღების ფუნქციას; იმ ხელსაწყოს, რომელსაც შეუძლია გაატაროს დენი ორივე მიმართულებით უწოდებენ სიმისტორს. თავის დანიშნულების მიეხედვით სიმისტორი მოწოდებულია შეასრულოს ორი ჩვეულებრივი ტირისტორის ფუნქცია, რომლებიც ჩართულნი იქნებიან შემხვედრ-პარალელურად.



ნახ. 9.3 ტირისტორების ძირითადი ტიპები

10. წინააღობის ელექტროლუმენება

10.1 ზოგადი მიმოხილვა

ელექტრული ღუმელი სადნობი ან გამახურებელი ღუმელი, რომელშიც გამოიყენება ელექტროტექნიკური მოვლენების სითბური ეფექტი. ელექტროთერმიული მოწყობილობის ყველაზე არსებითი თავისებურებები ელინდებიან მათი კლასიფიცირების დროს გახურების მეთოდის მიხედვით, ე.ი. ელექტროენერჯის სითბურ ენერჯიაში გარდაქმნის და მისი გადაცემის მეთოდის მიხედვით გასახურებელი სხეულისადმი.

წინააღობის მეთოდით გახურებისას განარჩევენ :

1. ირიბ გახურებას როდესაც სითბო გამოიყოფა სპეციალურ გამახურებლებში, რომლებიც ჩართულნი არიან ელექტროქსელში და მათგან გადაეცემა გასახურებელ სხეულს სითბოგადაცემის კანონების მიხედვით.

2. სითბო გამოიყოფა თვით გასახურებელ სხეულში, რომელიც უშუალოდ ჩართულია ელექტროქსელში.

ირიბი გახურების წინააღობის ელექტროლუმენები უზრუნველყოფენ ზუსტ თანაბარ გახურებას და საიმედონი არიან ექსპლოატაციაში. ასეთ ღუმელებში პრაქტიკულად შეუძლებელია მაღალი ტემპერატურების მიღება და გახურების დიდი სიქარეები, რაც დაკავშირებულია გამახურებლების შეზღუდულ მხურვალმტკიცებასა და მხურვალმედეგობასთან. ამიტომ ასეთ ღუმელებს იყენებენ ადვილადდნობადი ლითონების სადნობად (კალა, ტყვია, ალუმინი, მაგნიუმი და სხვ), აგრეთვე მიქსერების სახით, ლაბორატორიულ და დამხმარე ღუმელებად, როდესაც არ თხოვლობენ პროცესების ინტენსიფიცირებას.

ინდუქციური ღუმელები უზრუნველყოფენ თანაბარ და ზუსტ გახურებას მაღალი მქ-ით. ამ ღუმელების უარყოფით მხარეებს მიეკუთვნება ამონაგის მუშაობის მძიმე პირობები და მოწყობილობის მაღალი ფასები.

ინდუქციური ღუმელები ფართოდ გამოიყენება ფერადი და მსუბუქი ლითონების გამოსადნობად, აგრეთვე თუჯის და სხვა შენადნობების მისაღებად (რკინის და ნიკელის ფუქეზე), ხარისხოვანი ფოლადების წარმოებაში.

ამონაგის ხარისხის გაუმჯობესებასთან ერთად იზრდება ამ ღუმელების ფოლადის გამოსადნობად გამოყენების მოცულობა. გრაფიტის ტიგელიან

ელექტროინდუქციურ ღუმელში შეიძლება გამოდნობილ იქნენ გაუმტარი მასალები.

რკალური ელექტროღუმელები განაპირობებენ მაღალი სიმძლავრეების კონცენტრაციას და გახურების დიდ სიჩქარეებს. ამ ღუმელების უარყოფითი მხარეებია: ადგილობრივი გადახურებები, რაც დაკავშირებულია ლითონის წვასთან და ამონაგის რღვევა-ცვეთასთან, ელექტროდების მაღალი ფასები და დიდი ხარჯები.

რკალურ ღუმელებს ფართოდ იყენებენ შავი ლითონების გამოსადნობად, არალითონური მასალების (ცეცხლგამძლეების და სხვ) მისაღებად, ვაკუუმური გადადნობისთვის.

10.2 წინაღობის ელექტროღუმელების სახეობები

ირიბი გახურების წინაღობის ღუმელები ტემპერატურული რეჟიმის მიხედვით იყოფა მცირე, საშუალო და მაღალტემპერატურულ ღუმელებად.

პირველი ჯგუფის ღუმელების ტემპერატურის ზემო ზღვრები არის 600-650°C და სითბოგაცვლის პროცესები მიმდინარეობენ კონვექციის მნიშვნელოვანი ან უმეტესი როლით.

საშუალო და მაღალტემპერატურულ ღუმელებში სითბოგაცვლის პროცესი ძირითადად ხორციელდება გამოსხივებით, ხოლო კონვექციური სითბოგაცვლის ხვედრითი წილი უმნიშვნელოა.

საშუალო ტემპერატურული ღუმელების გახურების ზემო ზღვარი 1200-1250°C-ია, რაც განისაზღვრება გამახურებელი ელემენტებისთვის სპეციალური შენადნობების გამოყენებით. ასეთი ღუმელების ტექნოლოგიური გამოყენება საკმაოდ ფართოა: წრთობის, ნორმალიზაციის, მოწვის და სხვა თერმული დამუშავების სახეობებისათვის.

1250°C ტემპერატურის ზემოთ მაღალტემპერატურული ღუმელები ფართოდ გამოიყენება ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესებში, როგორებიცაა: მონოკრისტალების გამოყენება, ძნელადდნობადი ლითონების წარმოება, ლითონნაშხადთა შეცხობა და სხვ.

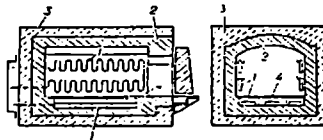
ზოგადად, ღუმელი შედგება სამუშაო კამერისაგან, რომელიც ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით და იტეეს ნაკეთობებს და გამახურებელ ელემენტებს, რომლებიც იზოლირებულნი არიან ლითონის გარცმისგან თბოსაიზოლაციო ფენით (იხ.ნახ.10.1). ღუმელის კამერაში მომუშავე ლითონის დეტალები და მექანიზმები დამზადებულნი უნდა იყვნენ მხურვალმტკიცე და მხურვალმდეგი

მასალებისგან. ერთნაირი დიდი რაოდენობის დეტალების გახურებისთვის იყენებენ უწყვეტი მოქმედების ღუმელებს (მეთოდური გახურების), რომლებშიც ნაკეთობები უწყვეტად გადაადგილდებიან ერთი ტორსიდან მეორე ტორსისკენ. ასეთი ღუმელების მწარმოებლურობა მაღალია, გახურება თანაბარი და ენერგიის ხარჯი შედარებით დაბალი. როგორც წესი ისინი მექანიზირებულნი არიან.

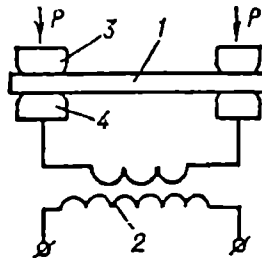
ნახ.10.1-ზე გამოსახულია პერიოდული მოქმედების კამერული ღუმელის სქემა, სადაც

- 1 - გამახურებელი ელემენტები;
- 2 - ამონაგის ცეცხლგამსლე ნაწილი;
- 3 - სითბოიზოლაციის ფენა;
- 4 - მხურვალმდეგი ქედის ფილა.

პირდაპირი მოქმედების ღუმელებში ნაკეთობა გახურებას განიცდის მასში გამავალი დენით, რაც განაპირობებს მის სწრაფ გახურებას (წმ-ში, წთ-ში). ნახ.10.2-ზე ნაჩვენებია პირდაპირი მოქმედების წინაღობის ღუმელის სქემა:



ნახ.10.1 კამერული ღუმელი



ნახ.10.2 პირდაპირი გახურების ღუმელის სქემა

1-გამახურებელი ნაკეთობა; 2-დამწვევი ტრანსფორმატორი;
3,4-კონტაქტები

10.3 წინაღობის ელექტროლუმენებში გამოყენებული გამახურებელი ელემენტები

წინაღობის სამრეწველო ღუმელების ელექტროგამახურებელ ელემენტებს ამზადებენ 1200°C-მდე ტემპერატურის პირობებში მომუშავე სპეციალური ლითონური მხურვალმედევი შენადნობებისგან, 1350°C-მდე მომუშავე ღუმელებისთვის კი იყენებენ კარბორუნდის გამახურებელებს (სილიციუმის კარბიდის). 1350°C-ზე მაღალი ტემპერატურის პირობებში მომუშავე ღუმელებისთვის გამოიყენება მოლიბდენის, ეოლფრამის, ნახშირის, გრაფიტის და მოლიბდენის დისილიციდის გამახურებლები. ლითონურ გამახურებელ ელემენტებს ამზადებენ მრგვალი მათეულისა ან ლენტისგან. გამახურებლების მასალების თვისებები იხ. ცხრილში 10.1.

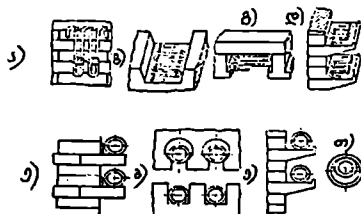
ცხრილი 10.1.

მასალის დასახელება მარკა შედგენილობა,%	კუთრი ელექტროწინაღობა ρ , 10^{-6} , ომ.მ	გადნობის ტემპერატურა $t_{\text{დ}}$, °C	მაქსიმალური სამუშაო ტემპერატურა $t_{\text{შკ}}$, °C	გამოყენების არე
ფებრალი X13H04	1,26(20°C); 1,28(200°C) 1.32(400 °C); 1.42(800°C)	1450	800	დაბალტემპერატურული ღუმელები 500°C-მდე და საყოფაცხოვრებო გამახურებლები, შეუქლიათ იმუშაონ გოგირდოვან ატმოსფეროში.
X25H20	0.92(20°C); 1,08 (400°C); 1,12(600°C); 1.3(800°C)	1400-1430	1000	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები 900°C-მდე, პაერი, ვაკუუმში, იჭიმება გოგირდოვან ატმოსფეროში.
X15H60	1,11(20°C); 1,18(400°C); 1,2(600°C); 1,21(800°C); 1,23(1000°C);	1370-1410	1000	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები 950°C-მდე, პაერი, ვაკუუმში, იჭიმება გოგირდოვან ატმოსფეროში.

მასალის დასახელება მარკა შედგენილობა,%	კუთრი ელექტროწინალობა ρ , 10^{-6} , ომ.მ	გაღნობის ტემპერატურა $t_{\text{ღ}}$, °C	მაქსიმალური სამუშაო ტემპერატურა $t_{\text{მკ}}$, °C	გამოყენების არე
X20H80	1,09(20°C); 1,13(600°C) 1.11(800°C); 1.12(1000°C)	1390-1420	1100	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები 1050°C-მდე, პაერი, ვაკუუმი, იჭმევა გოგირდოვან ატმოსფეროში.
XH70O	1.34(20°C); 1,42(400°C) 1.40(600°C); 1,4(800°C) 1.45(1000°C)	1390-1420	1200	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები 1100°C - მდე პაერი, ვაკუუმი, იჭმევა გოგირდოვან ატმოსფეროში.
X23IO5A	1,35(20°C);1.42(600°C) 1.45(800°C); 1.46(1200°C)	1500-1510	1200	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები, პაერი, ვაკუუმი, გოგირდოვან არეში.
X27IO5A	1.42(20°C); 1.46(600°C) 1,48(1000°C);1,48(1200°C)	1500-1510	1300	საშუალო ტემპერატურული ღუმელები 1250°C-მდე, პაერი, ვაკუუმი, გოგირდოვან არეში.

ნახ.10.3-ზე ნაჩვენებია მათეულის და ლენტის მაგვარი გამახურებლების დამაგრების სხვადასხვა ვარიანტები:

- ა) ჩამოკიდებულია ვერტიკალურ კედელზე კაუჭების დახმარებით (ლენტა);
- ბ) მოთავსებულია ქვედის ღარებში (ლენტა);
- გ) მოთავსებულია თაღქვეშა თაროზე (ლენტა);
- დ) მოთავსებულია ვერტიკალური კედლის თაროებზე (ლენტა);
- ე) მათეულის სპირალური ელემენტი მოთავსებულია ვერტიკალურ კედელზე;
- ვ) მოთავსებულია თადის ან ქვედის კილოებში (მათეული);
- თ) ჩამოკიდებულია კერამიკის მილაკზე (მათეული);



ნახ.10.3

10.4 წინაღობის ელექტროლუმელის თბური ანგარიში

თბური ანგარიშის მიზანია: ღუმელის ძირითადი პარამეტრების სიმძლავრის, უკმი სელის დანაკარგების, ელექტროენერგიის კუთრი ხარჯის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრა.

ზოგად შემთხვევაში ჩასატვირთ ღუმელში ერთი ციკლის განმავლობაში გამოიყოფა სითბოს შემდეგი რაოდენობა

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{სს}} + Q_{\text{ღაშ}} + \Sigma \Delta Q_{\text{ღსკ}} \text{ [კჯ]}$$

სადაც $Q_{\text{სს}}$ სასარგებლო სითბოს რაოდენობაა, რომელიც აუცილებელია ნაშადის გასახურებლად;

$Q_{\text{ღაშ}}$ სითბოს რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია დამხმარე სამარჯვეების, ქვეშების, მუფელების, კალათების და სხვ. გასახურებლად;

$\Sigma \Delta Q_{\text{ღსკ}}$ - სითბოს ჯამური დანაკარგები.

სითბოს დანაკარგები გახურების ერთი ციკლის განმავლობაში პერიოდული მოქმედების ღუმელისთვის დამოკიდებულია ციკლის დროსგან

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{გახ}} + \tau_{\text{გაც}} + \tau_{\text{მოცდ}} ,$$

რომელიც შედგება გახურების, გაციების და მოცდენების დროთა ჯამისგან.

ჩატვირთვა-გამოტვირთვის დროს ღუმელი კარგავს ამონაგის მიერ აკუმულირებული სითბოს დიდ ნაწილს. გაციების დროს დაკარგული სითბოს რაოდენობა დამოკიდებულია ამონაგის მიერ აკუმულირებული სითბოს რაოდენობისგან.

პერიოდული მოქმედების ღუმელის სიმძლავრე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს გამოსახულებით

$$P_{\text{ღ}} = K \frac{Q_{\Sigma}}{\tau_{\Sigma}} = K (P_{\text{სს}} + P_{\text{ღაშ}} + P_{\text{ღსკ}}) ,$$

სადაც K არის მარაგის კოეფიციენტი და ტოლია 1,2 + 1,5, რომელიც ითვალისწინებს:

1) ქსელის ძაბვის შემცირების შესაძლებლობას;

2) გამახურებელი ელემენტების წინაღობის გაზრდას მასალის დაბერების შედეგად დროთა განმავლობაში;

3) ღუმელის გახურების რეჟიმის ფორსირებას ცივი მდგომარეობიდან.

რაც უფრო მაღალია ღუმელის სამუშაო ტემპერატურა და რაც უფრო მასიურია ამონაგი, მით უფრო დიდი რაოდენობის სითბო აკუმულირდება ამონაგით.

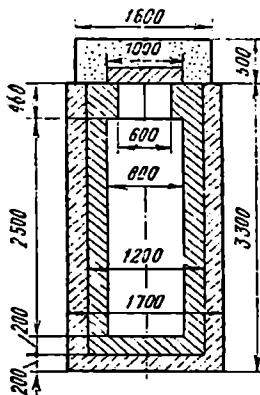
განვიხილოთ შახტური ტიპის ცილინდრული ელექტროლუმების თბური და ელექტრული პარამეტრების ანგარიშები

მაგალითი 1.

დავაპროექტოთ სპეციალური ფოლადისგან დამზადებული ლილვის თერმიული დამუშავების ღუმელი, რომლის დიამეტრია 400მმ, ხოლო სიგრძე 2000მმ; ტემპერატურული რეჟიმი შედგება გახურებისგან $950 \pm 10^{\circ}\text{C}$ და ღუმელშივე ნელი გაციებისგან 650°C -მდე საათში არა უმეტეს 10°C სიჩქარით, რის შემდეგ ნაკეთობა შეიძლება გამოტანილი იქნეს ღუმელიდან. გახურების პერიოდში ტემპერატურების სხვაობა ნაკეთობაში არ უნდა აღემატებოდეს 50°C -ს. მასალის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda = 41,9 \text{ ეტ}/(\text{მ}\cdot^{\circ}\text{C})$, ხოლო კუთრი სითბოტევადობა $C_{\text{სკ}} = 0,63 \cdot 10^3 \text{ ჯ}/(\text{კგ}\cdot^{\circ}\text{C})$. ლილვის გახურება წარმოებს ვერტიკალურ მდგომარეობაში. ლილვის მასა $G_{\text{სკ}} = 1960 \text{ კგ}$ -ია.

ვინაიდან დავალების მიხედვით ლილვის გახურება უნდა მოხდეს ვერტიკალურ მდგომარეობაში და ვინაიდან დანადგარის მწარმოებლურმა მაღალი არ არის, ღუმელის ყველაზე მიზანშეწონილ ტიპს წარმოადგენს შახტური ცილინდრული ტიპის ელექტროლუმელი, რომელიც გათვლილია ერთი ცალი ლილვის გახურებისთვის.

სითბური დანაკარგების განსაზღვრისთვის ვაპროექტებთ ამონაგს იხ.ნახ.10.4. ღუმელის შიგა დიამეტრის ვიღებთ 800მმ-ის ტოლად, ვინაიდან ვითვალისწინებთ ნაკეთობის სიმძიმეს და სპეციალურ საკიდს, მშინ ღუმელის ხახის დიამეტრი იქნება 600მმ, ხოლო სასარგებლო სიმაღლე 2500მმ.



ნახ.10.4 შახტური ტიპის ცილინდრული ელექტროლუმელის ესკიზი

ლუმელის კედლებს ვაგებთ 1000 კგ/მ³ სიმკვრივის 200 მმ სისქის მსუბუქწონა აგურით და დიატომიტის 250 მმ სისქის 650 კგ/მ³ სიმკვრივის აგურით. ლუმელის ქველს კი მსუბუქწონა აგურით და დიატომიტის 200 მმ სისქის აგურით. ლუმელის სახურავს ვაწყობთ შამოტის ფილებით, რომელთა სიმკვრივეა 300 კგ/მ³, ხოლო სისქე 300 მმ.

ლუმელის შიგა არეში ვიღებთ 1000 °C ტემპერატურას და კედლის მსუბუქწონა და დიატომიტის აგურების ფენებს შორის 650 °C, ხოლო ქველზე -500 °C. ლუმელის გარცმის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 50 °C.

პირველ რიგში ვსაზღვრავთ ლილვის გახურების დროს $\tau_{\text{გახ}}$, რისთვისაც აუცილებელია ვიცოდეთ კუთრი სასარგებლო სითბური ნაკადის მნიშვნელობა $q_{\text{სას}}$.

სასარგებლო სითბური ნაკადის მნიშვნელობა განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$q_{\text{სას}} = \frac{5,76}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{სა}}} + \frac{F_{\text{სა}}}{F_{\text{კვლ}}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{კვლ}}} - 1 \right)} X \left[\left(\frac{T_{\text{გ}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{სა}}}{100} \right)^4 \right],$$

სადაც მიღებულია რომ $F_{\text{სა}}$ ნაკლებია ან უკიდურეს შემთხვევაში უდრის $F_{\text{კვლ}}$ უკანასკნელი წარმოადგენს ლუმელის კამერის კედლების ზედაპირის ფართობს, რომლებზეც დამაგრებულია გამახურებლები;

$T_{\text{გ}}$ ლუმელის პირობითი ტემპერატურაა საშუალო კედლის და გამახურებლების ტემპერატურებს შორის. იგი შეზღუდულია გამახურებლების დასაშვები მუშა ტემპერატურით და უნდა იყოს უკიდურეს შემთხვევაში 50 °C-ით ნაკლები უკანასკნელთან შედარებით.

სითბური გამოსხივების კოეფიციენტები $\varepsilon_{\text{სა}} = 0,8$, ხოლო გამახურებლებისა და ამონაგისა - $\varepsilon_{\text{კვლ}} = 0,9$.

პირველადი მიახლოების საფუძველზე ვიღებთ, რომ $F_{\text{სა}}/F_{\text{კვლ}}$ ტოლია 0,5, ხოლო ნაკეთობის ტემპერატურა პირველი პერიოდის ბოლოს ტოლია საბოლოო ტემპერატურის 0,85-ისა ე.ი. 950 X 0,85=810 °C, ანუ 1083 K. მოცემული მნიშვნელობების ზემოთმოყვანილ გამოსახულებებში შეტანით მივიღებთ სასარგებლო სითბური ნაკადის სიდიდეს

$$q_{\text{სას}} = \frac{5,76}{\frac{1}{0,8} + 0,5 \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right)} X \left[\left(\frac{1273}{100} \right)^4 - \left(\frac{1083}{100} \right)^4 \right] = 55100 \text{ ვტ/მ}^2.$$

მეორეს მხრივ, დასაშვებ მაქსიმალურ კუთრ სითბურ ნაკადს განესაზღვრავთ $\Delta t_{\max} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ პირობიდან

$$q_{\text{სახ}} = \frac{\Delta t_{\max}}{R} = \frac{50 \cdot 2 \cdot 41,9}{0,2} = 20950 \text{ ვტ/მ}^2,$$

სადაც $R = 0,2 \text{ მ}$ - ლილვის რადიუსია.

$q_{\text{სახ}} = \text{const}$ პირობებში ნაკეთობის ზედაპირის ტემპერატურა t'' ტოლი იქნება

$$t'' = 100 \sqrt[4]{\left(\frac{1273}{100}\right)^4 - \frac{20950}{4,41}} - 273 = 938 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ლილვის გახურების დრო 938°C -მდე ტოლი იქნება

$$\tau = 0,25 \frac{R^2}{a} + \frac{c\rho R}{2q_{\text{სახ}}} (t'' - t') = 0,25 \frac{0,2^2}{8,53 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} + \frac{0,63 \cdot 10^3 \cdot 7800 \cdot 0,2(938 - 73,5)}{2 \cdot 20950 \cdot 3600} = 0,33 + 5,63 = 5,96 \text{ სთ.}$$

სადაც a არის ნაკეთობის (ლილვის) ტემპერატურა გამტარობის კოეფიციენტი და უდრის

$$a = \frac{41,9}{0,63 \cdot 10^3 \cdot 7800} = 8,53 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ.}$$

ვიღებთ რა ნაკეთობის საწყის ტემპერატურას 10°C ტოლად ნაკეთობის გახურების დრო შეადგენს

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 5,96 + 0,5 = 6,5 \text{ სთ.}$$

ნაკეთობის გახურებაზე დახარჯული სასარგებლო სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$P_{\text{ნაკ}} = \frac{Q_{\text{ნაკ}}}{860 \cdot 4,2\tau} = \frac{C_{\text{ნაკ}} \cdot G_{\text{ნაკ}} \cdot (t_{\text{სახ}} - t_{\text{საწყ}})}{860 \cdot 4,2\tau} = 1,2 \cdot 52,6 = 63 \text{ კვტ,}$$

სადაც $t_{\text{საწყ}}$ და $t_{\text{სახ}}$, ნაკეთობის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია, $^{\circ}\text{C}$ -ში; $C_{\text{ნაკ}}$ და $G_{\text{ნაკ}}$ - მნიშვნელობები აღებულია მაგალითის პირობიდან.

ანალოგიურად განისაზღვრება დამხმარე სამარჯვების გახურებაზე დახარჯული თბური სიმძლავრე

$$P_{\text{დამ}} = \frac{C_{\text{დამ}} \cdot G_{\text{დამ}} (t_{\text{სახ}} - t_{\text{საწყ}})}{860 \cdot 4,2\tau} = 1,2 \cdot 4,16 \approx 5 \text{ კვტ.}$$

$G_{\text{დამ}} = 200 \text{ კგ}$ საკიდის დაახლოებითი მასაა (10% ნაკეთობის მასიდან) და

$C_{\text{დამ}} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ ჯ/(კგ } ^{\circ}\text{C)}$ - არის ქრომნიკელოვანი ფოლადის სითბოტევადობა.

ღუმელის თბური დანაკარგების გამოანგარიშებისთვის საჭიროა განისაზღვროს თბოსაიზოლაციო მასალების სითბოგამტარობის კოეფიციენტები (იხ. ცხრილი 10.2)

მასალის დასახელება (ეცხლგამძლეების სახეობა)	სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, λ , ეტ/ (მ°C)
მსუბუქწონა აგური გამოსაწეაუი დამატებით A1 -1,3	$0.407+0.349 \cdot 10^{-3} t$ საშ
ოგიე -1 E1	$0.291+0.256 \cdot 10^{-3} t$ საშ
დინასის ქაფმსუბუქწონა	$0.547+0.299 \cdot 10^{-3} t$ საშ
შამოტის აგური	$0.837+0.582 \cdot 10^{-3} t$ საშ
დინასის აგური	$0.93+0.698 \cdot 10^{-3} t$ საშ
დიატომიტური აგური	$0.145+0.314 \cdot 10^{-3} t$ საშ
წილის ბამბა	$0.06+0.157 \cdot 10^{-3} t$ საშ

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული ღუმელის სამუშაო სიერცეში 1000°C ტემპერატურისას მსუბუქწონა და დიატომიტის აგურების ფენებშიორისო ტემპერატურას ვიღებთ 650°C-ის ტოლად, ქვედზე 500°C, ხოლო ღუმელის გარცმის ტემპერატურას - 50°C-ის ტოლად.

მაშინ λ - ღუმელის კედლებისთვის ტოლი იქნება (იხ.ცხრილი 10.2)

$$\lambda_{\text{მსუბ}} = 0.29 + 0.26 \frac{1000 + 650}{2} 10^{-3} = 0.505 \text{ ეტ/ (მ. } ^\circ\text{C)}$$

$$\lambda_{\text{დიატ}} = 0.145 + 0.314 \frac{650 + 50}{2} 10^{-3} = 0.236 \text{ ეტ/ (მ. } ^\circ\text{C)}$$

ღუმელის კედლების სითბური დანაკარგები ტოლია:

$$q_{\text{კედ}} = \frac{\pi(t_{\text{გო}} - t_{\text{გარ}})H}{\frac{1}{2\lambda_{\text{მსუბ}}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{\text{დიატ}}} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha d_4}} = \frac{3,14(1000 - 10)2,9}{\frac{1}{2 \cdot 0,505} \ln \frac{1,2}{0,8} + \frac{1}{2 \cdot 0,236} \ln \frac{1,7}{1,2} + \frac{1}{11,6 \cdot 1,7}} =$$

$$= \frac{9015}{0,401 + 0,746 + 0,051} = 7525 \text{ ეტ.}$$

სადაც $\alpha = 11.6$ ეტ/(მ²°C) - სითბოგაცემის კოეფიციენტიია;

2.9მ - ღუმელის კედლების საშუალო სიმაღლე;

ღუმელის ქვედისთვის დანაკარგები კედლების დანაკარგების 10-12%-ია;

ე.ი. $q_{\text{ქვედ}} \approx 900$ ეტ. ამდენივე იქნება სახურავის დანაკარგები: $q_{\text{სახ}} \approx 900$ ეტ.

ამრიგად, ღუმელის სითბური დანაკარგები

$$q_{\text{დაბ}} = 1,2(7525 + 900 + 900) \approx 11000 \text{ ეტ.}$$

სადაც 1,2 არის მარაგის კოეფიციენტი.

განსახილველი მაგალითის პირობით ღუმელშივე ხდება ნაკეთობის ნელი გაცივება 650°C-მდე საათში არა უმეტეს 10°C სიჩქარით. ღუმელის გაცივების დროის განსაზღვრისათვის გამოანგარიშებული უნდა იქნეს ჩატვირთული ღუმელის მიერ აკუმულირებული სითბო და სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც ღუმელმა უნდა დაკარგოს გაცივების პერიოდში.

ჩატარებულმა ანგარიშებმა გვიჩვენა, რომ ღუმელის გაცივების ხანგრძლივობა 650°C-მდე შეადგენს 42,2 საათს, ხოლო ერთი სრული ციკლის დრო 50 საათს. სითბოს სრული ხარჯი ერთ ციკლზე ტოლია $248 \cdot 10^7$ ჯოჯის. ღუმელის მარტივქმედების კოეფიციენტი (მ.კ.) $\eta = 0.473$. განხილული რეჟიმისათვის ღუმელის სიმძლავრე $P_{\text{ღ}} = 130$ კვტ.

როგორც ჩანს ღუმელის მ.კ. ძლიერ დაბალია, რაც განპირობებულია სითბოს დიდი დანაკარგით და ნაკეთობების ღუმელთან ერთად გაცივებით. ამასთან ერთად ღუმელის სიმძლავრე უნდა იყოს დიდი, ვინაიდან გახურების დროს უნდა შეეავსოთ დანაკარგები ამონაგის გაცივების პერიოდში.

მიღებული 130 კვტ სიმძლავრიდან სასარგებლო მხოლოდ 63 კვტ-ია, ამიტომ მიზანშეწონილია განეაცალკევოს გაცივების პროცესი გახურებისგან ნაკეთობის გადატანით სპეციალურ ჭაში, რომელიც გახურდება ნაკეთობის მიერ გამოყოფილი სითბოთი, ამასთან გაცივების საჭირო სიჩქარეს მივიღებთ თბოსანიზოლაციო მასალის შერჩევით.

თუ ღუმელის ტემპერატურული რეჟიმიდან გამოვიციხავთ ნელი გაცივების პირობას, მაშინ ღუმელის მ.კ. საგრძნობლად გაიზრდება, ამასთან შემცირდება ღუმელის სიმძლავრე

$$P_{\text{ღ}} = P_{\text{ნაკ}} + P_{\text{ღამ}} + q_{\text{დან}} = 63 + 5 + 11 \approx 80 \text{ კვტ.}$$

განხილული მაგალითი გვიჩვენებს, რომ არახელსაყრელია ნაკეთობის ღუმელთან ერთად გაცივება, ამიტომ ამ პროცესს პრაქტიკაში ატარებენ ღუმელსგარეშე.

10.5 წინაღობის ღუმელების ელექტრული ანგარიში

წინაღობის ღუმელების ელექტრული ანგარიშის მიზანია გამახურებელი მასალის შერჩევა და მათი გეომეტრიული ზომების განსაზღვრა. ამასთან

უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ელექტროგამახურებლების მუშაობის ექსპლოატაციის საკმარისი ხანგრძლივობა მათი საჭირო სიმძლავრის შენარჩუნებით.

გამახურებლის მუშაობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია მისი ზედაპირის დაჯანგვის პირობებზე და კუთრ ზედაპირულ სიმძლავრეზე (ვტ/სმ²).

გამახურებელი ელემენტის გაანგარიშების დროს კუთრი სიმძლავრის სიდიდეს ირჩევენ ისე, რომ გამახურებლის ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს დასაშვებ მნიშვნელობებს.

კუთრი სიმძლავრე დამოკიდებულია არამარტო ელემენტის ტემპერატურისგან და გასახურებელის მასალის გეარობისგან, არამედ მათ შორის სითბოგაცვლის პირობებისგან, სახელდობრ მათი გარემოს ხასიათისგან, ზედაპირის მდგომარეობისგან და სხვა ფაქტორებისგან. მას განსაზღვრევენ თბოტექნიკური გაანგარიშებების საფუძველზე ან გამოცდილების გზით, ამიტომ გამახურებელი ელემენტების ანგარიშის დროს ერთ-ერთ ძირითად საკითხს წარმოადგენს კუთრი სიმძლავრის სწორი შერჩევა.

გამახურებლების ზომების გაანგარიშებისთვის გამოიყენება სიმბოლო-აღნიშვნები:

R – წინაღობა, ომ - ში;

ρ – გამახურებლის კუთრი წინაღობა მუშა ტემპერატურისათვის, ომ.მ - ში;

L – სიგრძე, მ - ში;

Δ – განივი კვეთის ფართობი, მმ²;

d – მავთულმაგვარი გამახურებლის დიამეტრი, მმ - ში;

a, b – სისქე და სიგანე შესაბამისად ლენტური ტიპის გამახურებლებში, მმ - ში;

Π – პერიმეტრი, მმ - ში;

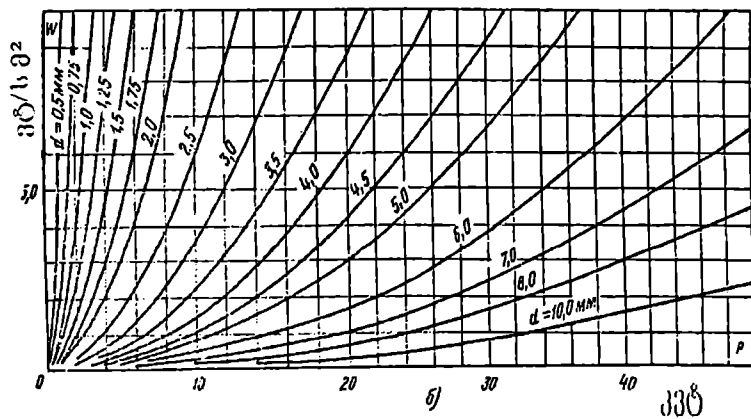
P – გამახურებლის სიმძლავრე, კვტ - ში;

U – ძაბვა გამახურებელზე, ვოლტებში;

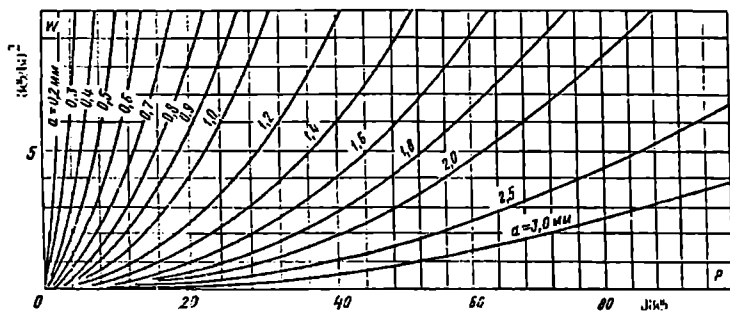
W – გამახურებლის კუთრი ზედაპირული სიმძლავრე ვტ/სმ²;

F – გამახურებლის ზედაპირის ფართობი, სმ²;

გამახურებლების გაანგარიშების გამარტივების მიზნით ნახ.10.5 და 10.6-ზე, მოცემულია ღუმელის სიმძლავრის, გამახურებლის კუთრი ზედაპირული სიმძლავრის *W*-ს და მისი დიამეტრიც *d* (მავთულისთვის) ან სისქის *α* (ლენტისთვის) ერთმანეთთან დამოკიდებულების გრაფიკები.



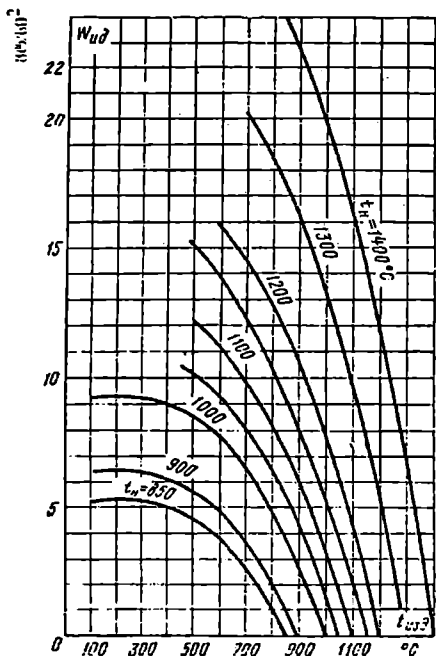
ნახ.10.5 მათეულოვანი გამახურებლების
საანგარიშო მრუდები



ნახ. 10.6 ლენტური გამახურებლების
საანგარიშო მრუდები

ამ გრაფიკების დახმარებით გამახურებლის მოცემული სიმძლავრისათვის ($U = 220$ ვ პირობებში) შესაძლებელია მავთულის დიამეტრის, ან ლენტის სისქის სწრაფი განსაზღვრა, რომლებიც შეესაბამებიან გამახურებლის კუთრ ზედაპირულ სიმძლავრეს W .

ნახ.10.7-ზე მოცემული გრაფიკის დახმარებით განსაზღვრავენ დასაშვებ ხვედრით ზედაპირულ სიმძლავრეს ($W_{\text{ფ}}$) იდეალური გამახურებლისთვის (როდესაც ღუმელში ახურებენ ფოლადს).



ნახ.10.7 კუთრი ზედაპირული სიმძლავრეების გრაფიკი იდეალური გამახურებლებისათვის (ფოლადის გახურებისას)

ცხრილ 10.3-ის მიხედვით გამახურებლის შერჩეული სისტემის დახმარებით განსაზღვრავენ შეფარდებას $W/W_{\text{ფლ}}$ და კუთრი ზედაპირული სიმძლავრის მნიშვნელობას (W).

ცხრილი 10.3

გამახურებლის ტიპი	გასახურებელი ნაკეთობების მასალა				
	ფოლადი $\epsilon = 0,8$	სპილენძი $\epsilon = 0,7$	თითბერი $\epsilon = 0,6$	ფოლადი დამცვატმოსფ $\epsilon = 0,45$	ალუმინი $\epsilon = 0,3$
ლენტური ზიგზაგური გამახურებელი	0.46	0.47	0.48	0.51	0.54
მაეთულის სპირალი, ღიათ და მილაკზე	0.46	0.47	0.48	0.49	0.54
ლენტური ზიგზაგური კილოში	0.44	0.45	0.46	0.50	0.54
მაეთულის სპირალი კილოში	0.31	0.32	0.33	0.34	0.36
ლენტური ზიგზაგი კერამიკულ თაროზე	0.41	0.43	0.44	0.47	0.50
მაეთულის სპირალი კერამიკულ თაროზე	0.39	0.40	0.41	0.44	0.47
მაეთულის ზიგზაგი	0.68	0.69	0.71	0.73	0.75

ზემოთგანხილული ცილინდრული შახტური ღუმელისთვის ვიღებთ, რომ გახურების ტემპერატურა ტოლია 950°C . ღუმელის სიმძლავრე 75 კვტ, ძაბვა 380/220ვ. ვინაიდან ღუმელის სიმაღლე 2,5 მეტრია, იგი პირობითად დაეყოთ ორ თანაბარ ზონად სიმაღლის მიხედვით თითოეული 37,5 კვტ სიმძლავრით. გამახურებელი ელემენტები განვალაგოთ მხოლოდ გვერდით კედლებზე. ზემოთმოყვანილი ცხრილიდან შევარჩიოთ გამახურებელი X23IO5 შენადნობიდან, რომლის მუშა ტემპერატურად მივიღოთ 1020°C , ამ ტემპერატურისთვის ნახ.10.7-დან განვსაზღვროთ $W_{\text{ფლ}}=1,9$ ვტ/სმ².

ამ მონაცემების მიხედვით შეიძლება გამოვიყენოთ ლენტური ზიგზაგოვანი გამახურებელი კაუჭზე ან მაეთულის სპირალი კერამიკულ თაროზე.

ფოლადის გახურებისას ლენტისთვის ცხრილ 10.3-დან გვაქვს $W/W_{\text{ფლ}}=0,46$, ხოლო $W=0,88$ ვტ/სმ². თაროზე მდებარე მაეთულისთვის $W/W_{\text{ფლ}}=0,39$, ხოლო $W=0,74$ ვტ/სმ².

ვიღებთ, რომ გამახურებლები შეერთებულია სამკუთხედად თითოეული ფაზის სიმძლავრე $37,5/3=12,5$ კვტ, ხოლო ძაბვა 220 ვოლტია.

ცხრილი 10.1-დან მაეთულური გამახურებლისათვის $\rho_{1000}=1.46 \cdot 10^{-4}$ ომ.მ. ვიცით, რა გამახურებლის ხვედრითი ზედაპირული სიმძლავრე $W=0,74$ ვტ/სმ², ადვილად შევარჩევთ მის დიამეტრს ნახ.10.5-დან, კერძოდ $d=6,5$ მმ-ს.

მრგვალი კვეთის გამახურებლის საანგარიშო დიამეტრი შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულითაც:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{11} \rho P^2}{\pi^2 U^2 W}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{11} \cdot 1.46 \cdot 10^{-6} \cdot 12,5^2}{3,14^2 \cdot 220^2 \cdot 0.74}} = 6.37 \text{ მმ.}$$

ვირჩევთ მათუღს 6,5მმ დიამეტრით, ($S = 33,2 \text{ მმ}^2$ - მისი კვეთა). ცნობილია, რომ გამახურებლის წინაღობა

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{12,5 \cdot 10^3} = 3,872 \text{ ომ, მაშინ გამახურებლის ფაზის}$$

მათუღის სიგრძე

$$L = \frac{RS}{\rho} = \frac{3.872 \cdot 33.2 \cdot 10^{-6}}{1.46 \cdot 10^{-6}} = 88 \text{ მ.}$$

კუთრი ხვედრითი ზედაპირული სიმძლავრე

$$W = \frac{12,5 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 6.5 \cdot 10^{-1} \cdot 88 \cdot 10^2} = 0.7 \text{ ეტ/სმ}^2.$$

გამახურებლის მასა ფაზაზე

$$G = 7270 \cdot 88.0 \cdot 33.2 \cdot 10^{-6} = 21.2 \text{ კგ.}$$

გამახურებელს ეათავსებთ სტანდარტულ კერამიკულ თაროზე ოთხ-ოთხ რიგად სიმაღლის მიხედვით ფაზა-შტოზე, სულ 24 სპირალის რიგს ღუმელზე. თაროები იდგმება სიმაღლის მიხედვით 15 აგურის გამოშეებით, ე.ი. 100მმ-იანი ბიჯით.

ვიღებთ სპირალის დიამეტრს 40მმ ერთი ხეის სიგრძეზე 126მმ, ხეების რიცხვი $88000/126=700$ ან 175 ხეია ერთ სპირალზე, აქედან სპირალის ბიჯი

$$h = 2400/175 = 14,0 \text{ მმ.}$$

მაგალითი 2.

განესაზღვროთ ერთფაზა ელექტროქუროსთვის მრგვალი კვეთის გამახურებლის ზომები თუ ცნობილია ღუმელის სიმძლავრე $P = 20$ კეტ, ძაბვა გამახურებელზე - 220 ვოლტი.

ვირჩევთ X20H80 მარკის ნიხრომს, რომლის ხვედრითი წინაღობა 1000°C -ზე $\rho = 1.12 \cdot 10^{-6}$ ომ.მ. ნახ.10.5-დან ვირჩევთ $d = 6$ მმ დიამეტრის გამახურებელს, რომლის ხვედრითი ზედაპირული სიმძლავრე $W = 1,75$ ეტ/სმ².

ასეთი გამახურებლის წინაღობა

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{20 \cdot 10^3} = 2,42 \text{ ომ;}$$

სიგრძე კი

$$L = \frac{Rq}{\rho} = \frac{2.42 \cdot 28.6}{1.12} = 61.8 \text{ მ,}$$

სადაც $q = 28.6 \text{ მმ}^2$ - არის გამახურებლის განივი კვეთის ფართობი.

ხოლო მისი ზედაპირის ფართობი

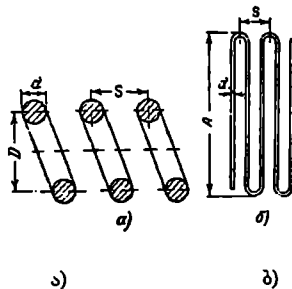
$$F = \pi dL = 3.14 \cdot 0.6 \cdot 6180 = 11643 \text{ სმ}^2$$

მაშინ, გამახურებლის ფაქტიური ხვედრითი ზედაპირული სიმძლავრე

$$W = \frac{P}{F} = \frac{20000}{11643} = 1.71 \text{ ვტ/სმ}^2.$$

მაეთულის სპირალური გამახურებლების შემთხვევაში ნახ.10.8-დან სპირალის დიამეტრ D -ს ირჩევენ მექანიკური სიმტკიცის პირობების მიხედვით, მაეთულის დიამეტრის (d) შესაბამისად და გამახურებლის მასალის მარკის გათვალისწინებით.

ნიკრომისთვის $D = (6-10)d$, ხოლო ქრომალუმინოვანი შენადნობებისთვის $D = (4-7)d$.



ნახ.10.8 მაეთულის სპირალური გამახურებლების საანგარიშო სქემა

სპირალის ბიჯი რეკომენდირებულია იყოს $S \geq 2d$. სპირალის სიგრძე ფაზაშტოზე

$$L_{\text{სა}} = \frac{L}{\pi D} S \text{ [მმ]},$$

მაეთულის ზიგზოგოვანი გამახურებლებისათვის ნახ.10.8ბ ზიგზაგის სიმაღლე ისევე მექანიკური სიმტკიცის უზრუნველყოფისთვის $A \leq 30d$; ტალღის ბიჯი რეკომენდირებულია იყოს $S \geq 3d$.

11. ინდუქციური გახურება

11.1 ლითონების ინდუქციური გახურების ფიზიკური საფუძველები

ყოველგვარი ინდუქციური გამახურებელი დანადგარის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია სწრაფადცვალბად ელექტრომაგნიტურ ველში მოთავსებული ლითონური სხეულის მიერ ელექტრომაგნიტური ენერჯის შთანთქმავზე. კეების წყაროებისგან ელექტროენერჯია გასახურებელ ობიექტს გადაეცემა ელექტრომაგნიტური ინდუქციით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ინდუქტორის დენის მიერ წარმოქმნილი ცვლადი მაგნიტური ველი აინდუქცირებს ელექტრომამოძრავებელ ძალას გასახურებელ სხეულში. ემმ-ის მიერ წარმოიქმნებიან გრიგალური დენები, რომლებიც ახურებენ ლითონურ სხეულს.

ენერჯის გადაცემა ამ შემთხვევაში შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად: ინდუქტორზე მიყვანილი ელექტრული ენერჯია გადადის ცვლადი მაგნიტური ნაკადის ენერჯიაში. შემდეგ ნაკეთობის შიგნით გარდაიქმნება რა მაგნიტური ველის ენერჯია კვალე ელექტროენერჯიათ, ჯოულ-დენცის კანონის საფუძველზე იგი გადადის სითბურ ენერჯიაში. მაგნიტური გარდაქმნების ტემპერატურამდე გახურებული ფერომაგნიტური სხეულები ხურდებიან არამარტო გრიგალური დენებით, არამედ მაგნიტური პისტერეზისის შედეგადაც.

ენიდან 750°C ტემპერატურაზე ფოლადების უმეტესობა კარგაეს მაგნიტურ თვისებებს, პისტერეზისის შედეგად შთანთქმული ენერჯია მცირდება. ამიტომ, რომ ინდუქციურ ღუმელში გასახურებელი სხეულების ფიზიკური თვისებები თამაშობენ ძირითად როლს სხეულის გახურებაში.

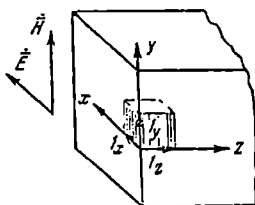
ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევისთვის საწყის განტოლებებს წარმოადგენენ მაქსველის განტოლებები ელექტრომაგნიტური ველისათვის, რომლებსაც აქვთ შემდეგი გამოსახურლება:

$$\text{rot}H = j + \frac{\partial D}{\partial t}; \quad \text{div}H = 0; \quad (11.1)$$

$$\text{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t}; \quad \text{div}E = 0;$$

სადაც $B = \mu_0 H$ მაგნიტური ინდუქცია;
 $D = \epsilon E$ ელექტრული ინდუქცია;
 $j = \gamma E = E / \rho$ - დენის გამტარობის სიმკვრივე;
 j - ლითონის კუთრი ელექტროგამტარობა;

$\rho = \frac{1}{\gamma}$ - ლითონის კუთრი ელექტროწინაღობა;



ნახ.11.1 ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის დაცემა ბრტყელ ნახევრადშეზღუდულ სხეულზე

მოცემული განტოლებების ამოხსნის შედეგად კოორდინატა სწორკუთხოვანი სისტემის გამოყენებით ელექტრული E და მაგნიტური დაძაბულობის H ვექტორებისათვის (იზოტროპული ნახევრადშეზღუდული ლითონური სხეულისათვის იხ.ნახ.11.1) გექნება:

$$\dot{H} = 1y \dot{H}_0 e^{-kz};$$

$$\dot{E} = 1_x \frac{R}{\gamma} \dot{H}_0 e^{-kz} = 1_x \dot{E}_0 e^{-kz}; \quad (112)$$

სადაც \dot{H}_0 და \dot{E}_0 მაგნიტური და ელექტრული ველების დაძაბულობებია ლითონური სხეულის ზედაპირზე;

$$K = \sqrt{i\omega\mu_0\gamma} = \sqrt{2i} \sqrt{\frac{\omega\mu_0\gamma}{2}} = \frac{1+i}{\delta} \quad (113)$$

სადაც $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\gamma}}$ - წარმოადგენს შეღწევაღობის სიღრმეს;

$i = \sqrt{-1}$; Z - მიმდინარე კოორდინატა;

$1_x, 1_y$ - კოორდინატების ერთეული ვექტორები;

თუ $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\gamma}}$ გამოსახულებაში ჩაესვამთ შემდეგ სიდიდეებს:

$$\mu_0 = \mu\mu_0 = \mu \cdot 0.4\pi \cdot 10^{-7}; \quad \gamma = \frac{1}{\rho} \text{ და } \omega = 2\pi f,$$

სადაც μ - მასალის ფარდობითი მაგნიტური შეღწევაღობა;

$\mu_0 = 0.4\pi \cdot 10^{-7} \mu$, გ/მ³ - მაგნიტური მუდმივა;

მაშინ შედგება სიღრმის განსაზღვრისათვის მივიღებთ:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (11.4)$$

ელექტროენერჯის გამოყოფა განისაზღვრება პოტენციის ვექტორით

$$S = [E \cdot H]$$

ვინაიდან E და H სიდიდეები კომპლექსურებია და იცვლებიან დროს განმავლობაში სინუსოიდალური კანონის მიხედვით, მაშინ ენერჯის ნაკადის ვექტორს ექნება სახე:

$$\dot{S} = \frac{1}{2} [E \cdot H^*], \quad (11.5)$$

სადაც * (ვარსკვლავი) უჩვენებს, რომ სიდიდე წარმოადგენს შეუღლებულ კომპლექსურს.

11.2-დან E -ს და H -ის, ასევე 11.3-დან K მნიშვნელობების 11.5-ში შეტანით მივიღებთ ენერჯის ნაკადის გამოსახულებას ლითონის ზედაპირიდან Z სიღრმემდე;

$$\dot{S} = I_z H_0^2 \frac{1+i}{2\gamma\delta} e^{-\frac{2z}{\delta}}. \quad (11.6)$$

ენერჯის ნაკადი მიმართულია ლითონის ზედაპირისადმი პერპენდიკულარულად, ვინაიდან

$$[i_x \cdot i_y] = i_z$$

ენერჯის ნაკადის ვექტორის ნივთიერი ნაწილი

$$S_o = H_0^2 \frac{e^{-\frac{2z}{\delta}}}{2\gamma\delta} \quad (11.7a)$$

იძლევა აქტიური ენერჯის ნაკადის სიდიდეს, რომელიც გამოიყოფა ლითონში სითბოს სახით, ხოლო წარმოსახვითი ნაწილი

$$S_p = i H_0^2 \frac{e^{-\frac{2z}{\delta}}}{2\gamma\delta} \quad (11.7b)$$

წარმოადგენს ცვლადი მაგნიტური ველის ენერჯის ნაკადის სიდიდეს ანუ რეაქტიული ენერჯის ნაკადის სიდიდეს.

δ სისქის ფენაში გამოიყოფა ენერჯის ის სხვაობა, რომელიც ერთის მხრივ გადის ზედაპირზე ($Z=0$) და მეორეს მხრივ ის ენერჯია, რომელიც სიბრტყის გავლით გადის $Z=\delta$ სიღრმემდე. ამასთან თუ გავითვალისწინებთ (11.7a)-ს გვექნება:

$$S_{\text{მფ}} = S_{\text{მთ}} - S_{\text{მ-მფ}},$$

$$S_{\text{მფ}} = 0.864 \frac{H_0^2}{2\gamma\delta}. \quad (11.8)$$

ამრიგად, ელექტრომაგნიტური ტალღის შეღწევის სიღრმეზე მდებარე ფენაში (ბ) გამოიყოფა მთლიანი ენერგიის 86% და მხოლოდ 14% ენერგიისა იხარჯება ლითონის სიღრმისეული ფენების გახურებაზე.

ენერგიის ნაკადის გამოსათელელად უფრო მოხერხებულია გამოვიყენოთ (11.7ა) და (11.7ბ) ფორმულები. თუ δ -ს მაგურად (11.4)-დან ჩავსვამთ მის მნიშვნელობას და გაკითვალისწინებთ, რომ $\gamma = \frac{1}{\rho}$, მაშინ $Z = 0$ დროს მივიღებთ

$$S_{\text{მ}} \approx 10^{-6} H_0^2 \sqrt{\rho\mu f} \quad [\text{კვტ/მ}^2]. \quad (11.9)$$

სასაზღვრო ეფექტის გათვალისწინების გარეშე მაგნიტური ეელის დაძაბულობა შეიძლება მივიღოთ ინდუქტორის 1 მეტრ სიგრძეზე არსებული ხეივების რიცხვის დენის სიდიდეზე ნამრავლის ტოლად:

$$H_0 = I_{\text{მ}} \cdot w_1$$

სადაც $I_{\text{მ}}$ - არის დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.

თუ გადავალთ მოქმედ მნიშვნელობაზე, მივიღებთ:

$$H_0 = I_{\text{მ}} w_1 = \sqrt{2} I w_1$$

მიღებული მნიშვნელობის ჩასმით (11.9)-ში გვექნება

$$S_{\text{მთ}} = 2 \cdot 10^{-6} (I w_1)^2 \sqrt{\rho\mu f} \quad [\text{კვტ/მ}^2], \quad (11.10)$$

$$S_{\rho_0} = 2 \cdot 10^{-6} (I w_1)^2 \sqrt{\rho\mu f} \quad [\text{კვარ/მ}^2]. \quad (11.11)$$

ამრიგად, ლითონის სისქეში გამოყოფილი ენერგია პროპორციულია ინდუქტორის ამპერხეივების კვადრატისა ($I w_1$)² და სიმძლავრის შთანთქმის $\sqrt{\rho\mu f}$ კოეფიციენტისა, ე.ი. დამოკიდებულია გასახურებელი ლითონის ელექტროწინააღობისგან ρ , მაგნიტური შეღწეადობისა μ და მკვებაეი დენის სიხშირისგან f

ინდუქციური გახურების პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება ცილინდრული ელექტრომაგნიტური ტალღის ვარდნის შემთხვევა ცილინდრულ ლითონურ სხეულზე.

მაგალითად, ლითონის გამოდნობა ცილინდრული ფორმის ტიგელში. ამ შემთხვევაში გათვალისწინებული უნდა იყოს გასადნობი ლითონის ზედაპირის სიმრუდე.

1მ² ფართობის ცილინდრული ფორმის მქონე სხეულის მიერ შთანთქმული ენერგიის განსაზღვრისათვის, იყენებენ (11.10) და (11.11) გამოსახულებების მსგავს ფორმულებს, ზოგიერთი K_{mp} და $K_{m\varrho}$ ფუნქციის გათვალისწინებით

$$S_a = 2 \cdot 10^{-6} (N\omega_1)^2 \sqrt{\rho H} K_{mp} \quad (11.12)$$

$$S_p = 2 \cdot 10^{-6} (N\omega_1)^2 \sqrt{\rho H} K_{m\varrho}, \quad (11.13)$$

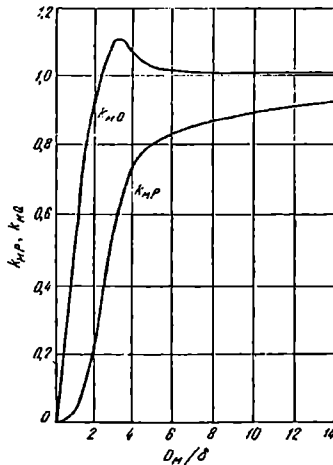
სადაც I არის ინდუქტორის დენი,

w_1 - ინდუქტორის სიგრძის 1 მ-ზე ხეივების რიცხვი;

K_{mp} და $K_{m\varrho}$ რთული ფუნქციებია, რომლებიც დამოკიდებული არიან გასახურებელი ცილინდრის დიამეტრისა და შეღწევადობის სიღრმეზე (იხ. ნახ.11.2ა).

ცილინდრული ტალღა ატარებს ელექტრომაგნიტურ ენერგიის, რომელიც განისაზღვრება ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის ვექტორით დროის ერთეულში \vec{S} .

ლითონური ცილინდრის მიერ შთანთქმული სიმძლავრე ტოლია ენერგიის ნაკადის ნამრავლისა ცილინდრის გვერდითი ზედაპირის ფართობზე (ივლისხმება 1 მეტრი სიმაღლის D_M დიამეტრის ლითონური ცილინდრის გვერდითი ზედაპირის ფართობი $F = 1\pi D_M = \Pi_M$)



ნახ. 11.2ა. K_{mp} და $K_{m\varrho}$ შემასწორებელი კოეფიციენტების საანგარიშო მრუდები

$$P_{M1} \approx 2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 \Pi_M \sqrt{\rho_M \mu_M f} K_{MP} \approx 6.2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 D_M \sqrt{\rho_M \mu_M f_M} K^*_{MP} \text{ კვტ/მ}; \quad (11.14)$$

ხოლო რეაქტიული სიმძლავრისთვის:

$$Q_{M1} \approx 2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 \Pi_M \sqrt{\rho_M \mu_M f} K_{MQ} \approx 6.2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 D_M \sqrt{\rho_M \mu_M f_M} K^*_{MQ} \text{ კვტ/მ}; \quad (11.15)$$

აქტიური და რეაქტიული დანაკარგები ინდუქტორში განისაზღვრებიან (11.4) და (11.5) ფორმულების ანალოგიურად.

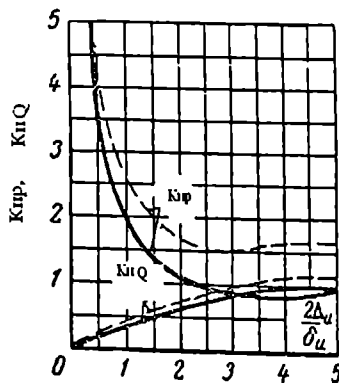
იმ სიგრძის ინდუქტორის გახურების დროს აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეების დანაკარგებს განსაზღვრავენ ელექტრომაგნიტური ენერგიის ნაკადის ეექტორის საშუალო სიდიდის მიხედვით, რომელიც გაივლის დროის ერთეულში πD_1 შიგა ზედაპირზე, რაც რიცხობრივად ტოლია ცილინდრული ინდუქტორის შიგა პერიმეტრისა $-\Pi_B$.

$$P_H \approx 2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 \Pi_B \sqrt{\rho_H} f K_{HP} \approx 6.2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 D_B \sqrt{\rho_H} f K_{HP} \text{ კვტ/მ}, \quad (11.16)$$

სადაც K_{HP} - აქტიური სიმძლავრის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც ითვლისწინებს ინდუქტორის სიმრუდეს.

$$Q_{H1} \approx 2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 \Pi_B \sqrt{\rho_H} f K_{HQ} \approx 6.2 \cdot 10^{-4} (N_{W1})^2 D_B \sqrt{\rho_H} f K_{HQ} \text{ კვტ/მ}, \quad (11.17)$$

სადაც K_{HQ} - რეაქტიული სიმძლავრის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც ითვლისწინებს ასევე ინდუქტორის სიმრუდეს. (ნახ.11.23).



ნახ. 11.23 K_{HP} და K_{HQ} შემასწორებელი კოეფიციენტების სანგარიშო მრუდები

ნახ. 11.2ბ-ზე $K_{\text{წ}}$ და $K_{\text{დ}}$ შემასწორებელი კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულნი არიან ინდუქტორის ხეიის რადიალურ სისქესა და ინდუქტორის მასალის შეღწევალობის სიღრმეზე.

11.2 ინდუქციური სადნობი ღუმელები

ინდუქციური სადნობი ღუმელები გამოიყენება შავი და ფერადი ლითონების გამოდნობისათვის, აგრეთვე ჩამოსხმის წინ ლითონის გადახურებისა და ქიმიური შედგენილობის გათანაბრებისათვის.

კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური თავისებურებების მიხედვით ინდუქციურ სადნობ ღუმელებს ყოფენ ორ ჯგუფად:

არხიან ღუმელებად;

ტიგელიან ღუმელებად.

არხიან ღუმელებს იყენებენ თუჯის და ფერადი ლითონების გამოსადნობად (ალუმინის, სპილენძის, თუთიის და სხე).

არხიანი ღუმელების დადებითი მხარეებია:

კონსტრუქციის შედარებითი სიმარტივე;

ნამწვის მცირე რაოდენობა;

ელექტროენერჯის შედარებით ნაკლები ხარჯი: არხიანი ღუმელების ნაკლოვანებებია:

„ჭაობის“ დატოვების აუცილებლობა;

ერთი მარკის ლითონის გამოდნობის შეცვლა მეორე მარკით და ამ დროს წარმოშობილი სირთულე;

ამონაგის დამზადების სირთულე და დაბალი მდგრადობა;

ასეთი ღუმელების შესწავლაზე არ გაემახვილებთ ყურადღებას. ჩვენ ამოცანას წარმოადგენს ტიგელური ღუმელების დაწერილებითი განხილვა.

11.3 ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელები

კეების წყაროს სიხშირის მიხედვით განარჩევენ ტიგელიანი ღუმელების სამ სახესხვაობას:

მაღალი სიხშირის (50-500 კჰც) ელექტრონმილაკიანი გენერატორების კეებით; საშუალო სიხშირის (150-10000 ჰც) მბრუნავი სამანქანო გენერატორების და სტატისტისტიკური გარდაამქმნელების გამოყენებით;

დაბალი (სამრეწველო) სიხშირის (50-60კ) მქონე ღუმელები.

კონსტრუქციულად ღუმელების ორ ტიპს აშენებენ ღია და დახურული შესრულებით, ამასთან პირველი ტიპის ღუმელებს იყენებენ ჰაერის ატმოსფეროში, ხოლო მეორე ჯგუფის ღუმელებს ექსპლოატაციას უწევენ ვაკუუმში, ან ნეიტრალური აირების გარემოში.

ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელი შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: (იხ.ნახ.113)

ინდუქტორისგან -1, რომელიც მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან;

გასახურებელი ლითონისგან - 2;

ცეცხლგამძლე ტიგელისგან -3;

ინდუქციურმა ტიგელიანმა ღუმელებმა მიიღეს ფართო გამოყენება მაღალხარისხოვანი, სპეციალური დანიშნულების ფოლადების და თუჯების წარმოებაში, ვინაიდან ისინი გამოირჩევიან მაღალი მ.კ.კ. (მარგი ქმედების კოეფიციენტით).

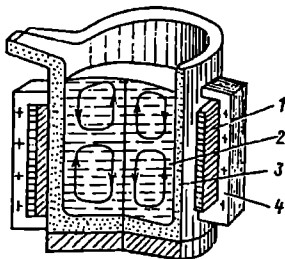
ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელების ძირითადი უპირატესობებია:

მაღალი ტემპერატურების ადვილად მიღწევა; ვინაიდან ენერგია გამოიყოფა გასახურებელ ლითონში.

სათბობთან ან ელექტროდებთან ლითონის შეუსულებლობა; რაც უზრუნველყოფს სუფთა ლითონის მიღებას.

ლითონის ინტენსიური შერევა, მოძრაობა გრიგლური დენების მოქმედებით, რაც უზრუნველყოფს ლითონის ტემპერატურის და ქიმიური შედგენილობის ერთგვაროვნებას და გათანაბრებას.

ელემენტების დაბალი ნამწვი უფრო ნაკლებად გადახურებული წილის გამო და ა.შ.



ნახ. 113 ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელის ესკიზი

ენერჯის გამოყოფა ლითონში დამოკიდებულია დენის სიხშირისგან, ინდუქტორის დიამეტრისაგან, საკაზმე მასალების ელექტროფიზიკური თვისებებისგან და ზომებისგან.

ვინაიდან ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იცვლება ლითონის მაგნიტური შეღწევა და ელექტროწინაღობა, დენის სიხშირეს შეარჩევენ დნობის ოპტიმალური რეჟიმის პირობების დაცვით რომ გადნობის პროცესი მაქსიმალურად სწრაფად განეთარდეს.

საორიენტაციოდ დენის მინიმალურ სიხშირეს, f_{\min} , პც განსაზღვრავენ ლითონის დიამეტრიც მიხედვით და მისი კუთრი ელექტროწინაღობის გათვალისწინებით

$$f_{\min} = 25 \cdot 10^6 \rho_M / \mu_M D^2_M, \text{ პც.} \quad (1.18)$$

ღუმელის მოცულობის ზრდასთან ერთად საგრძნობლად იზრდება ინდუქციური წინაღობა და შესაბამისად მცირდება კეების წყაროს სიხშირე.

საშუალო და მაღალი სიხშირეები ძირითადად გამოიყენება საშუალო და მცირე ტევადობის ღუმელებისათვის (ფოლადის, თუჯის, სპილენძის და ალუმინის გამოდნობისთვის).

ღუმელის მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_{Σ} არსებითადაა დამოკიდებული ინდუქტორსა და ღუმელის ჩანატვირთს შორისო დრეზისგან. ტიგელის კედლის სიქის შემცირებისას ელექტრული მ.კ.კ. იზრდება, ხოლო სითბური მ.კ.კ. მცირდება, ვინაიდან ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს თბურ დანაკარგებს, ამონაგის გადახურების გამო. ჩვეულებრივად ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელებისთვის ელექტრული მ.კ.კ. $\eta_{\Sigma} = 0,6-0,8$; ხოლო სიმძლავრის ბუნებრივი კოეფიციენტი $\cos \varphi = 0,08 \div 0,25$. ამ უკანასკნელის გაზრდის მიზნით იყენებენ კონდენსატორებს.

დნობის ნორმალური მსვლელობისთვის დიდ როლს თამაშობს გამდნარი ლითონის ცირკულაცია ღუმელის აბაზანაში, რომელიც წარმოიქმნება დენების ურთიერთმოქმედებების შედეგად ინდუქტორში და ლითონში ელექტროდინამიკური ძალებისათვის. ამ დენების მიმართულებები ურთიერთსაწინააღმდეგოა და შედეგად წარმოიქმნებიან ძალები, რომლებიც აიძულებენ ლითონს გადაადგილდეს ტიგელის გვერდებიდან ცენტრისკენ, რის გამოც გამდნარი ლითონის ზედაპირი ცენტრში ამოიბურცება და ლითონი მოდის უწყვეტ მოძრაობაში. ლითონის ცირკულაცია ხელს უწყობს ნაღობის კომპონენტებს და წიდას შორის ქიმიური ურთიერთმოქმედების პროცესებს და ნაღობის შედგენილობის გათანაბრებას.

11.4 ინდუქციური გახურების დანადგარების კვების წყაროები

სიხშირის ელექტრომანქანური გარდამქმნელები შედგებიან საშუალო სიხშირის გენერატორისა და ცვლადი დენის ამძრავისაგან. 150-500კვ სიხშირეებზე ისინი წარმოადგენენ ჩვეულებრივ სინქრონულ გენერატორებს. 1000-10000კვ სიხშირეებისას გენერატორებს ამზადებენ ინდუქტორული მანქანების ტიპის მიხედვით. ამ მანქანებში ორივე გრაგნილი (მუშა და აღზნების) განლაგებულია მანქანის სტატორზე.

თუ მივიღებთ, რომ Z - არის როტორის კბილანების რაოდენობა, n - კი ბრუნვათა რიცხვი, მაშინ სტატორის მუშა გრაგნილში დენის სიხშირე ტოლია

$$f = \frac{Zn}{60} \text{ კვ.}$$

საშუალო სიხშირის ტირისტორულმა გარდამქმნელებმა პერსპექტივაში უნდა შეცვალონ ელექტრომანქანური გარდამქმნელები, ეინიდან მათ გააჩნიათ რიგი უპირატესობებისა უკანასკნელებთან შედარებით:

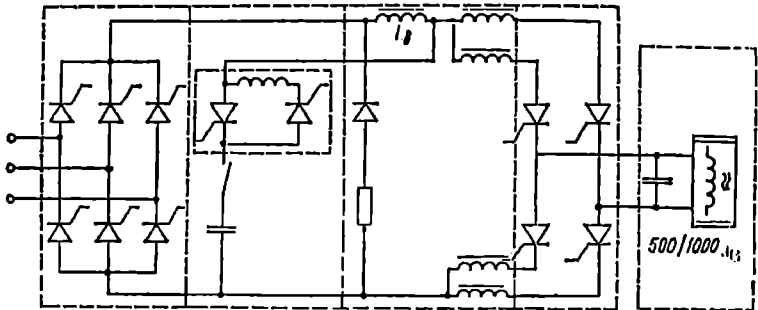
1. უფრო მაღალი მ.კ.კ. როგორც ნომინალური, ისე არასრული დატვირთვის დროს (25-50%);
2. გამოსასვლელი პარამეტრების რეგულირების ან სტაბილიზირების შესაძლებლობა სიხშირის ან ძაბვის შეცვლით.
3. მუდმივი მზადყოფნა მუშაობისთვის და სწრაფი გაშვება, მრავალჯერადი ჩართვა-გამორთვის შესაძლებლობა, რაც გამორიცხავს უქმი სელის რეჟიმს და დანაკარგებს.
4. მბრუნაეი ნაწილების არქონა, ექსპლოატაციის მაღალი საიმედოობა და სიმარტივე, უხმაურო მუშაობა და ა.შ.

სერიული ტირისტორული გარდამქმნელები შესრულებულნი არიან მუდმივი დენის შუალედური რგოლით, რომელიც წარმოადგენს სამფაზა ტირისტორულ გამართველს, შემდგომ ხდება გამართული დენის გასწორება რექტორით, ხოლო ინვერტორი გარდაქმნის მუდმივ დენს საშუალო სიხშირის ცვლად დენად (ნახ.11.4).

ინვერტორების მუშაობის საიმედოობის გაზრდისა და მათი ავარიული რეჟიმებისგან დაცვის მიზნით, ჩვენს მიერ შემუშავებულია ახალი სისტემები, რომელთაგანაც ზოგი დანერგულია ტირისტორული გარდამსახების სერიულ წარმოებაში /იხ. A.с.СССР №743107, Б.И. 19806 №23, A.с. №970556, Б.И.1982,№40, A.с. №1173507, Б.И. 1985,№30. A.с. №1251268, Б.И. 1986, №30 ეურნალი „Электротехническая промышленность“, сер. «Электротермия», 1982, вып. 9(235) /.

ინვერტორის რხევითი კონტური შედგება ინდუქტორისგან და მასთან პარალელურად შეერთებული კონდენსატორული ბატარეისგან, რომელიც აუცილებელია ტირისტორების კომუტაციისათვის და ინდუქტორის რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისთვის.

მუშაობის პროცესში ინდუქტორის ექვივალენტური წინაღობის ცვლილების შედეგად ავტომატურად იცვლება ინვერტორის გამოსასვლელი სიხშირე და რხევითი კონტურის კონდენსატორის გადართვა აღარაა საჭირო. ეს წარმოადგენს სიხშირის სტატიკურ გარდამქმნელების არსებით უპირატესობას.



ნახ. 114 ტირისტორული გარდამქმნელის ძალური წრედის პრინციპული სქემა

დენის ინვერტორების განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს რეაქტორის დიდი ინდუქტიუობა ვენტილური უჯრედის შესასვლელში.

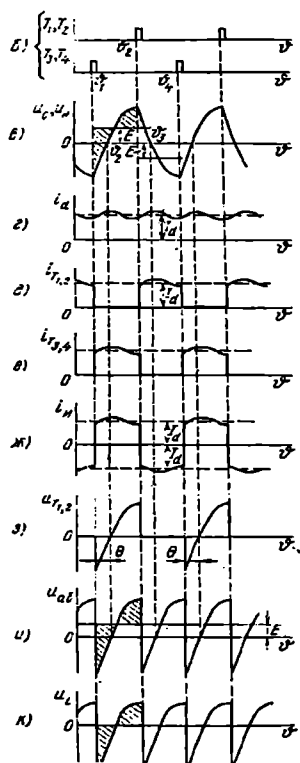
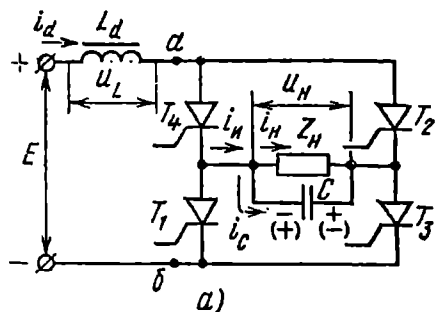
ერთფაზა ინვერტორის სქემა მოყვანილია ნახ.115-ზე, მასში შედის ბოგირი ტირისტორებზე $T_1 - T_4$, რომლის დიაგონალში ჩართულია Z_H აქტიურ-ინდუქციური დატვირთვა (ინდუქტორი), ხოლო მის პარალელურად - C კონდენსატორი.

გამოსავალი ძაბვის მრუდი ფორმირდება C კონდენსატორის პერიოდული გადამუხტვის გზით.

C კონდენსატორი ახორციელებს ტირისტორების გამტარი წყვილის ჩაკეტვას, სხვა წყვილის გაღებისას.

დაეუშვათ, რომ დროის მომენტამდე $t_1 = \omega t$ (სადაც ω არის ინვერტორის გამოსავალი სიხშირე) დენს ატარებენ T_1 და T_2 ტირისტორები. ამასთან კონდენსატორზე ძაბვას აქვს პოლარობა, რაც ნაჩვენებია სქემაზე ფრჩხილების გარეშე. t_1 დროის მომენტისთვის მართვის იმპულსების მიწოდებით გაიხსნებიან

T_3 და T_4 ტირისტორები. კონდენსატორის შემხვედრი დენის მოქმედებით T_1 და T_2 ტირისტორების დენები სწრაფად ეცემიან ნულამდე და ტირისტორებს მოეძვება უკუძაბვა, რომელიც განისაზღვრება კონდენსატორის ძაბვით და ისინი გადადიან გაუმტარ მდგომარეობაში. ტირისტორებზე უკუძაბვის ზემოქმედების ხანგრძლივობა ხასიათდება ინტერვალით, რომლის განმავლობაში კონდენსატორზე უარყოფითი პოლარობის ძაბვა შემცირდება ნულამდე (სურ.მ). ეს ინტერვალი განისაზღვრება $\varphi = I_{HB} \omega$ კუთხით. ანალოგიურად ხორციელდება T_3 და T_4 ტირისტორების ჩაკეტვა T_1 და T_2 ტირისტორების გაღებისას. დატვირთვის ცვლადი ძაბვის მრუდი (სურ. მ) შედგება უბნებისგან, რომლებიც შეესაბამებიან კონდენსატორის გადამუხტვის თითოეულ ტაქტს. i_d დენი (სურ. რ) L_d დროსელის დიდი ინდუქტიურობის წყალობით საკმაოდ კარგადაა გასწორებული და აქვს მცირე პულსაციები. ეს დენი რიგრიგობით გაივლის T_1 T_2 და T_3 T_4 ტირისტორებში, განსაზღვრავს რა მრუდების და მათი ანოდური დენების ფორმას (სურ.ჟ და ლ.), აგრეთვე ინვერტორის დენის მრუდის ფორმას (სურ. კ). ჯვარედინად განლაგებულ ტირისტორების თითოეული წყვილის გაღებისას კონდენსატორი უარყოფითი პოლუსით უერთდება a წერტილს, ხოლო დადებითი პოლუსით უერთდება b წერტილს, რაც განსაზღვრავს U_{ab} მრუდის ხასიათს, მოყვანილს სურ.ი-ზე.



ნახ. 115 ერთჯანა ინვერტორის სქემა და მისი დროებითი დიაგრამები

11.1 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი რუსული და ჩინური წარმოების ტერისტორული ინდუქციური ღუმელების ტექნიკური მარკენგებები:

ცხრილი 11.1

ღუმელის ტიპი და ნომინალური ტემპერატურა	ღუმელის ტევალობა, t	სიხშირის გარდამქმნელის სიმძლავრე, კვტ	ღუმელის მოხმარების სიმძლავრე, კვტ	სიხშირე, კც	მწარმოებლურობა ტ/სთ	ელემენტრენერჯის (საანგარიშო) კუთრი ხარჯი კვტს/ტ
ИСТ ტიპის რუსული წარმოების (ფოლადის გამოდნობის 1600°C)	0.25	250	250	2400	0.35	820
	1.0	800	790	1000	1.33	625
	6.0	2400	2230	500	3.5	600
	10.0	3200	2730	500	5.0	640
ჩინური წარმოების GW ტიპის ფოლადების გამოდნობისთვის, 1600°C	0.25	180	160	1000	0.24	790
	1.0	550	500	1000	0.8	750
	1.0	800	750	1000/500	0.9	720/660
	6.0	4400	4000	500	5	500/550
10.0	6300	6000	500	8-9	500/550	

ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელები თუჯის გამოდნობისთვის (ИСТ სერიის) ძირითადად მუშაობენ 50 კვტ სიხშირეზე.

11.5 რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია

ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელის რეაქტიული სიმძლავრე Q რამოდენიმეჯერ ($5 \div 10$ და უფრო მეტად სიხშირისგან დამოკიდებულებით) მეტია აქტიურ სიმძლავრესთან შედარებით.

შედგად ინდუქციური ღუმელის $\cos\phi$ მეტად მცირეა (0,1 რიგის).

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის ძირითად საშუალებად გამოიყენება კონდენსატორები.

გამახურებელ კონტურებს აწყობენ დენის რეზონანსზე.

რეზონანსის პირობა ჩაიწერება ინდუქციური X_L და ტევალობითი X_C წინაღობების ტოლობის სახით:

$$X_L = 2\pi fL = X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (11.19)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (11.20)$$

როგორც მოცემული ფორმულა გეინვენებს, რაც უფრო ნაკლებია სისშირე, მით უფრო მეტია კონდენსატორების ბატარეის ტევადობა.

კონდენსატორებს უფრო ხშირად რთავენ პარალელურად ინდუქტორთან ე.ი. დენების რეზონანსის სქემით.

დენების რეზონანსის გამოყენება საშუალებას იძლევა განიტვიტოს ენერჯის წყარო და გადამცემა მოწყობილობა.

კონდენსატორების რეაქტიული სიმძლავრე, ღუმელის ინდუქციური ხასიათის რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისათვის განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$Q_{\text{კ}} = 2\pi U_{\text{კ}}^2 C \cdot 10^{-3} \quad \text{კვარი,} \quad (11.21)$$

აქედან

$$C_{\text{კ}} = \frac{10^9 Q_{\text{კ}}}{2\pi U_{\text{კ}}^2} \quad \text{მკფ,} \quad (11.22)$$

სადაც $U_{\text{კ}}$ - კონდენსატორის ძაბვაა.

11.6 ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელების პარამეტრების ანგარიში

საწყისი მონაცემების სახით აუცილებელია გეკონდეს მონაცემები გამოსადნობ ლითონზე, ე.ი. აუცილებელია ფოლადის მარკის, შედგენილობის, ჩამოსხმის ტემპერატურის, ხედრითი ელექტროწინააღობის მყარ და თხევად მდგომარეობაში, შეფარდებითი მაგნიტური შეღწევააღობის, კაზმის სახეობის (ფორმის, ზომების დასხე) ცოდნა.

გეომეტრული ზომების განსაზღვრა

ღუმელის მოცემული ტევადობის m_0 და ლითონის ცნობილი სიმკვრივის მიხედვით განსაზღვრავენ ტიგელის მარგ მოცულობას V (გამდნარი ფოლადისთვის სიმკვრივე ტოლია 7,2 ტ/მ³).

ტიგელის ფორმას ახასიათებენ თანაფარდობით (ნახ.11.6):

$$A = \bar{D}_M / h_M = 0,5 \div 1,0.$$

ტიგელის მარგი მოცულობის V_T და A თანაფარდობის მიხედვით განსაზღვრებენ ტიგელის ზომებს:

ა) ლითონის საშუალო დიამეტრს:

$$\bar{D}_M = \sqrt[3]{\frac{4AV_T}{\pi}} \quad [8] \quad (11.24)$$

ბ) ლითონის სიმაღლეს

$$h_M = \sqrt{\frac{4V_T}{\pi A^2}} \quad [8] \quad (11.25)$$

ინდუქტორის შიგა დიამეტრი D_B ტოლია:

$$D_B = \bar{D}_M + 2\bar{\Delta}_\Phi, \quad (11.26)$$

სადაც $\bar{\Delta}_\Phi$ - ტიგელის ამონაგის საშუალო სისქე;

რუბანოვის მონაცემების მიხედვით სხვადასხვა ტევადობის ღუმელებისთვის ამონაგის სისქე შემდეგია:

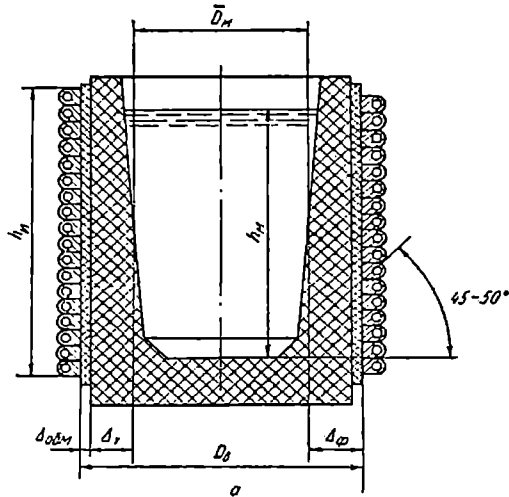
ტევადობა, კგ	50-მდე	500-3000	>3000
$\bar{\Delta}_\Phi / \bar{D}_M$	0.20-0.25	0.15-0.20	0.10-0.15

ამ თანაფარდობების გათვალისწინებისას ინდუქტორის შიგა დიამეტრი ტოლია:

$$D_B = (12 \div 15) \bar{D}_M \quad (11.27)$$

ინდუქტორის სიმაღლეს h_H ისე შეარჩევენ, რომ უზრუნველყოთ ლითონის გახურება მაგნიტური ველის დაძაბულობების შესუსტებულ ადგილებში, რასაც ადგილი აქვს ინდუქტორის დაბოლოებებთან მაგნიტური ნაკადის განხვევის შედეგად. ინდუქტორის და ტიგელის სიმეტრიულად განლაგებისას ინდუქციურ ფოლადსადნობ ღუმელებში ინდუქტორის სიმაღლე 10-25%-ით მეტი უნდა იყოს ტიგელის სასარგებლო სიმაღლესთან შედარებით, ე.ი.

$$h_H = (1.10-1.25) h_M. \quad (11.28)$$



ნახ.11.6 ინდუქტორ-ლითონის სისტემის გეომეტრია

ზემოთ განხილული ყველა გეომეტრიული თანაფარდობანი ინდუქციური ფოლადსადნობი ღუმელებისათვის გამოსახულია ნახ.11.7-ზე.

ღუმელის აქტიური სიმძლავრის განსაზღვრა

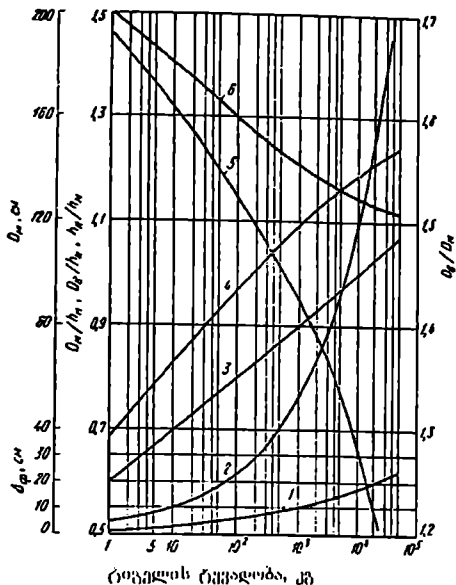
ლითონში გამოყოფილი აქტიური სიმძლავრე ინდუქციური დნობისას ტოლი უნდა იყოს სასარგებლო $P_{სას}$ სიმძლავრის და სითბური დანაკარგების სიმძლავრის ჯამისა $P_{სდ}$.

სითბური დანაკარგების სიმძლავრეს განსაზღვრავენ თბური ანგარიშის საფუძველზე იმ დანაკარგების გათვალისწინებით, რომელთაც ადგილი აქვთ ამონაგის სითბოგამტარობით (კედლებიდან და ქვედიდან) და ასევე სახურაზე გამოსხივებით ლითონის სარკის ზედაპირიდან.

გადნობის დროის მონაცემების მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ სასარგებლო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ლითონის გახურების, გადნობისა და გადახურებისათვის.

ამრიგად, ლითონში გამოყოფილი აქტიური სიმძლავრე:

$$P_M = \frac{m_0 Q}{\tau} + P_{სდ} \quad \text{კვტ.} \quad (11.29)$$



- ნახ.11.7 მოცემულია: 1 - ამონაგის სისქის ცვლილება - Δ ; 2 - ლითონის საშუალო დიამეტრის ცვლილება \bar{D}_M ; 3 - \bar{D}_M/h_M ; 4 - D_B/h_H ; 5 - D_B/D_M ; 6 - h_H/h_M ;

ფორმულა (11.29)-ში Q არის ლითონის ენტალპია (სითბოტევადობა) ჩამოსხმის ტემპერატურის პირობებში და ნახშირბადოვანი ფოლადისთვის იგი ტოლია ~340 კკტ.ს/ტ, ხოლო ხარისხოვანი ფოლადისთვის ~400 კკტ.ს/ტ.

გარდამსახის სიმძლავრის განსაზღვრისთვის აუცილებელია შეფასდეს სიმძლავრის დანაკარგები ინდუქტორში, კონდენსატორებში და დენგამტარებში. ეს დანაკარგები შეადგენენ ლითონში გამოყოფილი სიმძლავრის 25-35%-ს ე.ი. გარდამქმნელის საორიენტაციო სიმძლავრე $P_{გარ}$ შეადგენს:

$$P_{გარ} = (125 + 1.35)P_M \quad (11.30)$$

დენის სიხშირეს ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელებისთვის შეარჩევნ ტექნოლოგიური და ეკონომიკური მაჩვენებლების გათვალისწინების საფუძველზე.

სიხშირეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გადასადნობი ჯართის მინიმალური ზომები. სიხშირე ისეთი უნდა იყოს, რომ ჯართი გადნეს საკმაოდ მაღალი მ.კ.კ-ით.

წინასწარ სიხშირეს შეარჩევენ (11.18) ფორმულის მიხედვით.

დანადგარის კვების წყაროსათვის ძაბვის შერჩევა

თუ კვების წყარო მიერთებულია უშუალოდ ინდუქტორის მომჭერებზე, (ე.ი. ინდუქტორის განაპირა ხეიბთან) მაშინ ძაბვა ინდუქტორზე U_H ტოლია კვების წყაროს ძაბვისა და მოკლე ქსელში ძაბვის ვარდნის სხვაობისა. შეიძლება ჩაითვალოს, რომ

$$U_H = (0.93+0.96)U_{კვ.წ} \tag{11.31}$$

ორი ძაბვიდან, რომელიც შეუძლია მოგვეცეს სამანქანო გენერატორმა გამოყენებული უნდა იქნეს უფრო მაღალი, რათა დენგამტარში დენი, სპილენძის ხარჯი, აქტიური დანაკარგები და ძაბვის ვარდნა იყოს მინიმალური მნიშვნელობისა. (ვაკუუმური ღუმელებისთვის უნდა შეირჩეს უფრო ნაკლები ძაბვა ინდუქტორის ელექტროიზოლაციის პირობების დაცვით).

თუ კვების წყარო მიერთებულია არა ინდუქტორის მომჭერებზე, არამედ მისი ხეიბის ნაწილზე, მაშინ ინდუქტორი მუშაობს როგორც ავტოტრანსფორმატორი. ამ შემთხვევაში ძაბვა მის მომჭერებზე U_H იქნება კვების წყაროს ძაბვაზე მაღალი ($U_{კვ.წ}$) შემდეგი სიდიდით:

$$U_H/(U_{კვ.წ}) \approx W_H/W_{კვ.წ} \tag{11.32}$$

სადაც W_H - არის ინდუქტორის ხეიბის სრული რაოდენობა;

$W_{კვ.წ}$ - ხეიბის რიცხვი, რომლებზეც მიერთებულია კვების წყარო.

ავირჩევთ რა ინდუქტორის კვების სქემას და მის შესაბამის ძაბვას ინდუქტორის მომჭერებზე, აუცილებელია U_H -ის შეთანადება კონდენსატორის ნომინალურ ძაბვასთან.

ელექტრული გაანგარიშება

საწყის საანგარიშო ფორმულებს წარმოადგენენ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ფორმულები.

ინდუქტორის ბოლოებში ფანტეის ნაკადის შედეგად გამოწვეული ველის შესუსტების გათვალისწინების მიზნით აუცილებელია (11.14) და (11.15) ფორმულებში ინდუქტორში დენის „ნაფენის“ I_1 -ის ნაცვლად შეტანილ იქნეს დენის „ნაფენი“ ლითონში $I_1 = I_M / h_M$, რასაც განსაზღვრავენ მაგნიტური განხვევის კოეფიციენტის K_p -ის დახმარებით:

$$I_1 = (I_M) K_p \quad (11.33)$$

(11.14) (11.17) ფორმულების მაგნიტური განხვევის კოეფიციენტის და ლითონის და ინდუქტორის საბოლოო სიგრძეების გათვალისწინებით იღებენ შემდეგ საანგარიშო ფორმულებს, ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელის სიმძლავრის განსაზღვრისათვის:

ლითონში გამოყოფილი აქტიური სიმძლავრე:

$$P_M = 6.2 \cdot 10^{-4} (I_M)^2 D_M h_M \sqrt{\rho_M \mu_M f} k_{MP} k_p^2 \text{ კვტ;} \quad (11.34)$$

ინდუქტორში დაკარგული აქტიური სიმძლავრე:

$$P_H = 6.2 \cdot 10^{-4} (I_M)^2 D_H h_H \sqrt{\rho_H f} k_{HP} \frac{1}{k_s} \text{ კვტ.} \quad (11.35)$$

ლითონში წარმოქმნილი რეაქტიული სიმძლავრე:

$$Q_M = 6.2 \cdot 10^{-6} (I_M)^2 D_M h_M \sqrt{\rho_M \mu_M f} k_{MQ} k_p^2 \text{ კვტ.} \quad (11.36)$$

ღრეჩოში წარმოქმნილი რეაქტიული სიმძლავრე:

$$Q_s = 6.2 \cdot 10^{-9} (I_M)^2 f D_M^2 h_M \left[\left(\frac{D_B}{D_M} \right)^2 - 1 \right] \text{ კვარი.} \quad (11.37)$$

ინდუქტორში წარმოქმნილი რეაქტიული სიმძლავრე:

$$P_H = 6.2 \cdot 10^{-6} (I_M)^2 D_H h_H \sqrt{\rho_H f} k_{HQ} \frac{1}{k_s} \text{ კვარი.} \quad (11.38)$$

K_{MP} და K_{MQ} სიდიდეებს განსაზღვრავენ ნახ.11.2ა-ს დახმარებით მოცემული არგუმენტის მიხედვით D_M / δ (11.34) ფორმულაში ცნობილი სიდიდეების შეტანით შესაძლებელი იქნება განსაზღვროთ დენის „ნაფენი“ ინდუქტორში:

$$I_M = \frac{400}{k_p} \sqrt{\frac{P_M}{D_M h_M \sqrt{\rho_M \mu_M f} k_{MP}}} \text{ ამ.} \quad (11.39)$$

ინდუქტორში დენის „ნაფენის“ მნიშვნელობის h_{H1} ფორმულებში (1135) და (1138)-ში შეტანით შესაძლებელია გამოითვალოს P_H , Q_M, Q_3, Q_H ჯამური აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები და სრული სიმძლავრე, ე.ი.

$$P_{H.n} = P_M + P_H \text{ კვტ,} \quad (1140)$$

$$Q_{H.n} = Q_M + Q_3 + Q_H \text{ კვარი,} \quad (1141)$$

$$S = \sqrt{P_{H.n}^2 + Q_{H.n}^2} \text{ კვა.} \quad (1142)$$

ინდუქტორის მომჭერებზე ძაბვის ცოდნის შემთხვევაში (U_H) შეგვიძლია განვსაზღვროთ დენი

$$I = \frac{S \cdot 10^3}{U_H} \quad (1143)$$

და ინდუქტორის ხეიათა რიცხვი

$$W_H = \frac{h_{H1}}{I} h_H \quad (1144)$$

ინდუქტორის მიღებული ხეიების რიცხვი W უნდა განთავსდეს ინდუქტორის სიმაღლეზე. ხეიებს შორის ღრუნოს ავსებენ ელექტროიზოლაციით ისეთნაირად, რომ იზოლაციის 1 მმ სისქეზე ექონიოთ ძაბვა 10-40 ვ ზღვრებში. ამიტომ ღრუნოს განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$\Delta_{\text{იზ}} = \frac{U_H}{(10 \div 40) W_H} \text{ მმ.} \quad (1145)$$

იზოლაციის მინიმალური სისქე შეადგენს 1,5 + 2 მმ-ს.

ეიცით რა ხეიის ბიჯი $\tau_B = h_H / W_H$ და საიზოლაციო ღრუნო $\Delta_{\text{იზ}}$ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ხეიის სიმაღლე:

$h_B = \tau_B - \Delta_{\text{იზ}}$, და ინდუქტორის შეესების კოეფიციენტი:

$$K_3 = \frac{h_B}{\tau_B} = 1 - \frac{\Delta_{\text{იზ}}}{\tau_B}. \quad (1146)$$

ჩვეულებრივად $K_3 = 0.7 + 0.9$ ტოლია.

ხეიის სიმაღლისა და სპილენძის მილაკის სისქის ცოდნის საფუძველზე ირჩევენ მრგვალ, კვადრატულ ან სპეციალური პროფილის სპილენძის მილს. ინდუქტორ-ლითონის სისტემის ელექტრულ მ.კ.კ. განსაზღვრავენ (1134) და (1135) გამოსახულებების გამოყენებით.

$$\eta_{\text{ა}} = \frac{1}{1 + \frac{P_H}{P_M}} \quad (1147)$$

ზღვრული მნიშვნელობა მ.კ.კ. (როცა $f \rightarrow \infty$) შეიძლება მივიღოთ (11.47) ფორმულიდან მაგნიტური ველის ღრეზოში შესუსტების გათვალისწინებით და მაგნიტური განბნევის (ფანტვის) კოეფიციენტის დახმარებით.

$$\eta_{\text{კოეფ}} = \frac{1}{1 + \frac{D_H h_H}{D_M h_M k^2_{M.P.K_3}} \sqrt{\frac{\rho_H}{\rho_M \mu_M}}} \quad (11.48)$$

ღუმელის სიმძლავრის ბუნებრივ კოეფიციენტს განსაზღვრავენ (11.40) და (11.42) ფორმულებიდან:

$$\cos \varphi = P_{H.T} / S \quad (11.49)$$

კონდენსატორული ბატარეის ტევადობა C რეატიული სიმძლავრის კომპენსაციისთვის Q_j შეიძლება განვსაზღვროთ (11.22)-დან.

ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელის ანგარიში

მოცემულობა. გაეიანგარიშოთ ტიგელიანი ინდუქციური ღუმელი 4ტ. ტევადობის მჟევა ამონაგი, ბურთულა საკისრების ფოლადის ნარჩენების გადადნობისთვის.

ნადნობებშორისო გაჩერებები შეადგენს $\tau = 0.25$ სთ.

ლითონკაზმის ნაჭრების ზომები $\bar{D}_{\text{კაზ}} = 0.1\text{მ}$.

ფოლადის მარკა - ШХ15; $t_{\text{ნაშოს}} = 1580^\circ\text{C}$;

თხევადი ლითონის ენტალპია ჩამოსხმის ტემპერატურაზე $Q = 400$ კკტს/ტ.

ფოლადის კუთრი ელექტროწინაღობა 20°C -ზე მყარ მდგომარეობაში

$\rho' = 0.1 \cdot 10^{-6}$ ომ.მ. კიურის წერტილის ტემპერატურაზე ($t_1 = 721^\circ\text{C}$).

$\rho_M'' = 1.1 \cdot 10^{-6}$ ომ.მ. თხევად მდგომარეობაში $\rho_M' = 1,4 \cdot 10^{-6}$ ომ.მ.

ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა $\mu_M = 100$, როცა $t < t_1$, როდესაც $t > t_1$ $\mu_M = 1$.

სიმძლავრის შთანთქმის კოეფიციენტი $\sqrt{\rho_M \mu_M}$ 20°C -ზე ტოლია 3.16×10^{-3} ომ^{1/2}. მ^{1/2}; 721°C -ზე $9.35 \cdot 10^{-3}$ ომ^{1/2}. მ^{1/2}; 1580°C -ზე 1.18×10^{-3} ომ^{1/2}. მ^{1/2};

გეომეტრიული ზომების განსაზღვრა

ტიგელის მარგი მოცულობა, შევსებული ლითონით, დაიკაევს მოცულობას V_T .

$$V_T = \frac{4}{7.2} = 0.556 \text{ მ}^3$$

ვიღებთ რა შეფარდებას $\bar{A} = \bar{D}_M / h_M = 0,95$ (მრუდი 3 ნახ.11.7)

ესაზღვრავთ:

ა) ტიგელის საშუალო დიამეტრს მრუდი 2-ის (ნახ.11.7) მიხედვით, ან (11.24) ფორმულით $\bar{D}_M = 0.88 \text{ მ}$;

ბ) ტიგელის სასარგებლო სიმაღლეს ე.ი. ლითონის სიმაღლეს (11.25) ფორმულით: $h_M = 0.93 \text{ მ}$.

ვიღებთ რა შეფარდებას $D_B / \bar{D}_M = 1.35$. (ნახ.11.7 მრუდი 5)

ესაზღვრავთ ინდუქტორის შიგა დიამეტრს:

$$D_B = 1,35 \cdot 0,88 = 1,17 \text{ მ};$$

ეპოულობთ ამონაგის კედლის სისქეს მრუდი 1-ის მიხედვით (ნახ.11.7)

$$\bar{\Delta}_\phi = 0,1458.$$

ვიღებთ რა $h_H / h_M = 1,15$ ტოლად (მრუდი 6. ნახ.11.7)

ესაზღვრავთ ინდუქტორის სიმაღლეს

$$h_H = 1,15 \cdot 0,93 = 1,07 \text{ მ}.$$

ღუმელის სიმძლავრე

ღუმელის სასარგებლო სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$P_M = qG / 3.6r_n = 1.42 \cdot 10^4 / 3.6 \cdot 1.5 \approx 1100 \text{ კვტ.}$$

სადაც q - ლითონის სითბოშემცველობაა, ჯ/კგ.

r - დნობის დრო, სთ;

სითბური დანაკარგების გათვალისწინებით (იხ.11.30) ეირჩევთ საშუალო სიხშირის სამანქანო გარდამსახს სიმძლავრით

$$P_{\text{გარდ}} = 13 \cdot 1100 \approx 1400 \text{ კვტ.}$$

გარდამსახის სიხშირისა და პარამეტრების განსაზღვრა

დენის სიხშირეს ინდუქტორში საორიენტაციოდ ვსაზღვრავთ (11.18) ფორმულის მიხედვით თხევადი ლითონის შემთხვევისთვის:

$$f_{\min} = 25 \cdot 10^6 \frac{1.4 \cdot 10^{-6}}{1(0.88)^2} = 50 \text{ კც.}$$

მინიმალური სიხშირის ეს მნიშვნელობა შევამოწმოთ დნობის მომენტისთვის როდესაც კაზიმა უკვე დაკარგა მაგნიტური თვისებები ($t > t_*$), მაგრამ ჯერ კიდევ არ შედუღდა ერთიან ცილინდრად.

(11.4) გამოსახულების თანახმად შეღწევის სიღრმე ამ პირობებისთვის ტოლია:

$$\delta = 500 \sqrt{\frac{1.1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 50}} = 0.075 \text{ მ.}$$

არგუმენტი χ , K_{MP} ფუნქციისათვის (იხ.ნახ.11.2ა) მიიღება 10-ზე ნაკლებს ტოლად

$$\chi = \bar{D} / \delta = 0.1 / 0.075 = 1.3 \leq 10$$

ამრიგად, სიხშირე 50 კც. ვერ უზრუნველყოფს კაზიმის გადნობას, რომელიც შედგება ცალკეული ნაჭრებისგან, რომელთაც დაკარგეს მაგნიტური თვისებები.

ვიპიეთ კრიტიკული სიხშირის სიდიდე განსახილველი მომენტისთვის იმ პირობით, რომ

$$\chi = 3.5 \quad (D_{\text{კაზ}} \approx 3.5\delta)$$

$$f_{\text{კრ}} \approx \frac{\chi^2}{4} \cdot 10^6 \frac{\rho_M}{\mu_M D^2 M} = \frac{3.5^2}{4} \cdot 10^6 \frac{1.1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0.1^2} = 330 \text{ კც.}$$

მანქანური გარდამსახის უახლოესი ნორმალიზებული სიხშირე ტოლია 500 კც. ამ სიხშირეს ვირჩევთ დასაპროექტებელი ღუმელისთვის.

სიმძლავრის მიხედვით ყველაზე მისაღებად მიგვაჩნია ორმანქანიანი გარდამსახი БГО.1500-500 ტიპის გენერატორით (სიმძლავრე 1500კვტ, სიხშირე 500 კც; ძაბვა 1600/800ვ, მ.ქ.კ.0.86);

ღუმელის ელექტრული გაანგარიშება

ინდუქტორის დენის „ნაფენის“ განსაზღვრისთვის (11.39) ფორმულის მიხედვით გამოვითვალოთ არგუმენტი χ ღუმელის მუშაობის ცხელ რეჟიმში.

$$\chi = \bar{D}_M / \delta = \frac{0.88}{500 \sqrt{\frac{1.4 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1500}}} \approx 33 \geq 10$$

შემასწორებელი კოეფიციენტები K_{MP} და K_{MQ} (იხ.ნახ.11.2ა) ტოლია ერთისა და ამიტომ $[P_{MP}] = [Q_M]$.

ამ ანგარიშის გეომეტრიული თანაფარდობებისთვის მოცემულია:

$$h_H / h_M = 1,15 \quad D_B / h_H = 1.17/1.07 \approx 1.1$$

$$(\bar{D}_M - \delta) / h_M = \frac{0.88 - 0.027}{0.93} \approx 0.92$$

ცნობილი ნომოგრამების საშუალებით ვსაზღვრავთ მანეტიური განზნევის კოეფიციენტს:

$$K_p \approx 0.88$$

დენის „ნაფენს“ ინდუქტორში ვსაზღვრავთ (11.39) ფორმულით

$$I_{W1} = \frac{400}{0.88} \sqrt{\frac{1100}{0.88 \cdot 0.93 \sqrt{1.4 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 500 \cdot 1}}} = 1.02 \cdot 10^3 \text{ ა/მ.}$$

რეაქტიული სიმძლავრე ლითონში რიცხობრივად ტოლია აქტიური სიმძლავრისა ე.ი. $Q_M = 1100$ კვარი.

რეაქტიულ სიმძლავრეს ღრეზოში გამოვითვლით (11.37) ფორმულით

$$Q_3 = 6.2 \cdot 10^{-9} (1.02 \cdot 10^3)^2 \cdot 500 \cdot 0.88^2 \cdot 0.93 \left[\left(\frac{1.17}{0.88} \right)^2 - 1 \right] = 17700 \text{ კვარი.}$$

ინდუქტორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების განსაზღვრისთვის ვიღებთ შევსების კოეფიციენტს $K_3 = 0.86$ ტოლად. ნახ.11.2ბ მიხედვით ვაპოულობთ $K_{MP} \approx K_{MQ} \approx 1$, მაშინ $[P_H] = [Q_H]$ ე.ი.

$$P_H = 6.2 \cdot 10^{-6} (1.02 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,17 \cdot 1,07 \sqrt{2 \cdot 10^{-8} \cdot 500} \frac{1}{0,86} \approx 300 \text{ კვტ;}$$

$$Q_H = 300 \text{ კვარი.}$$

ინდუქტორ-ლითონის სისტემის საერთო აქტიური სიმძლავრეა იხ. (11.40)-11.42).

$$P_{H.წ} = Q_M + Q_3 + Q_H = 1100 + 17700 + 300 = 19100 \text{ კვარი.}$$

ინდუქტორში დენის განსაზღვრისთვის შევარჩიოთ ძაბვა ინდუქტორზე ანგარიშისთვის ვიღებთ $U_H = 2000$ ვ და ვირჩევთ მცხ-2-0,5 ტიპის კონდენსატორებს.

დენი ინდუქტორში $I_H = 2000$ ვ დროს ტოლი იქნება:

$$I = \frac{19150 \cdot 10^3}{2000} = 9600 \text{ A;}$$

ინდუქტორის ხეიბის სრული რიცხვი ტოლი იქნება:

$$W = \frac{1.02 \cdot 10^3}{9600} \cdot 1.07 = 11 \text{ ხეიბისა;}$$

ინდუქტორის ხეიების რიცხვი, რომლებთანაც მიაერთებენ სიხშირის გარდამსახს აეროტრანსფორმატორული სქემის დროს ($U_H = 1600$ ე) ტოლი იქნება:

$$w_{გარ} = 11 \frac{1600}{2000} = 9 \text{ ხეიისა;}$$

$$\text{ხეის ბიჯი } \tau_B = 1.07/11 = 0.098 \text{ მ.}$$

ხეიებს შორის ღრეზოს ვიპოვით (11.45) ფორმულის მიხედვით, ღრეზოს 39 ე/მმ ძაბვის შერჩევით:

$$\Delta_{იზ} = \frac{2000}{39 \cdot 11} \cong 4.7 \text{ მმ.}$$

$$\text{ხეის სიმაღლე ტოლი იქნება: } h_B = \frac{98}{3} - 4.7 = 28 \text{ მმ-ს.}$$

ინდუქტორის დასაშვადებლად ვირჩევთ D -ს მაგვარი პროფილის სპილენძის მილაკს - 28 მმ სიმაღლით.

ღუმელის ელექტრო მ.ქ.კ. განისაზღვრება (11.47) ფორმულით:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{1100}{1400} = 0,785$$

შედარებისთვის გამოვითვალოთ ზღვრული მნიშვნელობის მ.ქ.კ. (11.48) ფორმულის მიხედვით:

$$\eta_{\Sigma, \text{ფ}} = \frac{1}{1 + \frac{1,17 \cdot 1,07}{0,88 \cdot 0,93 \cdot 0,88^2 \cdot 0,86 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1}}}} = 0,785$$

სიმძლავრის ბუნებრივ კოეფიციენტს განესაზღვრავთ (11.49) ფორმულით:

$$\cos \varphi = \frac{1400}{19150} = 0.073$$

კონდენსატორული ბატარეის ტევადობას ვსაზღვრავთ (11.22) ფორმულის გამოყენებით:

$$C_{\Sigma} = \frac{19150 \cdot 10^9}{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 500 \cdot 2000^2} = 1520 \text{ მკფ.}$$

თეორიულმა და ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა ცხადყვეს, რომ ინდუქციური გახურების დანადგარებში აქტიური სიმძლავრის მაქსიმუმის გამოყოფა კაზმში დამოკიდებულია არა მარტო სიხშირეზე, არამედ კაზმის ზომებზეც. მაგალითად ფოლადის ნაჭრების ოპტიმალური დიამეტრი 50 პერც სიხშირეზე 32-34 სანტიმეტრია, 500 პერცზე -10-11 სანტიმეტრი, 2000 პე-ზე კი მხოლოდ 5-6 სმ.

11.7 მაგნიტოჰიდროდინამიკური პროცესების ინტენსიფიკაცია

ინდუქციურ ელექტროღუმელში

ინდუქციურ ღუმელებში მაგნიტოჰიდროდინამიკური პროცესების ინტენსიფიკაციის მიზნით, ჩვენს მიერ შემუშავებული და წარმოებაში დანერგილია კომბინირებული ინდუქციური ღუმელი (იხ.ჟურნალი „Стань“ 2001 №12 გვ.25-27).

ცნობილია, რომ ინდუქტორის მიერ წარმოქმნილი ცვლადი მაგნიტური ველი და ნაღობში ინდუცირებული გრიგალური დენები იწვევენ არა მარტო გასადნობი ლითონის გახურებას, არამედ განაპირობებენ ელექტროდინამიკური ძალების წარმოქმნას. ნათქვამთან დაკავშირებით მნიშვნელოვან ინტერესს წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ველის გამოყენება ლითონში ფაზური გარდაქმნების მართვისთვის.

ნაწილაკების მოძრაობა ზოგადი თვალსაზრისით ატარებს რთულ ხასიათს და დამოკიდებულია მრავალი ფაქტორისგან. წიდა-ლითონის სისტემაში მიმდინარე მასამომოცვლითი პროცესების სიჩქარე ძირითადად ლიმიტირდება რეაგენტების დიფუზიით ფაზების გაყოფის ზედაპირისკენ და მისგან. ეს პროცესები ასეულჯერადად ჩქარდებიან ტურბულენტური დიფუზიის გამოყენებით მოლეკულურ-დიფუზიურ გაცვლასთან შედარებით. ერთ-ერთი ცნობილი სქემის მიხედვით (იხ.ნახ.11.8) თხევად ლითონში ბგერითი რხევების აღგზნება ხორციელდება გადაჯვარედინებული ელექტრომაგნიტური ველის გამოყენებით, რაც მდგომარეობს სტატიკური მაგნიტური ველის ცვლად ველზე ზედდებით. მიუხედავად მაგნიტოჰიდროდინამიკური პროცესების მნიშვნელოვანი ინტენსიფიკაციისა აღნიშნული სქემის გამოყენება შეზღუდულია მუდმივი დენის დამატებითი წყაროს, გამყოფი მძლავრი კონდენსატორების და დიდი ინდუქტივობის მქონე შემზღუდავი დროსელის გამოყენების აუცილებლობით.



ნახ. 11.8 ინდუქტორში სტატიკური მაგნიტური ველის ცვლად ველზე ზედდების სქემა

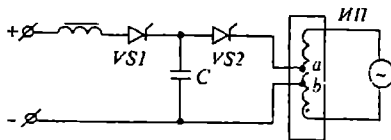
ნახ.11.9-ზე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ შემუშავებული კომბინირებული ინდუქციური დანადგარის სქემა ტექნოლოგიური პროცესების ინტენსიფიკაციისთვის, რომლის მიხედვით დასახული ამოცანა მიიღწევა თხევადი ლითონის მოთავსებით იმპულსურ მაგნიტურ ელში, რაც იწვევს ლითონში ფიზიკო-ქიმიურ და ძალური პროცესების წარმოქმნას.

დენის მძლავრი იმპულსების გენერაციის პრობლემა ძლიერი მაგნიტური ველების მიღებისთვის პირველ რიგში მდგომარეობს შესაბამისი ენერჯის წყაროების შექმნაში, რომლებმაც უნდა დააგროვონ საჭირო ენერჯის მარაგი და გადასცეს იგი ძლიერ მაღალი სიჩქარით განმუხტვისათვის.

იმპულსური კონდენსატროების განმუხტვისას ინდუქტორზე, სადაც იყენებენ „პინ-ფეექტს“, იქმნება შესაძლებლობა კონდენსატორის ელექტროველში დაგროვილი ენერჯის გადაცემისა განსაზღვრული კონფიგურაციის მაგნიტური ველის ენერჯიაში. მიღებული იმპულსური მაგნიტური ველი ხასიათდება ენერჯის მაღალი სიმკერეით და შესაბამისად ძლიერი ძალური ზემოქმედებით ელექტრომაგნიტარ გარემოზე. ასე მაგალითად, გამდნარი ლითონი, როცა ველის მაგნიტური ინდუქცია ტოლია $20 \div 25$ ტესლასი, განიცდის დრეკად დეფორმაციებს.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული კომბინირებული დანადგარი არის ტიგელიანი ღუმელი ცილინდრული ინდუქტორით, რომელიც წარმოადგენს შედარებით მოკლე ელექტრომაგნიტურ სისტემას, რომლის შუა ნაწილში (*ab*) ელექტრომაგნიტური ძალები მიმართული არიან მკაცრად რადიალურად. წინასწარ დამუხტული კონდენსატორის განმუხტვა ხორციელდება ინდუქტორის შუა ნაწილის 2-3 ხვიაზე.

იმპულსურ გენერატორში (იხ.ნახ.11.9) დამუხტვის და განმუხტვის წრეები გაყოფილია. *C* კონდენსატორი იმუხტება *VSI* ტირისტორის ჩართვით, ხოლო *VS2* ტირისტორის გახსნით ხორციელდება კონდენსატორ *C*-ის განმუხტვა. დროის ამ მონაკვეთში განმუხტვის დენი ფაზის მიხედვით ემთხვევა ინდუქტორის ძირითადი დენის დადებით ნახევარპერიოდს, ამასთან ჯამური დენი, რომელიც გაიელის ინდუქტორის აქტიურ ზონაში, განსაზღვრავს შეკუმშვის უფექტს.



ნახ. 11.9 კომბინირებული ინდუქციური დანადგარის სქემა

იმპულსურ გენერატორს რთავენ 10-15 წუთით ადრე ლითონის ჩამოსხმამდე და ამ დროის განმავლობაში ლითონზე მოქმედებს მაგნიტური ველით გამოწვეული დარტყმითი ტალღები. განვსაზღვროთ იმპულსური ძალების წნევა, რომლებიც იწვევენ ვიბრაციას თხევად ლითონში.

აღწერილ დანადგარში განმუხტვის დენს აქვს რხევითი ხასიათი და განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$i = \frac{U}{\omega_0 L \sqrt{1 - r^2 c / 4L}} e^{-n/2L} \sin(\omega_0 \sqrt{1 - r^2 c / 4L} t), \quad (11.50)$$

სადაც, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ არის არამძლევადი რხევების საკუთარი კუთხური სიხშირე; r და L შესაბამისად ექვივალენტური აქტიური და ინდუქციური წინაღობები „ინდუქტორ-ჩანატვირთის“ სისტემისა (ჩანატვირთად მიჩნეულია თხევადი ლითონის ის ნაწილი, რომელიც მდებარეობს იმპულსური მაგნიტური ველის არეში a და b წერტილებს შორის (11.9).

ასეთი სისტემის ექვივალენტური სქემა მოცემულია ნახ.11.10-ზე. ამ სურათზე და x_1 შესაბამისად საკუთარი აქტიური და ინდუქციური წინაღობებია ინდუქტორის ab ნაწილისა; r_2 და x_2 საკუთარი აქტიური და ინდუქციური ჩატვირთვის წინაღობებია. და x_2' ჩანატვირთის პარამეტრებია, რომლებზეც მოქმედებს ინდუქტორის ab მონაკვეთზე გამავალი დაყვანილი დენი. M არის ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი. ამ სიდიდეების განსაზღვრა ინდუქციური გახურების თეორიის თანახმად ადვილია.

ელექტრომაგნიტური პროცესების კვლევისას თხევად ლითონში მაქსიმალური განტოლების საფუძველზე მიღებულია მაგნიტური ველის დიფუზიის განტოლება:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial Z^2} = \mu \gamma \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (11.51)$$

სადაც H არის მაგნიტური ველის დაძაბულობა;

μ - ლითონის მაგნიტური შეღწევადობა;

γ - ლითონის ელექტრული გამტარობა. განტოლება (11.51)-ში OZ ღერძი მიმართულია გამტარი გარემოს სიღრმეში. მისი ამოხსნისთვის გამოვიყენოთ შემდეგი ზღერული პირობები:

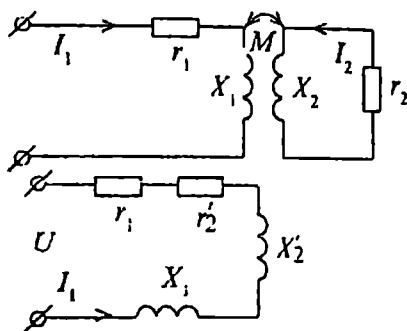
$$H(0,t) = 0, \quad -\infty < t < \infty \quad (11.52)$$

$$H(t), \quad 0 \leq t < \infty$$

$$H(Z,0) = 0, \quad 0 < Z < \infty \quad (11.53)$$

ინდუქტორის ზედაპირზე დაძაბულობის ცვალებადობის კანონი (11.50) განტოლების გათვალისწინებით შეიძლება გამოისახოს ფორმულით:

$$H(0, t) = H_0 e^{-\pi/2L} \sin(\omega_0 \sqrt{1 - r^2 C/4L}) . \quad (11.54)$$



ნახ.11.10 „ინდუქტორ-ჩანატირთვის“ სისტემის ეკვივალენტური სქემა

განტოლება (11.51) წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით (11.54) გამოსახულების გათვალისწინებით:

$$H(Z, t) = H_1(Z, t) - H_2(Z, t), \quad (11.55)$$

სადაც, $H_1(Z, t)$ არის დაძაბულობის მნიშვნელობა დამყარებული რეჟიმისთვის;

$H_2(Z, t)$ დაძაბულობის თავისუფალი მდგენელი, განპირობებული გარდამავალი პროცესით ($t \rightarrow \infty$ $H_2(Z, t) = 0$)

(11.51) განტოლების ამოხსნა განმუხტვის დენის პირველი ნახევარტალღისთვის (11.52) - (11.54) გათვალისწინებით იძლევა:

$$H_1(Z, t) = H_0 e^{-\pi/2L} e^{-\alpha Z} \sin(\omega' t - \beta Z). \quad (11.56)$$

შემდეგში განტოლების ჩაწერის გასამარტივებლად შემოგვაქვს ზოგიერთი აღნიშვნები:

$$\omega' = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{4L^2}}; \quad \delta = \frac{r}{2L}; \quad n = \delta^2 + \omega'^2; \quad \varphi = \omega' t; \quad K = \delta / \omega'. \quad (11.57)$$

გამოსახულება (11.56)-ში α არის მიღევის კოეფიციენტი.

$$\alpha = \sqrt{\mu\gamma\sqrt{n}} \cos\left(\frac{\pi}{4} + 0.5\text{arctg}K\right); \quad (11.58)$$

β - არის ფაზის კოეფიციენტი:

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}\sqrt{n}} \sin\left(\frac{\pi}{4} + \text{arctg}K\right); \quad (11.59)$$

ელექტრო ველის დაძაბულობისთვის:

$$E_1(Z, t) = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}\sqrt{n}} H_0 e^{-(\delta+az)} \sin\left(\varphi - \beta Z + \frac{\pi}{4} + 0.5\text{arctg}K\right). \quad (11.60)$$

თუ ჩანატეირთში გამოეყოფთ ელემენტარულ მოცულობას dv (ეთვალისწინებთ, რომ მასში არის ინდუქტირებული დენი), მაშინ მასზე მოქმედი მოცულობითი ძალის სიმკერძე ტოლი იქნება:

$$f = \mu_0 \gamma E H. \quad (11.61)$$

შევიტანთ, რა ამ განტოლებაში H_1 და E_1 მნიშვნელობებს ფორმულა (11.56) და (11.61)-დან, გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$f = \mu_0 \sqrt{\gamma\mu_0}\sqrt{n} H_0 e^{-2(\delta+az)} \quad (11.62)$$

$$\sin\left(\varphi - \beta Z + \frac{\pi}{4} + 0.5\text{arctg}K\right) \sin(\varphi - \beta Z) \quad (11.62)$$

(11.62) განტოლების ინტეგრირება ნოლიდან Z -მდე ზღვრებში იძლევა წნევის საანგარიშო ფორმულას:

$$P(Z, \varphi) = \frac{\mu_0 H_0^2}{4} e^{-2\kappa\varphi} \{1 - \cos\varphi - e^{-2z/\delta} [1 - \cos 2(\varphi - \frac{Z}{\delta})]\}; \quad (11.63)$$

ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გვაჩვენა, რომ დრეკადი უკონტაქტო რხევები, გაერცვლებული თხევად ლითონში, განაპირობებენ ღუმელში მყოფი ნაღობის თანაბარ დაბუშაბებას, მის დეგაზაციას და რაფინირებას; რხევების აღზნებისას, დნობის მსვლელობის პროცესში თხევად ლითონში მკვეთრად მცირდება აირების რაოდენობა, მცირდება ლითონის მარცვლების ზომები, ჩქარდება მანეე მინარევების წიდაში გადასვლა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ლითონის ხარისხს.

12. ელექტრორკალური ღუმელები

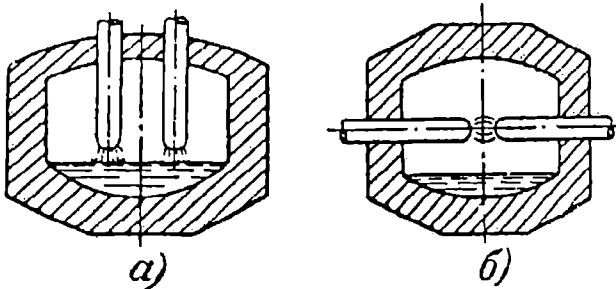
12.1 რკალური ღუმელების კლასიფიკაცია

საერთო სახელწოდება „რკალური ღუმელები“ მოიცავენ საკუთრივ რკალურ და მადანთერმიულ ღუმელებს.

რკალურ ღუმელში ენერჯიის ძირითადი ნაწილი გამოიყოფა ერთ ან რამოდენიმე ელექტრორკალში, რომლებიც წარმოიქმნებიან ღუმელის შიგა სიერცეში. რკალური ღუმელების ძირითადი დანიშნულებაა სხვადასხვა ლითონების და შენადნობების გამოდნობა. მაღალი ტემპერატურა და სიმძლავრის მნიშვნელოვანი კონცენტრირება ელექტრო რკალში საშუალებას იძლევა რკალური ღუმელები გამოყენებულ იქნენ სპილენძის, შავი ლითონების და აგრეთვე, ძნელადდნობადი ლითონების და შენადნობების გამოსადნობად.

ამავე მიზეზებით რკალურ ღუმელებში ადვილად დნობადი ლითონების მაგ. ალუმინის დნობა არამიზანშეწონილია მათი მაღალი ნაწვეის გამო.

განარჩევნ გამოსადნობი ელექტრორკალური ღუმელების ორ ძირითად სახეობას: პირდაპირი გახურების ღუმელებს, რომლებშიც რკალი წარმოიქმნება ელექტროდებსა და გამდნარ ლითონს შორის (ნახ.12.1ა) და ირიბი გახურების ღუმელებს, რომლებშიც რკალი ანთია ორ ერთმანეთისკენ მიმართულ ელექტროდებს შორის ღუმელში ჩანატვირთისგან დამოუკიდებლად. (ნახ.12.1ბ).



ნახ.12.1 რკალური ღუმელების სქემები

ფართო გავრცელება ჰქონეს პირდაპირი გახურების ელექტრორკალურმა ღუმელებმა, რომლებსაც იყენებენ შავი ლითონების და აგრეთვე, სხვადასხვა ძნელადდნობადი ლითონების და შენადნობების გამოსადნობად.

ირიბი გახურების რკალური ღუმელები გამოიყენება ძირითადად ფერადი ლითონების გამოსადნობად, ზოგჯერ თუჯის წარმოებისას.

მადანთერმიულ ღუმელში სითბური ენერჯის ძირითადი ნაწილი გამოიყოფა ნაწილობრივ ელექტრო რკალში, ნაწილობრივ დენის გავლით მაღალ ტემპერატურაზე გახურებულ კაზში.

ამრიგად, აქ ადგილი აქვს ენერჯის გამოყოფის ორი პრინციპის შერწყმას, რომლებიც ახასიათებს პირდაპირი გახურების რკალურ ღუმელს და ელექტროწინაღობის ღუმელს.

12.2 ელექტრული რკალი

ელექტრული რკალი წარმოადგენს აირში ან ორთქლში, ელექტრული განმუხტვის ერთ-ერთ სახეობას. იგი ხასიათდება დენის მაღალი სიმკვერივით, რამაც შეიძლება მიაღწიოს ასეულ ან ათასეულ ამპერეს 1 სმ²-ზე.

რკალის წარმოქმნის ანუ ანთების უზრუნველყოფისათვის ორ ელექტროდს შორის, რომლებზეც ძაბვაა მოდებული, ისინი უნდა მოიყვანონ შეხებაში და შემდეგ ნელ-ნელა დააშორონ ერთმანეთს. ელექტროდების კონტაქტის დროს მათში გაივლის მოკლე შერთვის დენი, მათი განშორებისას იონიზირებულ შუალედში გახურებულ ელექტროდებს შორის წარმოიშევა რკალი.

ნორმალურ პირობებში ნებისმიერი აირი დენის არაგამტარია, თუმცა თუ აირი იონიზირებულია, მაშინ მასში არსებული თავისუფალი ელექტრონები და იონები მას ანიჭებენ დენგამტარიანობას.

ამ შემთხვევაში ელექტროველის არსებობის პირობებში ორ ელექტროდს შორის ანოდსა (+) და კათოდს (-) შორის ელექტრონები და იონები გადაადგილდებიან ელექტრომუხტის გადატანით შესაბამის ელექტროდზე. რკალური განმუხტვისას, დამახასიათებელია შემდეგი თავისებურებანი:

1. ელექტრორკალის როგორც წარმოქმნისთვის და მისი არსებობისთვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ელექტრონების ემისია კათოდიდან, რაც განპირობებულია კათოდის მაღალი ტემპერატურით, უფრო ზუსტად „კათოდური ლაქით“, ე.ი. კათოდის ზედაპირის იმ ნაწილით, რომელიც ელექტრონების ემისიას იწყებს.

თერმოელექტრონული ემისია მკვეთრად იზრდება ტემპერატურის გაზრდით; გარდა ამისა, ადგილი აქვს ავტოელექტრონულ ან ელექტროსტატიკურ ემისიას, რომელიც განპირობებულია ელექტროელების დიდი დაძაბულობით კათოდის ზედაპირზე, რომლის გაეღენითაც კათოდიდან ადგილი აქვს ელექტრონების ამოტყორცნას.

ემისიის ეს სახეობები თამაშობენ ძირითად როლს ელექტროკალში. კათოდური ლაქის მაღალი ტემპერატურა უზრუნველყოფილია იმით, რომ კათოდზე ხედებიან დადებითად დამუხტული იონები და გადასცემენ თავიანთ კინეტიკურ ენერჯიას.

2. აიროვანი გარემოს იონიზირება ელექტროკალში გამოწვეულია უპირველეს ყოვლისა იმით, რომ ელექტრონები განიცდიან მუდმივ შეჯახებებს აირის ნეიტრალურ ატომებთან და მოკელულებთან. ამრიგად, აირის იონიზაციის მეორე წყაროს წარმოადგენს თერმიული იონიზაცია, რაც განპირობებულია ელექტროკალში განვითარებული მაღალი ტემპერატურით.

რკალი შეიძლება იყოს მუდმივი და ცვლადი დენის მუდმივი დენის რკალის შემთხვევაში ერთი ელექტროდი მუდამ წარმოადგენს კათოდს, მეორე -ანოდს.

ცვლადი დენის შემთხვევაში, რკალის არსებობის პირობები მკვეთრად იცვლება. ამ დროს ელექტროდებს შორის არსებული აირის თბური მდგომარეობა და დენის ძალა განიცდის მუდმივ ცვლილებას. ყოველი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ქსელის ძაბვა და დენი აღწევს მაქსიმუმს ნულზე გავლით. ყოველ პერიოდში ელექტროდი და გასახურებელი მასალები რიგრიგობით ასრულებენ ხან კათოდის, ხან ანოდის ფუნქციებს. რკალზე მოდებული პოტენციალი კი მცირდება, გადის ნულზე და შემდეგ კვლავ აღწევს მაქსიმუმს. პოტენციალის შემცირებას თან ახლავს იონიზირებული ნაწილაკების რაოდენობის შემცირება. დროის ერთეულში წარმოიქმნება უფრო ცოტა იონიზირებული ნაწილაკი, ვიდრე განიმუხტება. როცა პოტენციალი მიდის ნულთან, ელექტროდებს შორის აირის ტემპერატურა ეცემა, აირი კარგავს იონებს და მისი ელექტროგამტარობაც მცირდება იმისდა მიხედვით, თუ როგორი სახის ძაბვაა მოდებული ელექტროდებზე და ელექტროდებშორის აირის გაციება რა პირობებში წარმოებს. პოტენციალის ნულზე გადასვლის შემდეგ რკალი შეიძლება აინთოს ან საერთოდ ჩაქრეს.

ამრიგად, რკალი წყვეტილად ანთია. დრო, რომლის განმავლობაში რკალი გაწყვეტილია, დამოკიდებულია სხვადასხვა მიზეზებზე (ელექტროდების მასალა, ელექტრული ქსელის ინდუქციური წინააღობა და სხვ). მაგალითად, თუ რკალი იკრება გრაფიტის ორ ელექტროდს შორის, მაშინ დენის პოლარობის შეცვლის

დროს არ იცვლება კათოდის ან ანოდის მასალა გრაფიტი და რკალი უფრო ღიბხანს ანთია, იმ შემთხვევასთან შედარებით, როდესაც ერთი ელექტროდი გრაფიტია, ხოლო მეორე რკინა. ასეთი სურათი გვაქვს სწორედ ელექტრორკალურ ღუმელში. ამგვარ წრედებში ინდუქციურობის ჩართვა ასტაბილირებს რკალს, ე.ი. ხელს უწყობს დენის უწყვეტ გავლას და ეწინააღმდეგება მის გაწყვეტას სხვადასხვა შემთხვევითი მიზეზების გამო.

ამასთან, ინდუქციური წინაღობა ზღუდავს დენის სიდიდეს მოკლე ჩართვისას.

12.3 რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები

პირდაპირი მოქმედების რკალური ფოლადსადნობი ღუმელის ძირითადი დანიშნულებაა ლითონის გამოდნობა ფოლადის ჯართისგან, ასეთი პროცესი ზედმეტად ენერგიატეკადია. ერთ ტონა გამოდნობილ ფოლადზე იხარჯება 500-დან 1000-მდე კეტსთ ელექტროენერგია, ამიტომ ნახშირბადოყან, კონსტრუქციულ ფოლადებს იღებენ კონვერტერებში, სადაც მათი გამოდნობა ეკონომიკურად უფრო გამართლებულია.

რკალურმა ელექტროფოლადსადნობმა ღუმელებმა მიიღეს ფართო გავრცელება ხარისხიანი, მაღალლეგირებული ფოლადების გამოსადნობად.

რკალური ფოლადსადნობი ღუმელის ძირითად მეტალურგიულ პარამეტრს წარმოადგენს მისი ნომინალური ტევადობა თხევადი ლითონის რაოდენობით, რომელიც თავსდება აბაზანაში, ამონაგის და ღუმელის ქვედის ოპტიმალური ზომების დაცვით. ამასთან ღუმელის ნომინალურ ტევადობას უნდა შეესაბამებოდეს გარცმის განსაზღვრული დიამეტრიც, რაც ღუმელის ძირითად გეომეტრიულ პარამეტრს წარმოადგენს.

ღუმელის მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ პარამეტრს წარმოადგენს ტრანსფორმატორის სიმძლავრე, რაც არსებით გავლენას ახდენს გადნობის პერიოდის ხანგრძლივობაზე და განსაზღვრავს ღუმელის მწარმოებლურობას.

რიგ შემთხვევებში ღუმელის მაჩვენებლების გაუმჯობესება შეიძლება მიღწეულ იქნეს არა ტრანსფორმატორის სიმძლავრის გაზრდით, არამედ სხვა პარამეტრების წყალობითაც.

რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები მუშაობენ სამრეწველო სიხშირის სამფაზიანი დენით. მათ აქვთ ფიალის მაგვარი ფორმა. ღუმელის კედლები ამოგებულია ცეცხლგამძლე მაგნეზიტური აგურით. თუ გამოიყენება ფუძოყანი წიდა, და ღინასის აგურით, თუ წიდა მჟავა ხასიათისაა. ღუმელის ქვედს

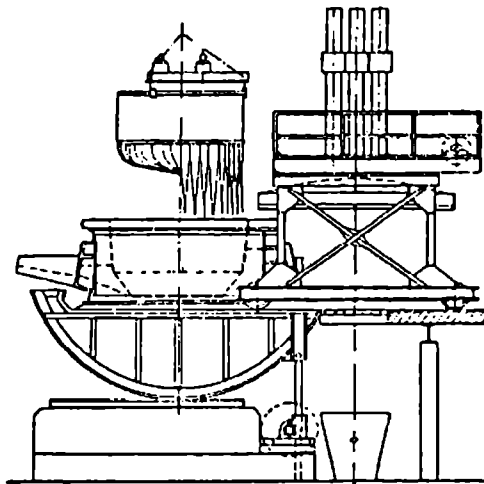
ტექნიკური ცვლადობები ფხვნილით, რომელიც შერეულია ქვანახშირის ფისთან, ან თხევად მინასთან თხევადი ლითონის შეუღწევადი ფენის შესაქმნელად. ზევიდან ღუმელი გადახურულია სფერული ცვლადობა თაღით, რომელსაც გრაფიტის ელექტროდების გასატარებლად გააჩნია სამი ხერელი. ელექტროდები ჩაჭერილი არიან ელექტროდ-საჭერებში, რომელთა სახელოები დამაგრებულნი არიან სადგარზე, მათ შეუძლიათ გადაადგილება ზემოთ და ქვემოთ ელექტროდების დახმარებით ან პიდრელიური მექანიზმებით. ელექტროდ-საჭერებს დენი გადაეცემათ სამფაზიანი საღუმელე ტრანსფორმატორიდან სილიციის სალტების და მოქნილი კაბელების დახმარებით. რკალი ითება ელექტროდების ბოლოებსა და ჯართის ნაჭრებს შორის ღრწოში. ელექტროდების ზემოთ ან ქვემოთ გადაადგილებით შეიძლება ვარგულიროთ რკალის სიგრძე და ამასთან ერთად ღუმელის თითოეული ფაზის დენი და სიმძლავრე. გარდა ამისა, ღუმელის რეჟიმის რეგულირებისთვის იყენებენ მკევაბი ძაბვის ცვლილებას, რისთვისაც საღუმელე ტრანსფორმატორის გრაგნილებს გააჩნიათ განშტოებების დიდი რიცხვი. ძაბვის ერთი საფეხურიდან მეორე საფეხურზე გადართვას მცირე ტევალობის ღუმელებში აწარმოებენ გამორთული ტრანსფორმატორის დროს, ხოლო მძლავრ ღუმელებზე საფეხურების გადართვის სპეციალური მოწყობილობის დახმარებით ღუმელის ქსელიდან გამოურთველად.

ღუმელის ამონაგი მოთავსებულია მტკიცე ფოლადის გარცმში, რომელშიც ამოჭრილია ერთი ფანჯარა, ასაწევი კარით და ხერელი კრიტისთვის ჩამოსასხმელი ტუნით, რომლის დახმარებით აწარმოებენ ნაღობის გამოშვებას ციცხში. სამუშაო ფანჯარა გამოიყენება ნაღობის აბაზანის სათვალთვალოდ და ამონაგის დაზიანებული ადგილების სარემონტოდ, აგრეთვე ღუმელში წიდაწარმოქმნელებისა და დამატებითი მასალების შეტანისთვის, სინჯის აღებისთვის და სხვ.

გარდა ამისა, სამუშაო ფანჯრის გამოყენებით ახორციელებენ წიდის მოხდის ოპერაციას ტექნოლოგიური პროცესის ერთ-ერთ ძირითად მოქმედებას, რისთვისაც ღუმელს დახრიან სარკმელისკენ. ღუმელის დახრის მექანიზმის დანაშნულებაა დნობის დამთავრების შემდეგ ლითონის ღუმელიდან ჩამოსხმა და აგრეთვე წიდის მოხდა. აქედან გამომდინარე, პირველი ოპერაცია ითხოვს ღუმელის დახრას გამოსაშვები კრიტის მხარეს 40-45°-ით, ხოლო დახრას ფანჯრისკენ 15-20°-ით.

ღუმელის დახრის სიჩქარე შეადგენს 1,5 გრადუსს/წმ, მცირე ტევალობის ღუმელისთვის და 0,4-0,8 გრადუსს/წმ დიდი ტევალობის ღუმელებისთვის.

ლუმელში ჯართის ჩატვირთვის წინ მის თაღს ზემოთ ასწევენ და ელექტროდებთან ერთად შუაბრუნებენ გვერდზე. ჩასატვირთ მოწყობილობას ე.წ. კალათას ათავსებენ ლუმელის თავზე და ჯართს ყრიან ლუმელის სამუშაო სიერცეში (ნახ.12.2).



ნახ.12.2 რკალური ფოლადსადნობი ლუმელი
ჯართის ზემოდან ჩატვირთვით

რკალურ ლუმელებს ელექტროდებს აწვდიან ნახშირის ან გარაფიტის ელექტროდების გამოყენებით.

ელქტროდის დიამეტრს შვარჩევენ დენის დასაშვები სიმკერვის გათვალისწინებით (იხ.ცხრილი 12.1)

თანამედროვე რკალურ ფოლადსადნობ ლუმელებში ძირითადად გამოიყენება გრაფიტირებული ელექტროდები.

იკა და პარამეტრი	დ ი ა მ ე ტ რ ი , მმ-ში														
	75	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	550	600
ფი	8	8	8	8	8.5	8.5	9	9	9	9	9	10	10	10	10
ფი1	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13
უნის მაქს.სიმკვრივე, ა/სმ ³	34	30	28	25	23	22	21	20	18	17	16	15.3	15	15	15

პირდაპირი მოქმედების ფოლადსადნობ სამფაზიან ღუმელებში ყველაზე გაერცელებულია სფერულკონუსური აბაზანა, კონუსის დერძა და მსახველს შორის 45°-იანი კუთხით.

აბაზანა ღუმელის ის ნაწილია, სადაც უნდა მოთავსდეს გამდნარი ლითონი და წიდა და ადგილი უნდა დარჩეს ლითონის დუღილის და არევისთვის (როდესაც მატულობს ლითონის და წიდის მოცულობა) აბაზანის ფორმა კი ხელს უნდა უწყობდეს ნადნობის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მიმდინარეობს, უნდა უზრუნველყოფდეს თბური დანაკარგების შემცირებას და დაზიანებული ადგილების შეკეთების შესაძლებლობას.

რკალური ფოლადსადნობი ღუმელის საანგარიშოთ საჭიროა სითბური ბალანსის შედგენა.

რკალური ფოლადსადნობი ღუმელის ტრანსფორმატორის სიმძლავრეს ირჩევენ დნობის პერიოდისათვის თბური ბალანსის მიხედვით, ვინაიდან შემდგომ პერიოდებში ღუმელი მოიხმარს ელენერგიის ნაკლებ სიმძლავრეს.

$$P = \frac{W}{\tau_p K \cos \varphi} \quad [კვა],$$

სადაც τ_p - დნობის სუფთა დრო (ღუმელის მუშაობის ჯამური ხანგრძლიეობა დენის ქვეშ ჯართის გადნობის პერიოდში), სთ-ში;

K - საღუმელე ტრანსფორმატორის სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი დნობის პერიოდში;

$\cos \varphi$ - საღუმელე დანადგარის სიმძლავრის კოეფიციენტი;

W - ელექტროენერგიის სრული ხარჯი დნობის პერიოდში, კეტს-ში.

η_3 და $\cos\varphi$ -ის გაზრდის მიზნით დნობის პერიოდში სიმძლავრე უნდა დაეიზიროთ მაქსიმალურად შესაძლებელ მეორად U_2 ძაბვაზე. თუმცა ძაბვის გაზრდით ადგილი აქვს ღუმელის ამონაგზე ელექტროკალიდან პირდაპირ დასხივებას, რაც იწვევს ამონაგის მდგრადობის შემცირებას. თანამედროვე სამუშაო ღუმელებისთვის რეკომენდირებულია მეორადი ხაზური ძაბვის უმაღლესი საფეხურის შემდეგი მნიშვნელობა:

$$U_{2\text{ ხ.უგ}} = 36\sqrt{S_{\text{ნომ}}},$$

სადაც $S_{\text{ნომ}}$ - არის ნომინალური სიმძლავრე, კვა-ში;

სიმძლავრის მოქნილი რეგულირება $S_{\text{ნომ}}$ -დან $S_{\text{მინ}}$ -მდე ხორციელდება მეორადი ძაბვის საფეხურების შეცვლით.

ელექტროდებში გამაეალი დენი სამუშაო ღუმელებისთვის დგინდება $S_{\text{ნომ}}$ - ისა და $U_{2\text{ ხ.უგ}}$ - მიხედვით.

$$I_{2\text{ ხ}} = \frac{S_{\text{ნომ}} \cdot 10^3}{U_{2\text{ ხ.უგ}} \sqrt{3}}$$

$I_{2\text{ ხ}}$ -ის სიდიდის მიხედვით განისაზღვრება ელექტროდის დიამეტრი.

ელექტროდის დიამეტრის შერჩევისას ძირითადი კრიტერიუმია დენის დასაშვები სიმკვრივე ელექტროდის განივ კვეთში.

ელექტროდის დიამეტრს განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{0,406 \cdot I_{2\text{ ხ}} \cdot \rho}{W}} \text{ სმ.}$$

ქვემოთ მოცემულია 120ტ. ტვეადობის რკალური ფოლადსადნობი ელექტროღუმელის გეომეტრიული ზომების გაანგარიშების მაგალითი. საწყისი მონაცემებით:

თხევადი ლითონის კუთრი მოცულობა $V_0 = 0.145$ მ³/ტ. აბაზანის ფორმა სფერულკონუსურია.

ლითონის სარკის დიამეტრის შეფარდება აბაზანის სიღრმესთან:

$$a = \frac{D}{H} = 5,75;$$

აბაზანის სფერული ნაწილის სიღრმე $H_{\text{სფ}} = 0,2 H$,

წილის მოცულობა $V_{\text{წ}} = 0,15 V$

თხევადი ლითონის მოცულობა ტოლია:

$$V = V_0 G = 0,145 \cdot 120 = 17,4 \text{ მ}^3.$$

$$C = 0,875 + 0,042a = 0,875 + 0,242 = 1,117$$

თხევადი ლითონის სარკის დიამეტრი:

$$D = 2000C\sqrt[3]{V} = 2000 \cdot 1.117\sqrt[3]{17.4} = 2234 \cdot 2.6 = 5800 \text{ მმ.}$$

$$H = \frac{D}{a} = \frac{5800}{5.75} = 1010 \text{ მმ} \approx 1000 \text{ მმ.}$$

სფერული სეგმენტის სიღრმე:

$$H_{\text{სფ}} = 0.2H = 0.2 \cdot 1000 = 200 \text{ მმ.}$$

თხევადი ლითონის კონუსური ნაწილის სიმაღლე $H_{\text{კ}} = 1000 - 200 = 800 \text{ მმ.}$

წილის მოცულობა $V_{\text{წ}} = 0.15V = 0.15 \cdot 17.4 = 2.62 \text{ მ}^3;$

$$\text{წილის ფენის სიმაღლე: } H_{\text{წ}} = \frac{1000V_{\text{წ}}}{0.785 \cdot 5.8^2} = 100 \text{ მმ.}$$

აბაზანის ჯამური სიღრმე ქვედიდან ფერდულამდე:

$$H_{\text{ჯ}} = H + H_{\text{წ}} + h_1 + h_2 = 1000 + 100 + 40 + 60 = 1200 \text{ მმ;}$$

სადაც h_1 არის წილის სარკის სიმაღლე ზღურბლის დონემდე, მიღებულია 40მმ-ის ტოლად

h_2 არის ზღურბლის დონიდან ფერდობის დონემდე სიმაღლე, მიღებულია 60მმ-ის ტოლად. ქვედის ამონაგის სისქე ელექტრომაგნიტური შერევის გათვალისწინებით მიღებულია $\delta_{\text{ქ}} = 800 \text{ მმ-ის ტოლად.}$

აბაზანის დიამეტრი ფერდობების დონეზე:

$$D_{\text{ფ}} = D + 2(H_{\text{წ}} + h_1 + h_2) = 5800 + 2(100 + 40 + 60) = 6200 \text{ მმ;}$$

ქვედის ამონაგის სისქე მიღებულია $\delta_{\text{ქ}} = 650 \text{ მმ-ს;}$

გარცმის შიგა დიამეტრი $D_{\text{გ}} = D_{\text{ფ}} + 2\delta_{\text{ქ}} = 6200 + 2 \cdot 650 = 7500 \text{ მმ;}$

საღრობი სიერცის სიმაღლეს წინასწარ ვიღებთ:

$$H_{\text{ღნ}} = 0.42 D_{\text{ფ}} = 0.42 \cdot 6200 = 2600 \text{ მმ;}$$

საღრობი სიერცის მოცულობა:

$$V_{\text{ღნ}} = 0.785 \cdot D_{\text{ფ}}^2 \cdot H_{\text{ღნ}} = 0.785 \cdot 6.2^2 \cdot 2.6 = 78.5 \text{ მ}^3;$$

ამრიგად, ღუმელის საანგარიშო შიგა მოცულობა ტოლია:

$$V_{\text{შ}} = V_{\text{ღნ}} + V = 78.5 + 17.4 = 95.9 \text{ მ}^3;$$

ღუმელის ნომინალური მოცულობის შესაბამისი კაზმის მოცულობითი წონა ტოლი იქნება:

$$\gamma_{\text{კაზ}} = \frac{G}{V_{\text{შ}}} = \frac{120}{95.9} = 1.25 \text{ ტ/მ}^3$$

გარცმის სრული სიმაღლეა:

$$H_{\text{გ}} = \delta_{\text{ქ}} + H_{\text{ჯ}} + H_{\text{ღნ}} = 800 + 1200 + 2600 = 4600 \text{ მმ;}$$

თაღის სისქეს ვიღებთ 380მმ-ის ტოლად.

თაღის მაღლის სიგრძეს ვიღებთ წინასწარი მიახლოებით 7000მმ-ის ტოლად და შემდგომში დაზუსტდება თაღის რგოლის კონსტრუქციისგან დამოკიდებულებით და მისი განლაგებით ღუმელის გარცმის მიმართ.

თაღის ამობურცულობის სიმაღლე დინასის ამონაგის დროს

$$h'_{თღ} = 0.1 \cdot 7000 = 700 \text{ მმ};$$

ქრომობაგნეზიტური ამონაგის დროს:

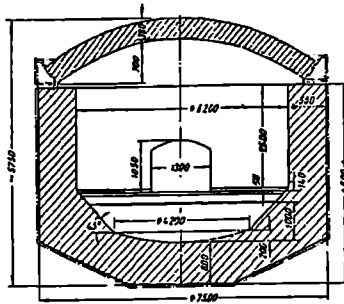
$$h''_{თღ} = 0.15 \cdot 7000 = 1050 \text{ მმ};$$

სამუშაო ფანჯრის ზომები:

სიგანე $b = 0.21 \cdot D_{ფ} = 0.21 \cdot 6200 = 1300 \text{ მმ};$

სიმაღლე $h = 0.8b = 1040 \approx 1050 \text{ მმ};$

გვერდითი ფანჯრის ზომები შეიძლება ავიღოთ 1050X850 ის ტოლად. ღუმელის საანგარიშო ესკიზი იხ.ნახ.12.3-ზე.



ნახ.12.3 რკალური ფოლადსადნობი ღუმელის საანგარიშო ესკიზი

ზოგიერთი ფოლადდნობი რკალური ღუმელების ძირითადი ტექნიკური მონაცემები მოცემულია ცხრილში 12.2.

ცხრილი 12.2

№	პ ა რ ა მ ე ტ რ ე ბ ი	FUCSH	CONCTEEL		COSS
1.	ღუმელის ტევალობა, ტ	70	60	90	85
2.	ტრანსფორმატორი, მვა	50	24	38	40
3.	ელექტროენერჯის ხარჯი, კვტს/ტ	395	370	335	330
4.	ელექტროდების ხარჯი, კგ/ტ	2.9	1.75	1.4	1.2
5.	ჯართის სიმკურევე, არა ნაკლები,ტ/მ ³	0.8	0.3	0.3	0.7
6.	კაზმის ზომები, მ	1.5-მდე	2.0-მდე	2.0-მდე	

12.4 რკინამადნური მონოკაზმის ბრიკეტებიდან ელექტროფოლადის გამოსადნობი აგრეგატი

ჩვენს მიერ პირველად ფოლადის წარმოების პრაქტიკაში შემოთავაზებულია პერიოდული მოქმედების უნივერსალური დახურული რკალური ღუმელი ფოლადის პირდაპირი წესით მიღებისთვის რკინის მადნის მონოკაზმის ბრიკეტებისგან (იხ.ჟურნალი „Металлур“-ის №11 2006წ. გვ.53-54 და №4 2009წ. გვ.36-38);

ფოლადის მიღება პირდაპირი აღდგენის მეთოდით (ერთსფეხურიანი ციკლით) ხასიათდება რიგი უპირატესობებით ტრადიციულ ხერხებთან შედარებით, რაც მომავალში განაპირობებს ფოლადის წარმოების ახალი მეთოდის ფართო გავრცელებას მეტალურგიულ პრაქტიკაში. შემოთავაზებულ მეთოდს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ქვეყანაში არსებული ჯართის, აგრეთვე კოქსის და თუჯის დეფიციტის გამო.

აღსანიშნავია ისიც, რომ ჩვენი სპეციალისტების მიერ შემუშავებულია მონოკაზმის ბრიკეტების დამზადების მეთოდი და მათი გამოყენება აპრობირებულია ფეროშენადნობების წარმოებაში. აღნიშნული ტექნოლოგიის გამოყენება შესაძლებელია, აგრეთვე ფოლადის წარმოებაში შესაბამისი სადნობი აგრეგატების არსებობის პირობებში.

შავი ლითონების მეტალურგიის კათედრის მიერ ჩატარებულმა საცდელმა დნობებმა (სამტონიანი ტედალობის ელექტრორკალურ ღუმელში) აჩვენა, რომ დაშეკსანის რკინამადნის და ტყობლის ნახშირის კონცენტრატებისგან დამზადებული მონოკაზმის ბრიკეტების დნობით შესაძლებელია ნახშირბადოვანი ფოლაების მიღება შესაბამისი შედგენილობით. კერძოდ, ფოლადის გამოსავალმა შეადგინა 600კგ ერთი ტონა ბრიკეტის ხარჯით, რკინის ამოღებამ 90-93%, ხოლო ელექტროენერგიის ხარჯმა შეადგინა 1450-1650 კვტსთ ერთ ტონა მიღებულ ფოლადზე. ამასთან აღსანიშნავია, რომ წილის დიდი რაოდენობა იწვევს ელექტროენერგიის დიდ ხარჯს და ნაღობის დროის გახანგრძლივებას.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ პერიოდული ქმედების უნივერსალურ რკალურ ღუმელში დნობის დასაწყისში ხორციელდება აღდგენითი პროცესი კაზმში ჩაძირული ელექტროდებით. კაზმის გადნობის შემდეგ ხდება წილის მოცილება ზემო კრიტიდან და ღია რკალზე მომუშავე ღუმელში (ფოლადსადნობი ღუმელის რეჟიმში) მიმდინარეობს რაფინირებისა და ლევირების პროცესები ტრანსფორმატორის მაღალ საფეხურზე. პროცესის დამთავრების შემდეგ ფოლადს გამოუშვებენ ციცხეში ქვედა კრიჯის გახსნით. მრგვალი სამელექტროდიანი

ლუმელის ანგარიში მადანაღმდგენი პროცესისათვის შეიძლება ჩატარდეს შემდეგი თანმიმდევრობით.

დასაწყისში განსაზღვრავენ სასარგებლო სიმძლავრეს შემდეგი ფორმულით:

$$P_{\text{სას}} = S\eta \cos \varphi,$$

სადაც S არის ტრანსფორმატორის სრული სიმძლავრე, კვა-ში;

η არის მ.კ.კ; $\cos \varphi$ სალუმელე ტრანსფორმატორის სიმძლავრის კოეფიციენტი.

სასარგებლო ძაბვის სიდიდე მიიღება ფორმულით:

$$U_{\text{სას}} = C\sqrt[3]{P_{\text{სას}}}$$

სადაც C არის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრა მონოშინტის ბრიკეტების ელექტრო წინააღობით $C \approx 6,3$. ხაზური ძაბვა ტოლია:

$$U_{\text{ხაზ.}} = \frac{U_{\text{სას}} \sqrt{3}}{\eta \cos \varphi}.$$

ხოლო ელექტროდის დენი:

$$I_3 = \frac{P_{\text{სას}}}{\sqrt{3}U_{\text{სას}}}.$$

გრაფიტირებული ელექტროდის დიამეტრს განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_3}{\pi j}},$$

სადაც j არის დენის სიმკერძე ელექტროდში.

ელექტროდის დიამეტრის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს ლუმელის ძირითადი პარამეტრები:

$$D_B \approx 5,8d_3,$$

$$D_P \approx 2,8d_3,$$

სადაც D_B არის აბაზანის შიგა დიამეტრი;

D_P არის ელექტროდების განშლის დიამეტრი;

ლუმელის ამონაგის სისქეს ანგარიშობენ და განსაზღვრავენ თბური ანგარიშით, რომლის საფუძველია გარცმის არა უმეტესი 150 C ტემპერატურა. მაშინ ლუმელის გარცმის დიამეტრი ტოლი იქნება:

$$D_K = D_B + 2\delta$$

ამ ანგარიშების საფუძველზე ჩვენს მიერ დაპროექტდა პერიოდული ქმედების უნივერსალური რკალური დახურული ლუმელი 41 ტ/დღელამ მწარმოებლურობით.

აღნიშნული ღუმელის ელექტრომომარაგება სორცეიდდება 4,5 მვა სიმძლავრის საღუმელე ტრანსფორმატორით. ელექტროდების მუშა დენი 20 კილოამპერია, ხაზური მუშა ძაბვა 108 ვოლტი. გამოყენებულია 400მმ დიამეტრის გრაფიტირებული ელექტროდები, რომლის დენის სიმკერევე - 15,9 ა/მმ².

ღუმელის გეომეტრიული პარამეტრებია: $D_B = 2320$ მმ; $D_P = 1120$ მმ; აბაზანის სიმაღლე $H_B = 1200$ მმ.

ასეთი ზომების აბაზანის აქტიური წინაღობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$R = \frac{\rho}{2\pi S} \left[1 - \frac{d_2}{\left(1 - \frac{d_2}{4H} (2H - S) \right)} \right]$$

სადაც S არის ელექტროდის ჩაძირვის სიღრმე, მმ.

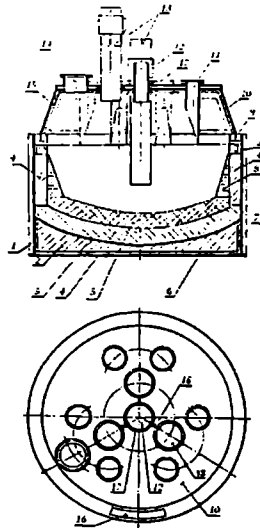
ღუმელის ელექტრული მაჩვენებლებია:

ქუდის ზედაპირზე კუთრი სიმძლავრე 200-280 კვტ/მ²;

კუთრი სიმძლავრე აბაზანის მოცულობაში 60-80 კვტ/მ³;

კუთრი სიმძლავრე რეაქციული ზონის მოცულობაში 300-400 კვტ/მ³;

ღუმელის წყლით გასაციებული თაღი დაყენებულია სიღის ჩამკეტზე. შიგნიდან თაღი დაფარულია მხურვალმტკიცე ბეტონის სისქის ფენით.



ნახ.12.4 უნივერსალური დახურული რკალური ღუმელის სქემა

უნდა აღინიშნოს, რომ ღუმელი მუშაობს ე.წ. „ჭაობის“- თხევადი ფოლადის ნაწილის დატოვებით მის ქვედზე, რაც საგრძნობლად ზრდის აგრეგატის მწარმოებლურობას.

ღუმელს აირწმენდისათვის აქვს თაღში დატოვებული ხერელი, რომელსაც უერთებენ აირსარინ მილს.

ელექტროდანაქარგების შემცირების მიზნით, ღუმელის თაღს ამზადებენ არამაგნიტური მასალისგან უჟანგი ფოლადის ფურცლისგან. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია ძვირადღირებული უჟანგი ფოლადის ფურცლის მაგიერ ჩვეულებრივი ნახშირბადოვანი ფოლადის ფურცლის გამოყენება თაღში რადიალური ფერდების დაყენებით, რომლებიც ამოყვებულია მხურვალმტკიცე ბეტონით, რითაც უზრუნველყოფილია მაგნიტური ძალხაზების გაწყვეტა. ეს საგრძნობლად ამცირებს მაგნიტურ დანაქარგებს და ელექტროენერგიის ხარჯს.

აღდგენითი პროცესების ინტენსიფიკაციის მიზნით, ელექტროდებს შორის დაყენებულია სპეციალური დანიშნულების მილები ღუმელში ბუნებრივი აირის მიწოდებისთვის. რაფინირების პროცესების და ლეგირების დაწყებისას ბუნებრივი აირის მიწოდებას შეწყვეტენ და ღუმელში ამავე მილგაყვანილობით მიაწოდებენ ვანგბადის ნაკადს, რაც უზრუნველყოფს ნახშირბადის ამოწვის სინქარის გაზრდას.

ნახ.12.4-ზე მოცემულია ღუმელის მოწყობის სქემა, რომელზეც აღნიშნულია შემდეგი ნაწილები:

1. ღუმელის გარცმა;
2. შამოტის აგურის ამონავი;
3. ქრომიტული ბეტონის ფენა;
4. მაგნეზიტური აგურის ამონავი;
5. დოლომიტური ფენა;
- 6,7 შამოტის ფენა (ნატკეპნი)
8. კარბონატური მასის ფენა;
9. სილის ჩამკეტი;
10. ღუმელის სახურავი;
- 11,12 მილგაყვანილობანი;
13. ელექტროდები;
14. აირსარინის მილაკი;

ამრიგად, ახალი ტიპის უნივერსალური რკალური ღუმელი წარმოადგენს მადანამდგენელი და ფოლადსადნობი ღუმელების სინთეზს, რომელშიც მოცემული მარკის ფოლადს იღებენ რკინამადნური ბრიკეტებიდან პირდაპირი აღდგენის გზით. ასეთ ღუმელში მიღებული ფოლადის თეითლირებულება 25-30%-ით ნაკლებია ტრადიციული მეთოდებით მიღებული ფოლადის თეითლირებულებასთან შედარებით.

12.5 მადანამდგენითი ელექტროღუმელები

აღდგენითი პროცესის მსვლელობისას ელექტროდები მუდმივად ჩაძირულნი არიან ლითონის კაზში, რომელიც უწყვეტად მიეწოდება ღუმელს მისი გადნობის კვალობაზე, ხოლო მიღებული პროდუქტების ლითონისა და წილის სახით ჩამოსხმა წარმოებს პერიოდული რეჟიმით.

ამჟამად გამოყენებაში არის აბაზანის სამი ფორმა: მრგვალი, სწორკუთხეული და სამკუთხედი (დამრგვალებული კუთხეებით), აქედან შედარებით ფართოდ გამოიყენება მრგვალი ფორმა.

ასეთ ღუმელებში გამოიყენებენ ელექტროდების სამ სახეობას: თეითშეცხობადი, ნახშირიანი და გრაფიტირებული. დიდი სიმძლავრის ღუმელებში ხმარობენ თვითშეცხობად ელექტროდებს.

მადანთერმიული აგრეგატების ძირითადი ელემენტებია:

- ღუმელის გარცმა;
- აბაზანის ამონაგი;
- თეითშეცხობადი ელექტროდები;
- ელექტროდსაკრეები;
- ელექტროდების გადაადგილების მექანიზმი;
- მოკლე ქსელი;
- ტრანსფორმატორი;
- სიმძლავრის ავტომატური რეგულატორი.

მადანამდგენელი ღუმელების მნიშვნელოვან მეტალურგიულ მახასიათებელს წარმოადგენს წილის არსებობა მათ მუშა სიერცეში. ამ ნიშნის მიხედვით პროცესებს ჰყოფენ უწილო, წილოვან და მრავალწილიანებად.

უწილო პროცესებს მიეკუთვნებიან ფეროსილიციუმის ყოველგვარი მარკის მიღების პროცესი, კაღციუმის კარბიდის და კრისტალური სილიციუმის ტექნოლოგიები. შტეინების, ფერომანგანუმისა და ყვითელი ფოსფორის პროცესები

მიეკუთვნებიან მრავალწიდიანებს. ისინი გამოირჩევიან იმით, რომ წიდის რაოდენობა ღუმელში მნიშვნელოვნად აჭარბებს ლითონის რაოდენობას. სილიკომანგანუმის მიღების პროცესი ტიპური მაგალითია წიდოვანი პროცესებისა. უწილო და წიდიანი პროცესები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან აბაზანაში სიმძლავრის განაწილების მიხედვით.

ტრანსფორმატორის გამოყენებული სიმძლავრის განსაზღვრა წარმოებს ღუმელის საჭირო მწარმოებლურობის და ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის შესაბამისად.

$$P = \frac{GW}{K \cos \phi}$$

სადაც G - არის ღუმელის მწარმოებლურობა, ტ/სთ;

W - არის ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯი მოცემული პროდუქტისათვის;

K - არის ტრანსფორმატორის გამოყენების კოეფიციენტი ($K = 0.75 + 0.85$).

$\cos \phi$ დანადგარის სიმძლავრის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე მერყეობს 0.87-0.93-ის ზღვრებში.

მადალმდგენი ღუმელების ანგარიშები სრულდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ვირჩევთ $\eta_3 \cos \phi$ -ის (ნამრავლის) მნიშვნელობას ცხრილიდან 12.3.

ცხრილი 12.3

წარმოებული პროდუქტი	$\eta_3 \cos \phi$ მნიშვნელობები ღუმელის სიმძლავრისგან დამაკიდებულებით, კეა						
	3500-5000	8500-9500	10000-11000	11500-13500	14000-17000	24000	50000
ნახშირბადიანი, მცირე და უნახშირბადო $FeGr$	0.90	0.80	0.74	0.70	0.67	0.64	
გადასამუშავებელი $FeGr$	0.86	0.80	0.79	0.78	0.75	0.73	-
50%-იანი სილიკოქრომი	-	0.83	0.75	0.74	0.73	0.71	-
ლითონური მანგანუმი	0.86	0.84	-	-	-	-	-
მანგანუმის წიდა	0.69	0.67	0.65	-	-	-	-
სილიკომანგანუმი 80%-იანი	-	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67	-
ფერომანგანუმი	0.80	0.76	0.74	0.72	0.68	0.65	-
ელექტროკორუნდი	0.83	0.79	0.75	-	-	-	-
45%-იანი ფეროსილიციუმი	-	-	0.76	0.73	0.72	0.70	-
75%-იანი ფეროსილიციუმი	-	0.84	0.78	0.76	0.74	0.72	-
90%-იანი ფეროსილიციუმი	-	0.83	0.81	0.79	0.76	0.74	-
სილიკოალციუმი	-	-	0.71	0.70	0.68	0.66	-
კალციუმის კარბიდი	-	-	0.76	0.73	0.72	0.70	-
სპილენძ-ნიკელის შტეინი	-	-	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79
ფოსფორი	-	-	0.96	0.95	0.93	0.91	0.87

აბაზანაში გამოყოფილ სასარგებლო სიმძლავრეს $P_{სს}$ ღუმელის მუშა სასარგებლო ძაბვას - $U_{სს}$ და საღუმელე ტრანსფორმატორის ხაზურ ძაბვას - $U_{სა}$. ესაზღვრავთ პარაგრაფ 12.4-ში მოყვანილი ფორმულების საშუალებით. ღუმელის მუშა სასარგებლო ფაზური ძაბვის $U_{სს} = cP_{სს}$ ფორმულაში c და n კოეფიციენტების განსაზღვრა წარმოებს ცხრილ 12.4-ის დახმარებით.

ცხრილი 12.4.

წარმოებული პროდუქტი	$P_{სს} < 13500$ კვტ		$P_{სს} > 13500$ კვტ	
	$n = 0.25$ $C' *$	$n = 0.33$ $C' **$	$n = 0.25$ C'	$n = 0.33$ C''
სილიკომანგანუმი	5.7-6.5	-	6.0	-
45%-იანი ფეროსილიციუმი	-	3.2	-	3.3
75%-იანი ფეროსილიციუმი	-	3.4	-	3.4
ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმი	5.3	-	5.4	-
გადასამუშავებელი სილიკოქრომი	6.8	-	7.0	-
გადასამუშავებელი ფეროქრომი	7.6	-	7.9	-
სილიკოკალციუმი	5.7	-	6.0	-
ფოსფორი	16.5	-	17.2	-
ელექტროკოქსიდი	9.8	-	9.8	-
სპილენძ-ნიკელის შტეინი	11.2	-	11.5	-
კალციუმის კარბიდი	-	2.6	-	2.6
რაფინირებული ფეროქრომი	17.0	-	-	-
* C' - წილური პროცესის კოეფიციენტი				
** C'' - უწილო პროცესის კოეფიციენტი				

ღუმელის დანარჩენი პარამეტრები განისაზღვრება შემდეგნაირად: ხაზური დენი ელექტროდში:

$$I_3 = \frac{P_{სს}}{3U_{სს}}$$

აბაზანის აქტიური წინაღობა:

$$R = \frac{U_{სს}}{I_3}$$

თითმეცხოზადი ელექტროდის დიამეტრი:

$$d_3 = \frac{\sqrt{3}}{R} \cdot \frac{P_{სს}}{I_3}$$

სადაც $\sqrt{3} P_{სს}$ - კოეფიციენტი განისაზღვრება ცხრილიდან 12.5

ცხრილი 12.5

წარმოებული პროდუქცია	$\sqrt{3} P_{სს}$
ფოსფორი	4.90-5.80
45%-იანი ფეროსილიციუმი	1.50-2.00
75%-იანი ფეროსილიციუმი	1.60-2.03
50%-იანი სილიკოქრომი	1.50-1.72
სილიკომანგანუმი	1.34-1.41
ფერომანგანუმი	1.54
სპილენძის შტეინი	1.40-1.50

შემდეგ ვამოწმებთ დენის სიმკერეის სიდიდეს თვითშეცხობად ელექტროდში, იგი არ შეიძლება იყოს დასაშვებ სიმკერეეზე მეტი მოცემული პროცენტისთვის (იხ. ცხრილი 12.6).

$$j = \frac{4I}{\pi d^2 \rho}$$

ცხრილი 12.6

წარმოებული პროდუქტი	I დასაშ , ა/სმ ²
45%-იანი ფეროსილიციუმი	7.0-მდე
75%-იანი ფეროსილიციუმი	7.0-მდე
ფოსფორი	4.5-მდე
50%-იანი სილიკოპრომი	7.0-მდე
სილიკომანგანუმი	6.2-მდე
ფერომანგანუმი	7.6-მდე
სპილენძის შტეინი	4.0-მდე
ელექტროკორუნდი	4.0-მდე
კალციუმის კარბიდი	6.8-მდე
სილიკოკალციუმი	12.0-მდე

თვითშეცხობადი ელექტროდის დიამეტრს ირჩევენ ტექნოლოგიური პროცესების ელექტროდის დენის რაციონალური სიმკერეეების შესაბამისად:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4I_{\max}}{\rho_{\text{რაც}}}}$$

ელექტროდის დიამეტრის გამოთვლის შემდეგ ვსაზღვრავთ ღუმელის გეომეტრიულ პარამეტრებს (იხ.ცხრილი 12.7)

$$B' = \frac{B}{d_3}$$

სადაც B' - უგანზომილებო კოეფიციენტი;
 B - გასაანგარიშებელი პარამეტრი;

ცხრილი 12.7

პარამეტრი	პროცენტის ტიპი	B'
		მრგვალი ღუმელი
მანძილი ელექტროდებს შორის	უწილო	2.15-2.85
	წილიანი	3.24-3.02
აბაზანის დიამეტრი	უწილო	2.10-5.20
	წილიანი	5.00-5.80
ნახშირის ბლოკების დონეზე	უწილო	5.40-5.80
	წილიანი	5.80-6.00
აბაზანის დიამეტრი	უწილო	1.80-2.0
	წილიანი	2.0-2.5
ნახშირების ზონის სიმაღლე	უწილო	0.65-0.70
	წილიანი	0.95-1.10
ელექტროდების შუკრა კაშპში	უწილო	1.10-1.20
	წილიანი	0.85-1.25

მადანაღმდგენი ღუმელების ძირითადი პარამეტრების თანაფარდობა ასევე მოცემულია ცხრილ 12.8-ში

ცხრილი 12.8

რამეტრები	იპეერდვის მისხედვით	სამორგულევის მისხედ.	ენერჯალის მისხედვით	ბსტრუნსის მისხედ.	კვილკის მისხედვით	ВННЗТС-ს მისხედვ.
ანის ვარი	$D_p + 3d_3$	-	$(2.0 + 2.2) D_p$	$(2.0 + 3.0) D_p$	-	$(1.8 + 2.3) D_p$
ტროდების ლდამეკტი	$23d_3 / 0,866$	$(2 + 3) d_3$	$(2 + 3) d_3$	-	-	$(2.5 + 3.0) d_3 v$
ლიტროდიდან ანის ლამეკ		$\geq (0.8 + 0.95) d_3$			$(1 + 1.2) d_3$	$(0.8 + 1.1) d_3$
ანის ხორმე		$(2.2 + 3.0) d_3$				$(1.9 + 2.9) d_3$

12.6 მადანაღმდგენი რკალური ელექტროღუმელი სილიკომანგანუმის წარმოებისათვის

ბოლო წლებში სწრაფი ტემპებით ფართოვდება სამუშაოები ფეროშენადნობების, მცირე და საშუალო სიმძლავრის ღუმელების წარმოებაში დანერგვის მიზნით. ამ მხრივ ჩვენ ქვეყანაშიც მიღწეულია გარკვეული წარმატებები.

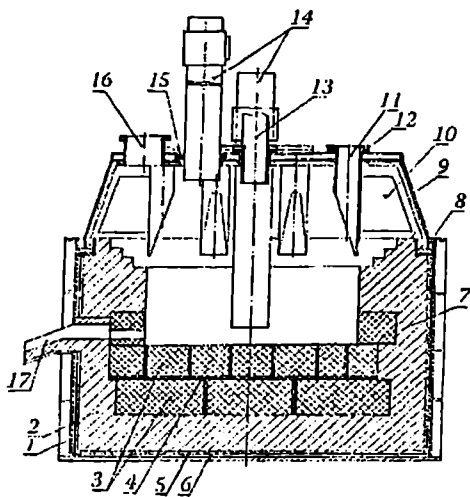
ჩვენს მიერ სსს „მეტექსისა“ და შპს „ნიკა204“-ის შეკვეთით შემუშავებულია მადანაღმდგენი ღუმელების პროექტები 5000ტ. მწარმოებლობით წელიწადში, რომელთა ექსპლუატაცია წარმატებით ხორციელდება ქ. რუსთავის შესაბამის საწარმოებში. (იხ. ჟურნალი “Металлур” 2006წ. №8 გვ.61-62. და პატენტი გამოგონებაზე - P4458).

შემოთავაზებულ ღუმელებში თვითშეცხობადი ელექტროდების ნაცვლად გამოყენებულია გრაფიტირებული ელექტროდები. შედარებით მცირე სიმძლავრის გამო.

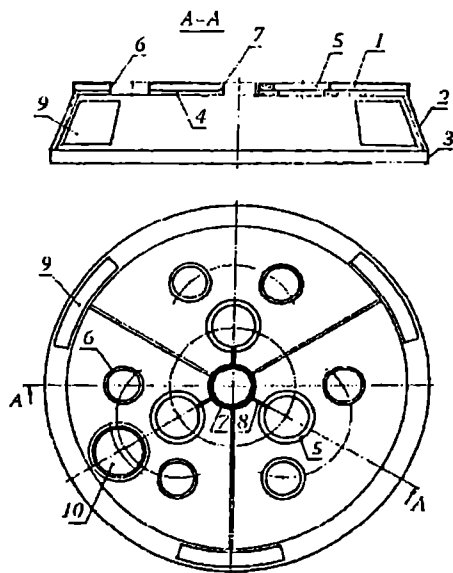
4.5 მვა სიმძლავრის ღუმელის კვება ხორციელდება ЭТЦНР ტიპის საღუმელე ტრანსფორმატორით.

უწყვეტი მოქმედების 3 ელექტროდიანი ღუმელის პარამეტრების დასადგენად ცხრილ 12.3-დან მოცემული სიმძლავრისათვის ვიდებთ, რომ $\eta \cos \varphi = 0.8$. მაშინ ღუმელის სასარგებლო სიმძლავრე

$$P_{\text{სს}} = S_{\text{ტრ}} \cos \varphi = 4500 \cdot 0.8 = 3600 \text{ კეტ.}$$



ნახ.12.5 მადანაღმდგენი რკალური ღუმელის სქემა



ნახ.12.6 ღუმელის წელით გასაცივებელი ზუფის სქემა

მუშა სასარგებლო ძაბვა (იხ.ცხრილი 12.4) $U_{\text{სს}} = cP^{\frac{1}{3}}_{\text{სს}} = 6.5\sqrt[3]{3600} = 50$ ვ.

ხაზური ძაბვა $U_{\text{ხაზ}} = \frac{U_{\text{სს}}\sqrt{3}}{\eta_{\text{კ}} \cos \varphi} = 108$ ვ.

მოცემული სიმძლავრისათვის ვიყენებთ 400 მმ-იანი დიამეტრის გრაფიტირებულ ელექტროდებს დენით: $I_{\text{კ}} = 20000$ ა. (მადანაღმდგენ ღუმელებში უფრო დიდი დიამეტრის ელექტროდების ნაცვლად რეკომენდირებულია თვითშეცხოზადი ელექტროდების გამოყენება).

დენის სიმკვრივე ელექტროდში $j = \frac{I_{\text{კ}} \cdot 4}{\pi d_{\text{კ}}^2} = \frac{20000 \cdot 4}{3,14 \cdot 40^2} = 15,9$ ა/სმ²;

მაშინ, როდესაც დენის დასაშვები სიმკვრივე მოცემული ელექტროდისათვის შეადგენს 16 ა/სმ².

ელექტროდის დიამეტრისგან დამოკიდებულებით შეგვიძლია განესაზღვროთ ღუმელის აბაზანის ზომები:

აბაზანის შიგა დიამეტრი $D_{\text{გ}} = 6d_{\text{კ}} = 6 \cdot 40 = 2400$ მმ;

ელექტროდების განშლის დიამეტრი $D_{\text{პ}} = 3d_{\text{კ}} = 3 \cdot 40 = 1200$ მმ;

აბაზანის სიმაღლე $H_{\text{გ}} = 3d_{\text{კ}} = 1200$ მმ;

ნახ.12.5-ზე მოცემულია მადანაღმდგენი ღუმელის სქემა, რომელზეც:

- 1- ღუმელის გარსაცმი;
- 2- შამოტის აგურის ამონაგი;
- 3- ქვედის ნახშირის ბლოკები;
- 4- ელექტროდული მასა;
- 5- ბუფერული ფენა;
- 6- ასბესტის საფენი;
- 7- ნახშირის ბლოკები;
- 8- სილის ჩამკეტი;
- 9- ღუმელის სახურავი (თალი);
- 10-ღუმელის სამომსახურეო ლუკი;
- 11-პერიფერიული მილაკის სატუჩი;
- 12-საიზოლაციო საფენი;
- 13-ცენტრალური მილსადენი (სარინი);
- 14-გრაფიტირებული ელექტროდები;
- 15-ელექტროდის შემჭიდროვების საფენი (ნაბდისმაგვარი ნაკრით);
- 16-აირსარინის ხერელი;
- 17-ღუმელის ღარი (კრიჭა);

ნახ.12.6-ზე მოცემულია ღუმელის წყლით გასაცემელი ხუფი, სადაც: 1-სარქველის გადახურვა; 2-გვერდულა; 3-სილის ჩამკეტი; 4-მხურვალმტკიცე ბეტონის საფარი; 5-ელექტროდის შემჭიდროვების ბუდე; 6-პერიფერული მილსარინის მილასი; 7-მხურვალმტკიცე, ბეტონის მილასი ცენტრალური მილსარინისთვის; 8-მხურვალმტკიცე ბეტონის ტიხარი; 9-ღუმელის სამოსამსახურეო ხერელი;

ამონაგის სისქეს δ ირჩევენ თბური ანგარიშის საფუძველზე იმ მდგომარეობის უზრუნველყოფით, რომ ღუმელის გარცმის ტემპერატურა არ გადაამეტებს 150°C -ს ($\delta = 750$ მმ);

$$\text{გარცმის დიამეტრი } D_x = D_p + 2\delta = 2400 + 2\delta = 2400 + 2 \cdot 750 = 3900 \text{ მმ};$$

$$\text{გარცმის სიმაღლე } H_x = 2460 \text{ მმ}; \text{ გარცმის სისქე } -16 \text{ მმ};$$

ღუმელის აბაზანის ამონაგს ამზადებენ შამოტის აგურითა და ნახშირის ბლოკებით. ხუფის გვერდით კედლებში საკერძეს დათვალიერების და ღუმელის მომსახურების უზრუნველსაყოფად დატანიებულია სამი სარკმელი, საიდანაც ასევე შესაძლებელია კაზმის გასწორება. სახურავი გაყოფილია სამ ნაწილად, თითოეულ სექტორში გაყვანილია გამოაცივებელი წყლის არხები. ხუფს გაანჩია სამი ხერელი ელექტროდების გასატარებლად. ხერელებში დაყენებულია შემჭიდროვების მილასები ბაზალტის ნაჭრებისგან.

ხუფზევეა შეიდი ხერელი, მათში მოთავსებულია მილასები მიღებისათვის, რომლებიც ზემო დაბოლოებებით შეერთებულნი არიან ჩამტვირთ ხვიმირებთან საკაზმე მასალების მიწოდებისათვის. მიღგაყვანილობები იზოლირებულნი არიან როგორც სარქველისგან, ასევე ხვიმირებისგან ლითონთან კონტაქტის თავიდან აცილების მიზნით. აქვეა დაყენებული აირსაწმენდი მიღგაყვანილობა.

ისევე, როგორც ზემოთ განხილულ უნივერსალურ ფოლადსადნობ ღუმელში თალი დამზადებულია ჩეულებრივი ნახშირბადოვანი ფოლადის ფურცლისგან, რადიალური ტიხრებით (იხ. პატენტი გამოგონებაზე - P4458);

ღუმელში გამოყენებულია კონსოლური ტიპის ელექტროდ-საჭერები.

12.7 მაღანაღმდგენი შახტური ღუმელი ნაჭროვანი საკაზმე მასალების მომზადებისა და გამოდნობისთვის

ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა ორიგინალური კონსტრუქციის მაღანაღმდგენი შახტური ღუმელი ელექტროენერჯისა და აირების ფიზიკური

სითბოს რაციონალური გამოყენების მიზნით. (იხ. A. c. 582298 СССР/БИ 1977 №44 და ჟურნალი „Металлург“ 2001. 11 გვ. 47-48).

არსებული მადანაღმდგენი ღუმელების არსებითი ნაკლოვანებაა ფიზიკური სითბოს მნიშვნელოვანი დანაკარგები შახტის მცირე სიმაღლის გამო.

ამიტომ, ღუმელის აბაზანის სხვა და სხვა ზონებში დენისა და სიმძლავრის რაციონალური განაწილებისათვის და ასევე კაზმის წინასწარი მოზადების მიზნით (გამოყოფილი აირებიდან ფიზიკური სითბოს მაქსიმალური გამოყენებით), შემოთავაზებულია ახალი სადნობი აგრეგატი იმ კომპლექსური შენადნობებისათვის, რომელთა კაზმის ხვედრითი ელექტროწინაღობა შედარებით მცირეა.

ამ მიზნით შესწავლილი და გაანალიზებული იქნა არსებულ ღუმელებში ელექტრული ეელის განაწილების სურათი და შემუშავებული იქნა მისი განგარიშების ორიგინალური მეთოდი ელექტროდების განშლის ზონაში (იხ. Ведомости АН ГССР 1977. №2 გვ. 389-391).

პირველ რიგში ელექტრული ეელის გაანგარიშების ამოცანას წარმოადგენს ელექტრული ეელის დაძაბულობის განსაზღვრა და საბოლოო ანგარიშით დენის სიმკერის დადგენა კაზმის ფენის ნებისმიერ წერტილში.

$$\Delta = \frac{3\sqrt{2} \cdot U_{\text{г}}}{4\pi r_1 r_2 r_3} \sqrt{r_1^2(r_3 - r_2)^2 + r_2^2(r_3 - r_1)^2 + r_3^2(r_2 - r_1)^2}$$

სადაც $U_{\text{г}}$ - არის ფაზური ძაბვა;

h - ელექტროდების ჩაძირვის სიღრმე;

r_1 - კაზმის „სამკუთხედის“ აქტიური წინაღობა;

სიმკერის განსაზღვრის წერტილიდან ელექტროდების ღერძამდე მანძილი;

r_2 საპოვნელად ამოცანის ანალიტიკური ამოხსნის გარდა ჩანაცვლების სქემების გამოყენებით, ჩატარებულ იქნა გამოკვლევა მოდელზე ჩაძირვის სიღრმის და ელექტროდების დიამეტრის რიგი მნიშვნელობებისთვის შეიძლება განსაზღვროს „სამკუთხედის“ სრული დენის სიდიდე და შემდეგ კაზმის „სამკუთხედის“ წინაღობა:

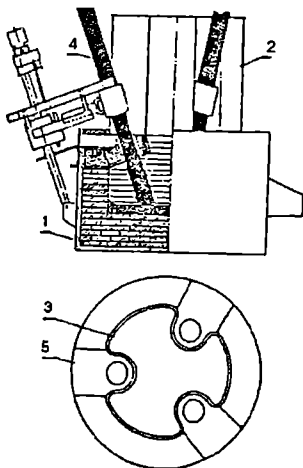
$$r_2 = \frac{1.73 \rho_{\text{св}} B_1}{N h d_{\text{г}}}$$

სადაც $\rho_{\text{св}}$ კაზმის კუთრი წინაღობა, B_1 - მანძილი ელექტროდებს შორის, N - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია აბაზანის სტრუქტურისგან.

აბაზანის ელექტროველის თეორიულმა და ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა დაგვანახეს, რომ სიმძლავრის დეკონცენტრაციის შედეგად ენერგიის მნიშვნელოვანი ნაწილი გამოიყოფა აბაზანის ზემო ნაწილში. ასე მაგალითად ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმის წარმოების დროს 30მეტ სიმძლავრის ღუმელის რკალში გამოიყოფა მხოლოდ სიმძლავრის 7%.

შახტის სიმაღლის გადაწყვეტის საკითხი განსაკუთრებულ აქტუალურობას იძენს ნაჭროვანი საკაზზე მასალების გამოდნობისას, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი აირშედწევადობით, რაც საშუალებას იძლევა დაეანქაროთ აღდგენითი პროცესები მათში გამავალი ცხელი აირების წყალობით.

ყოველივე ზემოთაღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით შემუშავებულ იქნა მაღალშახტური ღუმელი ელექტროდების გვერდითი განთავსებით. შახტის კედლებში განლაგებულია 67-70⁰ -ის კუთხით დახრილი ელექტროდები, რაც აისახება შემდეგი მოსაზრებებით: 70⁰-ზე მეტი კუთხით დახრილი მდგომარეობისას ელექტროდებს შორისო მანძილი მცირდება და შესაბამისად იზრდება კაზში გამავალი დენი, რაც ართულებს კაზმჩატვირთის ოპერაციას. კუთხის შემცირება კი მნიშვნელოვნად ზრდის ელექტროდების გაღუნვის მომენტს.



სურ.12.7 მაღალშახტური მაღანადმდგენი ღუმელი ელექტროდების დახრილი განლაგებით

ნახ.12.7-ზე ნაჩვენებია მაღალშახტური რკალური ღუმელი ელექტროდების დახრილი განლაგებით, სადაც

- 1 - ღუმელის ქვედა ცილინდრული ნაწილია;
- 2 - შახტის ზემო ნაწილი სამფურცელას სახით;
- 3 - „ფურცლები“;
- 4 - გრაფიტირებული ელექტროდები;
- 5 - თალი;

წარმატებულმა ლაბორატორიულმა და ნახევრადსამრეწველო გამოკვლევებმა განაპირობეს მადანალმდგენელი შახტური დახრილ ელექტროდებიანი ღუმელის სამრეწველო დანერგვა. აღწერილი კონსტრუქციის 1800კვა სიმძლავრის ღუმელი აგებული იქნა ქ. ზესტაუნის ფეროშენადნობების ქარხანაში, რომლის შახტის სიმაღლემ შეადგინა აბაზანის დამეტრის 1.6-2.0 (მინიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება შედარებით მაღალი სიმძლავრის ღუმელებს). ეს პარამეტრი განსაზღვრულია ექსპერიმენტალური წესით.

აღწერილ ღუმელში სილიკომანგანუმის გამოდნობისა გამავალი აირების სიბოის მაქსიმალური გამოყენების წყალობით და აგრეთვე მიყვანილი სიმძლავრის გაზრდით რეაქციული რკალური ზონის არეში, ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯი შემცირდა 10%-მდე. გარდა ამისა, გამავალი აირების გამოყენებამ აღდგენითი პროცესების დასაჩქარებლად გამოიწვია აღმდგენელის შემცირება 15-20%-ით.

საკაზმე მასალების მაღალი ფენა უზრუნველყოფს გამავალი აირების გაფილტვრას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ელემენტების მექანიკურ დანაკარგებს. მანაგანუმის დანაკარგები შემცირებულია 11%-ით, ხოლო სილიციუმისა 6%-ით.

ღუმელის კონსტრუქცია ხელს უწყობს დენის განაწილებას და მუშა ძაბვის ამაღლებას, აგრეთვე $\cos \varphi$ მ.ქ.კ. და მწარმოებლურობის გაზრდას, რაც საბოლოო ანგარიშით საგრძნობლად ამცირებს პროდუქციის თეოღირებულებას.

12.8 მუდმივი დენის მადანალმდგენის რკალური ღუმელი ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმის წარმოებისთვის

ამჟამად დიდი ყურადღება ეთმობა „ქელი“ იდეის პრაქტიკულ განხორციელებას მუდმივი დენის რკალური ღუმელის შექმნას. ჩვენს მიერ

შეპოშავებულია ასეთი ღუმელის პროექტი „ინტერმეტალპროდუქტის“ შეკვეთით (იხ. სტუ-ს შრომები 2003 №2(448) გე.47-48).

ღუმელის კვების წყარო შეიცავს სამფაზა ბოგირულ გამმართველს, შესრულებულს D253-4000 ტიპის დიოდებით, რეაქტორს (ფოლადის გარეშე), 1500კვა სიმძლავრის საღუმელე ტრანსფორმატორს ძაბვის ხუთი საფეხურით.

ღუმელის მაქსიმალური სასარგებლო სიმძლავრე შეადგენს 1,2 მეტ, ხოლო დენი 15 კა-ს.

ფერომანგანუმის წარმოების მუდმივი დენის ღუმელების ძაბვის განსაზღვრა წარმოებს შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$U = 5,1 \cdot I_{\text{ფ}}$$

სადაც, $I_{\text{ფ}}$ - არის დენის ძალა, კა-ში.

რეაქტორი განაპირობებს მოკლედ შერთვის დენების შეზღუდვას სასურველ სიდიდემდე.

დანადგარის სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ შეადგენს 0,96, ხოლო ელექტრული მ.ქ.კ. 90%-ს.

ახალი დანადგარის უპირატესობები ჩვეულებრივ სამფაზა ღუმელებთან შედარებით გამოხატება: რკალის ანთების მაღალ სტაბილურობაში, დაბალ ხმაურში და დენის და ძაბვის ნაკლებ ცვალებადობაში, კათოდ-გრაფიტის ნაკლებ ხარჯში, უფრო თანაბარ სითბურ დატვირთვებში და ამონაგის შედარებით მაღალ მდგრადობაში.

ღუმელის ცენტრში ელექტროდი ისეა განლაგებული, რომ რკალსა და ამონაგს შორის მანძილი ერთნაირია მთლიან პერიმეტრზე და ამით სითბური დატვირთვების უთანაბრობა მოხსნილია, „ცხელი ზონები“-ს მთლიანად ლიკვიდაციით, რასაც ადგილი აქვს სამფაზა ღუმელებში.

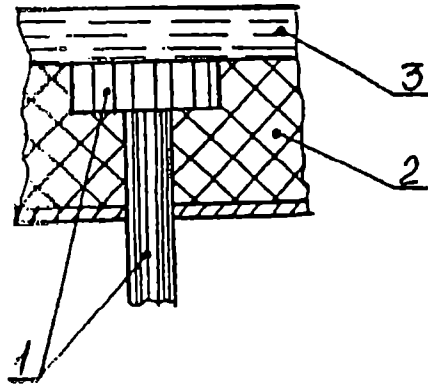
დენის გადინება ელექტროდიდან ქვედისკენ იწვევს ელექტროდინამიკურ ძალებს, რაც ნაღობს აიძულებს გადაადგილდეს ქვევით და შემდეგ ქვედის ზედაპირის გასწვრივ ცენტრიდან პერიფერიისკენ. ნაღობის ასეთი გადაადგილება ძლიერდება რკალის პიდროსტატიკური წნევით აბაზანაზე და ამით მიიღწევა ნაღობის ტემპერატურის გაზრდა-გათანაბრება და ჰომოგენიზაცია.

ქვედის ელექტროდი წარმოადგენს მუდმივი დენის ღუმელის მნიშვნელოვან კვანძს.

ელექტროდის დაზიანების ძირითადი მიზეზებია: ნაღობის გადამეტხურება, ლითონის ინტენსიური მოძრაობა ელექტროდის სამუშაო ტორსთან ახლოს, დენის მიერ წარმოქმნილი ჯოჯოჯის სითბო, ნაღობის ფიზიკურ-ქიმიური ზემოქმედება,

ელექტროდის მუშა ტორსთან და კაზმთან მიკრორკალების წარმოქმნა; ამონაგის ჩამორეცხვა ელექტროდის გარშემო.

ელექტროდის კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს: კაზმთან ელექტროკონტაქტის საიმედოება მინიმალური სითბური დანაკარგებისას; გაციების ეფექტურობა; დამზადების ტექნოლოგიურობა და სიმარტივე; ელექტროდის მასალა უნდა შეირჩეს სტაბილური საიმედო მუშაობის გათვალისწინებით მაღალი სითბური და დენის დატვირთვის პირობებში მექანიკური დარტყმებისთვის მდგრადობის შენარჩუნებით, ნადნობის სისუფთავით.



ნახ.12.8. ქვედის ელექტროდის კონსტრუქცია

ქვედის ელექტროდის ყველაზე მარტივი კონსტრუქციაა გრაფიტის ღერო ან ქვედი გრაფიტისგან. ნახ.12.8-ზე წარმოდგენილია ქვედის ელექტროდის კონსტრუქცია: 1-გრაფიტი; 2-ქვედი; 3-შენადნობი.

წარმოდგენილი ელექტროდი პასუხობს ყველა ზეითიამოთელილ მოთხოვნებს. თუმცა ზოგიერთი შენადნობისთვის ნახშირბადი წარმოდგენს არასასურველ ან დაუშვებელ მინარევს. ასეთ ელექტროდებს იყენებენ პლაზმურ, მადანთერმიულ, ინდუქციურ თუმელებში თუჯის გადნობისთვის. კაზმა და ქვედის ელექტროდს შორის საიმედო კონტაქტს უზრუნველყოფს ე.ი. „ჭაობით“ მუშაობა თხევადი ლითონის 10%-მდე დატოვებით ღუმელში. ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმის წარმოების რკალური ღუმელის ძირითადი პარამეტრები და მაჩვენებლებია:

ელექტროენერჯის ხარჯი, კვტს/ო	სიმძლავრე, კვ	მუდმივი დენის ძაბვა, ვ	მაქსიმალური დენი, კა	აბაზანის ზომები		გრავიტაციული ელექტროძონის დიამეტრი, მმ	cos φ	მწარმოებელი, ტყელი	სასარგებლო სიმძლავრე, კვტ	ელექტრული მკკ %	შენიშვნები
				დიამეტრი	სიმაღლე						
2500	1500	77	15	1200	1100	350	0.96	2400	1200	90	-

12.9 ფეროშენადნობების რაფინირების ელექტროლუმელები

ფეროშენადნობების მარაფინერებელი ელექტროლუმელების დანიშნულებაა სილიკოთერმიული პროცესების რეალიზება რაფინირებული ფეროქრომის, უნახშირბადო ფეროქრომის, მცირენახშირბადიანი ფერომანგანუმის, ლითონური მანგანუმის და ა.შ. მიღება. ასეთი ღუმელები ხასიათდებიან რიგი უპირატესობებით არამოძრავ აბაზანიან ღუმელებთან შედარებით, რომელთაგან აღსანიშნავია ლითონის და წიდის გამოშვების საუკეთესო პირობები, ამონაგის მდგომარეობის კონტროლის მოხერხებულობა და სხვ.

ღუმელის ამონაგი მაგნეზიტური ცეცხლგამძლე მასალითაა ამოშენებული. პროცესი მიმდინარეობს ღია რკალით, ელექტროდსაჭერის შახტა დაყენებულია ცალკე ფუნდამენტზე და არ იხრება ღუმელის აბაზანასთან ერთად.

რაფინირების ღუმელებს აგებენ ჩვეულებრივად სამი ელექტროდით, რომლებიც განლაგებული არიან სამკუთხედის წვეროებზე. ღუმელები მუშაობენ პერიოდული რეჟიმით ნაღნობების სრული გამოშვებით ღუმელიდან. რაფინირების ღუმელების ძირითადი კვანძებია: გარსაცმი, ამონაგი, დახრის მექანიზმი, ჰიდროამძრავის სისტემა, შახტა, ელექტროდების გადაადგილების მექანიზმი, ელექტროდსაჭერი, მოკლე ქსელი, წყლით გაციების სისტემა.

ღუმელის გარსაცმზე სხვადასხვა დონეზეა დაყენებული წიდისა და ლითონის გამოსაშვები ღარები.

ღუმელის ელექტრო პარამეტრებს და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებს გამოითვლიან მეთოდით, რომელიც ანალოგიურია მადანაღმდგენი უწყვეტი ქმედების ღუმელების გამოთვლის მეთოდისა, მგრამ განსხვავებული კოეფიციენტებით.

რაფინირების ღუმელებისათვის ცდილობენ შეარჩიონ ელექტროდების განშლის მინიმალური მნიშვნელობები, ხოლო აბაზანის ზომების შერჩევისა და

გამოთვლის დროს სარგებლობენ მსგავსების მეთოდებით, შემდეგი სიდიდეების გამოყენებით:

1) კუთრი ზედაპირული სიმძლავრე, ქვედის ფართობის ერთეულზე (კვტ/მ²).

2) კუთრი მოცულობითი სიმძლავრე ლუმელის აბაზანის მოცულობის ერთეულზე, კვტ/მ³.

სხვადასხვა პროცესებისთვის ხვედრითი სიმძლავრეები სხვადასხვაა და მათი სიდიდეები შეირჩევა სამრეწველო სანიმუშო ლუმელების მონაცემების მიხედვით (იხ.ცხრილი 12.9).

ცხრილი 12.9

პროცესის ტიპი	კუთრი სიმძლავრე კვტ/მ ³	
	W/p განშლის ფართობზე	W აბაზანის ფართობზე
უნაპირბალო ფეროქრომი	4400-4500	2000-2400
რაფინირებული ფეროქრომი	4400-4500	580-620
მადანიკის ნაღობი	4300-4500	2000-2200
მცირე ნაპირბაღიანი ფერომაგნანუმი	1350-1750	420-450
ბორის კარბიდი	3000-3200	430-460
ელექტროკოუნდი	1400-1500	380-400
ნიკელის დნობა ანოდებზე	800-850	6800-7000
შემდარი მაგნეზიტი	4000-5000	420-450
ლითონური მანგანუმი	1350-5000	420-450

ფირმა „ნიკა2004“-ის ტექნიკური დავალების შესაბამისად, ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა რაფინირების ლუმელის პროექტი 1600 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორით (ტიპი ЭТДЦН 2500/10), რომლის ძირითადი მონაცემები მოცემულია ცხრილში 12.10.

ცხრილი 12.10

მაქენებლის მდგომარეობა	ნომინალური სიმძლავრე, კვა	ნომინალური ძაბვა, (მაღალ მზარეს), ვ	ნომინალური დენი (მაღალ მზარეს), ა	ნომინალური ძაბვა, (დაბალ მზარეს), ვ	ნომინალური დენი (დაბალ მზარეს)	სვეების სვერთების სქემა და ჯგუფი
1.	1600	6000	153.9	220	2400	Δ/Δ
2.	1408		135.4	193.6		
3.	1136		109.1	156.2		
4.	1257		120.9	172.9		

ლუმელის ანგარიშებს აწარმოებენ შემდეგი თანმიმდევრობით:

ცხრილ 12.3-დან ვირჩევთ ელექტრულ მ.ქ.კ. ნამრავლს სიმძლავრის კოეფიციენტზე - $\eta \cdot \cos \phi$;

ესაზღვრავთ სასარგებლო ელექტრულ სიმძლევრეს, რომელიც გამოიყოფა ღუმელის აბაზანაში:

$$P_{\text{სახ}} = S \cdot \eta_{\gamma} \cos \varphi$$

გამოითვლით მუშა სასარგებლო ფაზურ ძაბვას:

$$U_{\text{სახ}} = CP_{\text{სახ}}$$

სადაც C და n კოეფიციენტებია, რომლებსაც განსაზღვრავენ 12.4 ცხრილის მიხედვით;

ეთვლით საღუმელე ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გამოსასვლელებზე ხაზურ ძაბვას:

$$U_{\text{ხაზ}} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{სახ}}}{\eta_{\gamma} \cos \varphi};$$

ესაზღვრავთ მუშა დენს ელექტროდში

$$I_{\gamma} = \frac{P_{\text{სახ}} 10^3}{3U_{\text{სახ}}};$$

გრაფიტირებული ელექტროდის დიამეტრი დენის დასაშვები სიმკვრივის მიხედვით j , ა/სმ²;

$$d_{\gamma} = \sqrt{\frac{4I_{\gamma}}{\pi j}};$$

ზემოთჩამოთვლილი პარამეტრების გამოყენების პირობები და მაგალითები კონკრეტული შენადნობებისთვის (რაფინირებული ფეროქრომი, უნახშირბადო ფეროქრომი, მცირენახშირბადოვანი ფერომაგანუმი) იხილეთ ქვემოთ: მაგალითი 1. 1600 კვა სიმძლავრის ღუმელის ანგარიში რაფინირებული ფეროქრომის მისაღებად:

კაზმის შემადგენელი კომპონენტები:

ქრომის მაღანი - 30კგ;

კირი - 40 კგ;

სილიკოქრომი - 70კგ;

პროდუქტის ქიმიური შედგენილობა:

ქრომი - 70%;

ნახშირბადი -0.4-0.6%;

რკინა - დანარჩენი.

$P_{\text{სახ}}=1440$ კვტ ($\eta_{\text{ელ}} \cdot \cos \varphi = 0.9, S = 1600$ კვა);

$U_{\text{სახ}}=105$ ვ ($C=17, n=0.25$); $U_{\text{ხაზ}}=202$ ვ; $I_{\text{ხაზ}} \approx 4200$ ა;

$d_{\gamma} = 175$ მმ ($j = 20$ ა/სმ²), ვირჩევთ ელექტროდს დიამეტრით - 200მმ;

განესაზღვრავთ ღუმელის პარამეტრებს.

აბაზანის დიამეტრი:

$$D_B = \sqrt{\frac{4S}{W_B \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1600}{620 \cdot 3.14}} = 1800 \text{ მმ};$$

სადაც W_B არის კუთრი ზედაპირული სიმძლავრე აბაზანის ფართობზე (იხ. ცხრილი 12.9);

ელექტროდების განშლის დიამეტრი:

$$D_p = \sqrt{\frac{4S}{W_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1600}{4450 \cdot 3.14}} = 677 \text{ მმ};$$

სადაც W_p არის კუთრი ზედაპირული სიმძლავრე განშლის ფართობზე (იხ. ცხ. 12.9);

გარცმის დიამეტრი: $D_k = D_B + 2\delta = 1800 + 2 \cdot 750 = 3300 \text{ მმ}$,

სადაც δ არის ამონაგის სისქე;

ელექტროენერჯიის კუთრი ხარჯის 2300-2500 კვტ.სთ/ტ დროს მოსალოდნელი წარმადობა შეადგენს 15 ტ/დღე-ღამეში;

მაგალითი 2. 1600 კვა სიმძლავრის ღუმელის გეომეტრიული პარამეტრების განსაზღვრა უნახშირბადო ფეროქრომის წარმოებისას.

კაზმის კომპონენტებია:

ქრომის მადანი 100 კგ;

კირი 95 კგ;

სილიკოქრომი 42 კგ;

პროდუქტის ქიმიური შედგენილობა:

ქრომი 62-75%;

ნახშირბადი 0.04-0.1%;

კალციუმის და რკინის ჯანგულები-დანარჩენი.

აბაზანის ფართობზე გამოყოფილი 2200 კვტ/მ² ხევირითი ზედაპირული სიმძლავრისა და განშლის ფართობზე გამოყოფილი 4450 კვტ/მ² ხევირითი ზედაპირული სიმძლავრის დროს (იხ. ცხრილი 12.9) შესაბამისად გეექნება

$$D_B = 960 \text{ მმ-ს, ხოლო } D_p = 670 \text{ მმ};$$

გარცმის დიამეტრი 2460 მმ-ის ტოლია. მოსალოდნელი მწარმოებლურობა $G = 11$ ტ/დღეღამე. (ელ.ენერჯიის კუთრი ხარჯი 3600 კვტ.სთ/ტ).

მაგალითი 3. მცირენახშირბადოვანი ფერომაგნანუმის გამოღობის დროს ანალოგიურად სრულდება ღუმელის ანგარიში მოცემული შენადნობისთვის,

ცხრილ 12.9-დან ვირჩევთ კუთრ ზედაპირულ სიმძლავრეებს, ესაზღვრათ დიამეტრებს $D_n = 2128$ მმ; $D_p = 1544$ მმ და $Dk = 3628$ მმ;

სტატისტიკური მონაცემებისა და ანალიზის საფუძველზე ჩვენს მიერ დადგენილია, რომ ელექტრული ენერგია მარაფინირებულ ღუმელებში ნაწილდება შემდეგნაირად:

- სასარგებლო სიმძლავრე	86%;
- დანაკარგები ტრანსფორმატორში	4%;
- დანაკარგები დენგაყვანილობაში	6%;
- დანაკარგები ელექტროდებში	4%;

უნდა აღინიშნოს, რომ მადანთერმიული ღუმელების მართვისა და რეგულირების სფეროში მრავალი კელევიითი სამუშაო გვაქვს ჩატარებული, რაზედაც მეტყველებს მიღებული პატენტები (იხ.პატენტი №382; პატენტი გამოგონებაზე - P2481 და GE 1804 B).

12.10 მოკლე ქსელების პრინციპიალური სქემები

მოკლე ქსელი წარმოადგენს საღუმელე დანადგარის ელექტროკონტურში ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს უბანს. მოკლე ქსელს ან მეორად დენმიმყვანს უწოდებენ გამტართა ერთობლიობას, რომლებიც საღუმელე ტრანსფორმატორის მეორად ძაბვას აკაეშირებენ ელექტროღუმელთან.

განარჩევენ მოკლე ქსელის შემდეგ ელემენტებს:

ა) კომპენსატორები დრეკადი ლენტები, რომლებიც ელექტროსაღუმელე ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გამოსასვლელებს აერთებენ მოკლე ქსელის უძრავ ნაწილთან. მათი დანიშნულებაა მოკლე ქსელის უძრავი ნაწილის გამტარების ხაზოვანი ზომების ცვლილებების კომპენსირება, რომლებიც წარმოიქმნებიან მათი ტემპერატურის ცვალებადობის შედეგად.

ბ) სალტების პაკეტი - მოკლე ქსელის უძრავი ნაწილი, რომელიც შედგება ან სწორკუთხოვანი სალტებისგან, ან წყლისთაცვივებელი მილაკოვანი გამტარებისგან.

ბ) მოქნილი გამტარების პაკეტი (შიშველი კაბელების, დრეკადი ლენტების ან წყლით საცივებელი კაბელების) დენის გადასაცემად უძრავი ბუნიკებიდან მოძრავ ბუნიკამდე, რომელიც გადაადგილდება ელექტროდთან ერთად.

დ) მილსალტეები.

მოკლე ქსელის აქტიური ან განსაკუთრებით ინდუქციური წინაღობები ახდენენ განმსაზღვრელ გავლენას ელექტროლუმენის დანადგარის ელექტრულ მახასიათებლებზე. მოკლე ქსელში გამაველი ძალზე დიდი დენები გამტარების გარშემო წარმოქმნიან ძლიერ მაგნიტურ ველებს, რის შედეგად ადგილი აქვს ისეთ მოვლენებს, როგორიცაა ზედაპირული ეფექტი, სიახლოვის ეფექტი, სიმძლავრის გადატანა ცალკეულ გამტარებსა და ფაზებს შორის, ენერჯის დანაკარგები ლითონურ კონსტრუქციებში და სხე.

ეს მოვლენები მოკლე ქსელებს უყენებენ ისეთ განსაკუთრებულ მოთხოვნილებებს, როგორებიცაა მინიმალური შესაძლო სიგრძე, გამტარების ყველაზე რაციონალური ტრანსპოზიცია, ცალკეული ფაზების ტოლობა, აქტიური და რეაქტიული წინააღობების მინიმალური სიდიდეები და ა.შ.

გამტარების სამკუთხედად შეერთების ადგილის მიხედვით განარჩევენ:

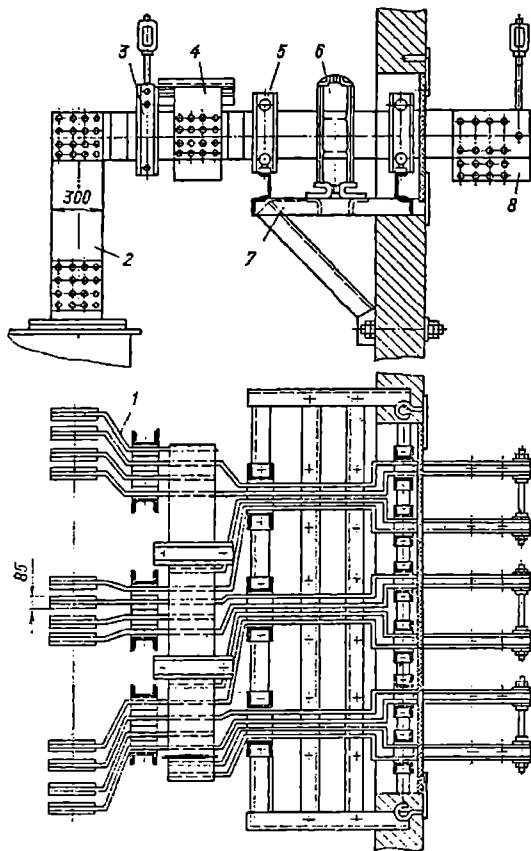
ა) სამკუთხედს ელექტროდებზე მოკლე ქსელის სამკუთხედად შეერთების ადგილს წარმოადგენს ღუმელის ელექტროდსაჭერი.

ბ) სამკუთხედი საღტეთა პაკეტზე სამკუთხედი იკრიბება მოკლე ქსელის მოქნილი გამტარების უძრა ბუნიკებზე ხაზური დენები ამ შემთხვევაში უძრავი ბუნიკებიდან მოქნილი კაბელების და ელექტროდების გავლით მიედინებიან ღუმელის აბაზანისკენ.

რკალურ ფოლადსადნობ და რაფინირების ელექტროლუმელებს აქვთ მრგვალი ფორმის აბაზანები, რომლებშიც ტოლგვერდა სამკუთხედის წვეროებზე განლაგებულია სამი ელექტროდი.

მაგალითისათვის ნახ.12.9-ზე მოცემულია საღტეების ხიდი (ტრანსფორმატორის მეორადი მხარის საღტირება უძრავ ბუნიკებამდე, -25 ტიპის რკალური ელექტროლუმელისათვის).

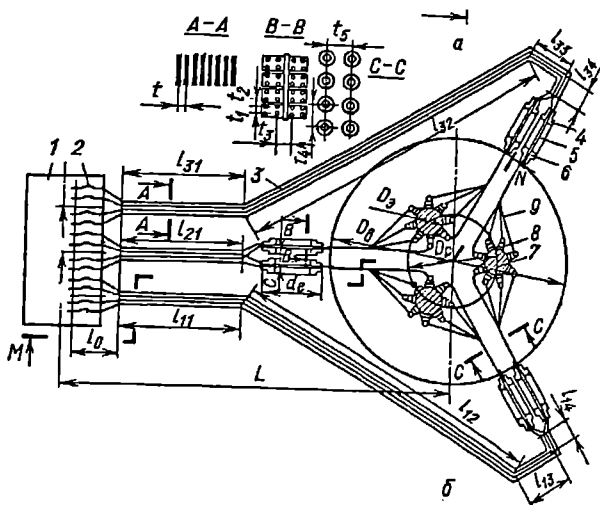
სადაც 1- სპილენძის საღტეებია; 2- კომპენსატორი; 3- პაკეტის მოსაჭერი საკიდი; 4- საღტეების შესაკრავი; 5- პაკეტის მოსაჭერი საყრდენით; 6- დენის ტრანსფორმატორი; 7- საყრდენი ლითონკონსტრუქცია არამაგნიტური ფოლადისგან; 8- მოქნილი კაბელების მიერთების ბუნიკი.



ნახ.12.9 საღებავის ხიდი ДСН-25 ტიპის
რკალური ელექტროღებვისათვის

მოკმედი მადანთერმიული ღუმელების მოკლე ქსელების კონსტრუქციული გაფორმება განისაზღვრება საღუმელე დანადგარის ტიპისა და მათი აბაზანების გაბარიტული ზომების მიხედვით.

მაგ. PKO-16,5 ტიპის საღუმელე დანადგარისთვის გამოიყენება მოკლე ქსელის სქემა (იხ.12.10) სამკუთხედი ელექტროღებზე ტრანსფორმატორის მეორადი ხეების საწყისები და დაბოლოებები გამოტანილია სამი ერთფაზიანი პაკეტების სახით და ფაზების შეერთება სამკუთხედად განხორციელებულია თვით ელექტროღებზე.



ნახ.12.10 მოკლე ქსელის სქემა PKO-165 ტიპის
საღუმელე დანადგარისათვის

შედგად მოკლე ქსელში გაედინება ტრანსფორმატორის ფაზის დენი, $\sqrt{3}$ -ჯერ ნაკლები ვიდრე ელექტროდებში.

მოკლე ქსელების კონსტრუირების დროს აუცილებელია მივადწიოთ მათი ინდუქციური და აქტიური წინაღობების შემცირებას.

ინდუქციური წინაღობის მნიშვნელოვან შემცირებას აღწევენ დენგამყვანი საღტების ბიფილიარული განლაგებით, რომლის დროსაც ერთიმეორის გვერდით მოთავსებულ გამტარებში გადიან ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული დენები.

12.11 ზოგიერთი ფეროშენადნობები და სხვადასხვა პროდუქტების გამოდნობის ტექნოლოგიის მაჩვენებლები მადანადმდგენ რკალურ ღუმელებში

ფეროშენადნობები მეტალურგიული წარმოების ნახევარპროდუქტი, რკინის შენდნობები სილიციუმთან, მანგანუმთან, ქრომთან და სხვ. ელემენტებთან, რომლებიც გამოიყენება თხევადი ლითონის განჯანგვის და ლევირებისათვის,

ლითონისთვის საჭირო სტრუქტურისა და თვისებების მინიჭებისთვის აგრეთვე, სხვა სახეობის ფეროშენადნობების მისაღებად.

ფეროშენადნობების დნობის ტემპერატურა უმეტეს შემთხვევაში არის ნაკლები ცალკეული ლითონების დნობის ტემპერატურასთან შედარებით. ეს გარემოება ხელს უწყობს მათ გახსნას ფოლადში და ამცირებს მოცემული ელემენტის ნაშვებს.

სილიკომანგანუმი რომლის ძირითადი კომპონენტები სილიციუმი და მანგანუმი; მისი გამოდნობა წარმოებს მადანთერმიულ თუმელებში ნახშირბადადღგენითი პროცესით 10-26% სილიციუმით (დანარჩენი *Mn, Fe* და მინარეები), რომელსაც იღებენ მანგანუმის მადნიდან, მანგანუმის წიდიდან და კვარციტიდან; გამოიყენება ფოლადის განჟანგვისა და ლეგირებისთვის, აგრეთვე მცირენახშირბადოვანი ფერომანგანუმის გამოსადნობად.

სილიკოკალციუმი შეიცავს 23-32% *Ca*, 2-4% *Fe* (დანარჩენი *Si*). გამოდნობენ მადანთერმიულ ნახშირბადადღგენითი პროცესით; გამოიყენება ფოლადის განჟანგვისთვის და ლეგირებისთვის. ამ ფეროშენადნობის საწყისი მასალებია კვარციტი და კირი.

ფერომანგანუმი - მისი ძირითადი კომპონენტებია მანგანუმი და რკინა. ნახშირბადოვანი ფერომანგანუმი შეიცავს 75-79% მანგანუმს, 7%-მდე ნახშირბადს (დანარჩენი რკინა და მინარეები). ფერომანგანუმს იღებენ მადანთერმიულ ლუმელებში, ან ბრძმედში გამოდნობით მანგანუმის მადნის კონცენტრატისა; გამოიყენება ფოლადის განჟანგვისა და ლეგირებისთვის.

ფეროსილიციუმი მისი ძირითადი შემადგენლებია რკინა და სილიციუმი. სილიციუმის შემცველობა განისაზღვრება 18, 25, 45, 65, 75, 90%-ით, დანარჩენი რკინა და მინარეები. საწყისი მასალაა კვარციტი (ზოჯჯერ კვარცი). გამოდნობენ მძლერ მადანთერმიულ ლუმელებში, გამოიყენება ფოლადის განჟანგვისა და ლეგირებისთვის, ხოლო სილიციუმით მდიდარ სორტებს იყენებენ ლითონების აღსადგენად მათი ჟანგულებიდან.

ფეროტიტანი - შეიცავს ტიტანს 35%-მდე, ან 60%-ზე მეტს, 1-7% *Al*, 1,4-5% *Si* და 3%-მდე *Cu* (დანარჩენი რკინა და მინარეები) იღებენ ლუმელგარეშე აღუმინთერმიული ხერხით ილმენიტური კონცენტრატისა და ტიტანიან ჩანრჩენებისგან; აგრეთვე რკინის და ტიტანის ნარჩენებისგან ელექტროკალურ ლუმელში შედნობით. ფეროტიტანი გამოიყენება ფოლადის განჟანგვისა და ლეგირებისთვის. გასული საუკუნის 80-იან წლებში რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში ფართო მასშტაბით იყენებდნენ ტიტანით მიკროლეგირებულ ფოლადს (40Г) სამაგრი მიღების წარმოებაში. ტიტანის 0,01-0,02%-ის ზღვრებში

შემცველობა უზრუნველყოფდა აღნიშნული ფოლადის მარკის ხარისხის მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას, მექანიკური თვისებების სტაბილურობას და მაღალ ტექნოლოგიურობას. ეს იყო ქართული მეტალურგების მიერ შემუშავებული ფოლადის სახეობა, რომლის წარმოებაში დანერგვისთვის სპეციალისტების ჯგუფს მიენიჭათ 1993 წლის სახელმწიფო პრემია ტექნიკის დარგში.

ფეროქრომი შეიცავს 70%-მდე ქრომს (დანარჩენი რკინა და მინარეები) ფეროქრომის საწყისი მასალებია ქრომოვანი მადნები (52-58% Cr₂O₃), ნახშირბადოვანი (6-8% C) ფეროქრომს გამოადნობენ მადანადმდგენელ ღუმელებში. რაფინირებულ საშუალო (0,8-1,5% C) და მცირენახშირბადოვანი (0,1-0,5% C) და უნახშირბადო (0,01-0,06%) ფეროქრომს იღებენ მარაფინირებულ ელექტროღუმელებში სილიკოთერმიული პროცესით.

ფეროქრომს იყენებენ ფოლადის ლეგირებისთვის, ხოლო გადასამუშავებელ ფეროქრომს სილიკოქრომის გამოსადნობად.

ცხრილში 12.11 მოცემულია ელექტროენერგიის კუთრი ხარჯები შენადნობების და სხვ პროდუქტების წარმოებისას მადანადღვენით ელექტროღუმელებში და აგრეთვე, კაზმის ძირითადი კომპონენტები:

ცხრილი 12.11

წარმოებული პროდუქტის დასახელება	ელენერგიის კუთრი ხარჯი კმტს/ტ	კაზმის კომპონენტები, კმ	პროდუქტის კიბოური შედგენილობა
2	3	4	5
45%-იანი ფეროსილიციუმი	4000-5000	კვარციტი 300, კოქსი 140 რკინის ბურბუშეულა 190	Si - 41.47%, რკინა-დანარჩენი
75%-იანი ფეროსილიციუმი	7800-9000	კვარციტი 300, კოქსი 145, რკინის ბურბუშეულა-35	Si -73-80%, რკინა - დანარჩენი
სილიკომანგანუმი	4100-4700	კვარციტი 120, კოქსი 120 მანგანუმის მადანი და წიდა 440	მანგანუმი 82%, სილიციუმი 14-17%
ფერონიკელი	2400	ნაფანგი ნიკელის მადანი 100, კოქსი 25, კირქვა -30.	კობალტი და ნიკელი 99%, რკინა 0.5%
თუჯი	2200-2600	რკინის მადანი -100 კოქსი 27 კირი-4	C 2.5-3.3%, დანარჩენი -რკინა
ფერომანგანუმი-ნახშირბადიანი უფლუსო პროცესით	2700	მანგანუმის მადანი 300, რკინის ბურნუშეულა 20, კოქსი - 70	მანგანუმი არა <7-78%, ნახშირბადი 7%, რკინა-დანარჩენი
ფლუსიანი პროცესით	3740	მანგანუმის მადანი -300, რკინის ბურბუშეულა 20, კოქსი 70, ფლუსი 100.	მანგანუმი არა<7-78%, ნახშირბადი-7%, რკინა, სილიციუმი - დანარჩენი
ლითონური მანგანუმი	2400-2430	უფოსფორო მანგანუმის წიდა -100, სილიკომანგანუმი 34,5, კირი 77.	მანგანუმი 90-96%, დანარჩენი- მანგანუმის და სილიციუმის ჯანგი
სილიკოქრომი	3400	კვარციტი-300, კოქსი 130, გადასამუშავებელი ფეროქრომი-145	სილიციუმი-40-52% ქრომი-30-32%

1	2	3	4	5
10.	საშუალო ნახშირბადიანი სილიკოქრომი	2350-2500	ქრომის მადანი-1980, კირი 2100, სილიკოქრომი -810	ქრომი 65-75%, ნახშირბადი 0.1-0.4% დანარჩენი-სილიციუმის და რკინის ჯანგულები
11.	უნახშირბადლო ფეროქრომი	3380-3500	ქრომის მადანი-100, კირი-95, სილიკოქრომი-42	ქრომი 65-75%, ნახშირბადი 0.04-0.1% დანარჩენი-კალციუმისა და რკინის ჯანგულები
12.	კალციუმის კარბიდი	2500-2900	კირი-500, კოქსი-800	კალციუმის კარბიდი 70-80%, დანარჩენი, კალციუმის ჯანგი.
13.	რაფინირებული ფეროქრომი	2300-2500	ქრომის მადანი-30, კირი-40, სილიკოქრომი-70	ქრომი 65-70%, ნახშირბადი 0.4-0.6%, რკინა-დანარჩენი
14.	ნახშირბადოუანი ფეროქრომი	3400-3600	ქრომის მადანი-70, კოქსი-200, რკინის მადანი ან ბურბუშელა-900	ქრომი 65-75%, ნახშირბადი 5-7% სილიციუმის და რკინის ჯანგულები-დანარჩენი
15.	გადასამუშავებელი ფეროქრომი	3400-3600		ქრომი 71%, ნახშირბადი 5%, რკინა-დანარჩენი
16.	სილიკოალუმინი	12000-15000	კვარციტი-40, ტექნიკური თიხამიწა-65, კოქსი-33	ალუმინი-43-55%, სილიციუმი 25-43%, ნახშირბადი 2.2%, კალციუმი, რკინა, ტიტანი - დანარჩენი
17.	საშუალონახშირბადოვანი ფერომანგანუმი	1600-1900	1.მანგანუმის მადანი; 2.კირი; 3.სილიკომანგანუმი გადასამუშავებელი	მანგანუმი არა<80%, ნახშირბადი, 1.0-1.5% რკინა -დანარჩენი

12.12 ელექტრორკალური ღუმელის აირგამწმენდი სისტემა

მეტალურგიული პროცესებისათვის დამახასიათებელია დიდი რაოდენობით მტერის გამოყოფა, რაც სერიოზულ საფრთხეს წარმოადგენს როგორც მომსახურე პერსონალისათვის, ისე ბუნებრივი გარემოსათვის. განსაკუთრებით საშიშია ადამიანის ჯანმრთელობისთვის ფეროშენადნობთა წარმოების ელექტრორკალურ ღუმელებში წარმოქმნილი მანგანუმის მტვერი, რომელიც თან ახლავს ტექნოლოგიურ აირებს.

ტექნოლოგიური მახასიათებლის მიხედვით მანგანუმი მიეკუთვნება საშიშროების მე-2 კლასს (სახ.სტანდარტ 12.1.007-76 შესაბამისად). ორგანიზმზე მანგანუმის ხანგძლივ ზემოქმედებას შეუძლია გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ცვლილებები ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში, ხოლო მანგანუმის მტვერის ჩასუნთქვა არის პნევმოკონიოზის განსაკუთრებული ფორმის – მანგანოკონიოზის გამომწვევი მიზეზი. უნდა აღინიშნოს, რომ მანგანუმშემცველი მტვერით მოწამვლის შემთხვევები ხდებოდა მაშინ, როდესაც მისი კონცენტრაცია 3-10-ჯერ აღემატებოდა ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას (ზღკ).

ამჟამად ნორმების მიხედვით ჰაერში მანგანუმის მტერის ზღკ საშუალო ზონაში არის 0,3 მგ/მ³, (სახ.სტანდარტ 12.1.005-76); მანგანუმის კონცენტრაცია სასმელ წყალში არის 0,1 მგ/დმ³ (სახსტანდარტ 2874-73). მანგანუმს შეუძლია გამოიწვიოს ღვიძლის დაავადება, როგორც იზოლირებულად ზემოქმედების შემთხვევაში, ისე ქრომთან და სხვა ელემენტებთან ერთობლივი მოქმედების დროს.

ფეროშენადნობთა ღუმელებისა და სამსხმელო მანქანების მტვერს აქვს განსაკუთრებით წერილი გრამულომეტრული შედგენილობა (0,056 მმ-ზე ნაკლები ზომის ფრაქცია შეადგენს 88,4%-ს). 300-400°C-ზე გახურების შემთხვევაში იმის გამო, რომ მტვერი შეიცავს ნახშირბადიან კომპონენტებს ($\leq 10\%$), შესაძლებელია მისი აალება. გარდა მანგანუმის, სილიციუმის, რკინის, მაგნიუმის და კალციუმის ოქსიდებისა, მტვერში შედის აგრეთვე თუთიის (1,2-3%), ტყვიის (1-2,5%) და გოგირდის (1,8-2,4%) შენაერთები.

მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას გამოყოფილი აირების ფაქტობრივი რაოდენობა შეადგენს 600-650 მ³/ტ, ხოლო სილიკომანგანუმის გამოდნობისას – 800-900 მ³/ტ. ამ დროს აირებთან ერთად გამოსული მტერის რაოდენობა არის 3-4 კგ.

აღნიშნული აირების გაწმენდისთვის გამოიყენება სველი და მშრალი გაწმენდის მეთოდები. აირის სველი გაწმენდის მეთოდის უპირატესობა ისაა, რომ გამოყოფილი აირი წყალთან შედის კონტაქტში და მაშინვე ციფდება. მაგრამ შემდგომ სტადიებზე აუცილებელია წყლის გაწმენდა მყარი ნაწილაკებისაგან, იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იყოს საბრუნო ციკლის მუშაობა.

ეს ნაკლი არა აქვს აირის მშრალი გაწმენდის მეთოდს, რომელიც ითვალისწინებს ქსოვილის ფილტრის გამოყენებას და მიუხედავად ფილტრის სიძვირისა, ამჟამად საკმაოდ გაერცელებულია წარმოებაში. მშრალი გაწმენდის მეთოდი ძალიან ეფექტურია და აირის გაწმენდის ხარისხი შეადგენს 98-99% -ს.

აქედან გამომდინარე, მტერისგან აირების გასუფთავების პრობლემა ძალზე მნიშვნელოვანია და უკანასკნელ ხანს დიდი ყურადღება ექცევა. მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად მეტალურგიულ წარმოებაში დანერგილია საკმაოდ სრულყოფილი მტვერსასრუტი აპარატები, მათი კონსტრუქცია მოითხოვს შემდგომ დახვეწას. ამ მიზნით ჩვენს მიერ შემუშავებულია აირგამწმენდი მშრალი ფილტრის რეგენერაციის ახალი ელექტრომაგნიტური სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს ფილტრის მუშაობის საიმედოობას და ტექნოლოგიური გასუფთავების მაღალ ხარისხს.

/ იხ. პატენტი P 4240B და სტუ-ს შრომები. 2007. №1. (463) /

ჩვენ მიერ დაპროექტებული მშრალი აირგამწმენდი მოწყობილობის ტექნიკური პარამეტრებია:

- დანადგარის მწარმოებლობა – 36000 მ³/სთ;
- აირგამწმენდი – მშრალი ტიპის;
- კვამლსასრუტის ტიპი – დნ – 125;
- ელექტროძრავა – 4A- 2505-4-93; სიმძლავრე –75 კვტ, ბრუნთა რიცხვი –

1500 ბრ/წთ:

- საკვამლე მილი – ლითონის, ფუძისა და ზედა ნაწილის დიამეტრები შესაბამისად არის 825 და 630 მმ, სიმაღლე – 20მ.

- გამომავალი აირის დამტვერიანება 1438 მგ/მ³.

- ატმოსფეროში გამოსროლილი აირების ტემპერატურა – 70°C.

აღნიშნული აირგამწმენდი მოწყობილობა განკუთვნილია ფირმა “მეტექსის” (ქ. რუსთავი) ფეროშენადნობთა წარმოების ელექტრორკალური ღუმელისათვის. ეს ღუმელი სამელექტროდიანია, დახურული ტიპისა და მისი წლიური მწარმოებლობა არის 5000 ტ სილიკომანგანუმი წელიწადში.

ღუმელიდან გამოყოფილი ტექნოლოგიური აირების სისტემის ფილტრი დაყენებულია შემწოვ პაერსატარზე და ის დაკომპლექტებულია თექვსმეტი

სექციისაგან, რომლებიც შეადგენენ ორ ბლოკს. ყოველ ბლოკში შედის რვა პარალელურად შეერთებული სექცია. ფილტრის ბლოკები მუშაობენ პერიოდულად, მონაცვლეობით – როდესაც პირველი ბლოკი მუშაობს აირის გაწმენდაზე, მე-2 ბლოკი რეგენერაციის რეჟიმშია და პირიქით.

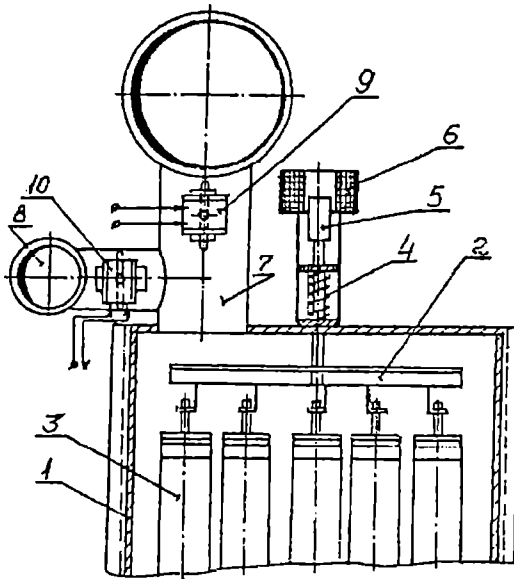
ფილტრის სექცია შედგება ქსოვილის თხუთმეტი სახელოსაგან, რომელთა საერთო საფილტრავი ფართობი არის 15 მ². ფილტრის სიგანე და სიმაღლე სექციების რაოდენობის მიუხედავად უცვლელია, სექციების რაოდენობის მიხედვით იცვლება მხოლოდ ფილტრის სიგრძე.

ფილტრის სახელოს ქსოვილად იყენებენ მატყლის ბაიას. უკანასკნელ ხანს ფილტრის სახელოს ამზადებენ მინის ბოჭკოვანი ქსოვილისაგან, რომელიც უძლებს მაღალ ტემპერატურას.

ფილტრის რეგენერაციის მექანიზმი საკმაოდ რთული მექანიკური სისტემაა, რადგან იგი შეიცავს მრავალ ურთიერთქმედ დეტალს და ხახუნის კვანძს.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ფილტრის რეგენერაციის ელექტრომაგნიტური სისტემა უზრუნველყოფს ფილტრის ავტომატურ გადაყენას მუშა რეჟიმიდან რეგენერაციის რეჟიმში, ხოლო ფილტრის სახელოების გასუფთავების შემდეგ მას კვლავ აბრუნებს მუშა რეჟიმში. ფილტრის ბლოკების მუშა და რეგენერაციის რეჟიმების რიგითობა და ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ელექტრომაგნიტის კოჭზე მართვის ბლოკიდან შემოსული იმპულსების თანამიმდევრობასა და ხანგრძლივობაზე.

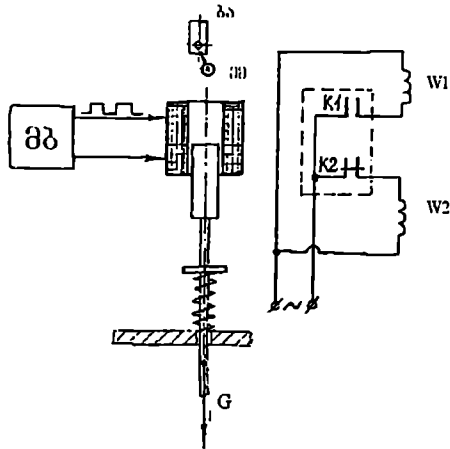
აირგამწმენდი ფილტრის სექციის სქემა წამნოდგენილია ნახ. 12.11.



ნახ.12.11 აირგამწმენდი ფილტრის სექცია

აირგამწმენდი ფილტრი შეიცავს კორპუსს 1 და ამ კორპუსში საკიდრის 2 მეშვეობით დაყენებულ ქსოვილის სახელოებს 3. საკიდარი 2 დაყრდნობილია საამორტიზაციო ზამბარაზე 4, დაკავშირებულია ელექტრომაგნიტის გულართან 5, ხოლო ელექტრომაგნიტის კოჭა 6 დამაგრებულია ფილტრის კორპუსზე 1. კორპუსთან შეერთებულია გამწოვი 7 და რეგენერაციის 8 მილები, რომლებშიც ჩამონტაჟებულია გამწოვი 9 და რეგენერაციის 10 ელექტრომაგნიტური შიბერები.

ნახ. 12.12. წარმოდგენილია ფილტრის რეგენერაციის ელექტრომაგნიტური სისტემის სქემა:



ნახ.12.12 ფილტრის რეგენერაციის ელექტრომაგნიტური სისტემის სქემა

ფილტრი მუშაობს შემდეგნაირად:

ფილტრაციის რეჟიმში ელექტრომაგნიტის კოჭას 6 მიეწოდება ძაბვის იმპულსი. ეს იწვევს ელექტრომაგნიტის გულარის 5 შეზიდვას კოჭაში და როდესაც გულარი 5 მიაღწევს ზედა უკიდურეს მდგომარეობას ის ზემოქმედებს ბოლო ამომრთველზე. ამის შედეგად ბოლო ამომრთველის ნორმალურად ღია კონტაქტი K1 შეიკვრება, ხოლო ნორმალურად შეკრული კონტაქტი K2 გაიხსნება. ეს უზრუნველყოფს გამწოვი ელექტრომაგნიტური შიბერის W1 კოჭაზე ძაბვის მიწოდებას და ამ შიბერის გაღებას; ამავე დროს ძაბვის მიწოდება წვდება რეგენერაციის ელექტრომაგნიტური შიბერის W2 კოჭაზე და ეს შიბერი იკეტება. ამის შედეგად დამტვერიანებული აირი კორპუსის ქვედა კოლექტორიდან შეიწოვება ფილტრის სახელოებში 3. სახელოებში აირის შეწოვის დროს მტერის ნაწილაკები ეჩხირება ქსოვილის უჯრედებში, ხოლო გასუფთავებული აირი კორპუსიდან 1 გადაადის გამწოვი ქსელის მილში 7, საიდანაც ის ვენტილატორის მეშვეობით (ვენტილატორი სქემაზე ნაჩვენები არ არის) გადადის ატმოსფეროში.

რეგენერაციის რეჟიმში ელექტრომაგნიტის კოჭას 6 ძაბვის იმპულსი არ მიეწოდება. გულარი 5 გამოდის კოჭიდან 6 და გულართან შეერთებული საკიდარი 2 სახელოებთან 3 ერთად სიმძიმის ძალით ეშვება ქვედა მდგომარეობაში, ზემოქმედებს საამორტიზაციო ზამბარაზე 4, რომელიც შემდგომ გარკვეული დროის განმავლობაში იწვევს საკიდრისა 2 და სახელოების 3 რხევით მოძრაობას, რაც უზრუნველყოფს სახელოების დაბერტყვას და ქსოვილის ფორუმში ჩარჩენილი მტერის ნაწილაკების მოშორებას. ელექტრომაგნიტის გულარის 5 დაშვებისთანავე ამომრთველი (K) და მისი კონტაქტები K1 და K2 უბრუნდება საწყის მდგომარეობას, რის შედეგადაც W1 კარგავს კვებას, ხოლო W2-ს ძაბვა მიეწოდება, შესაბამისად, ელექტრომაგნიტური შიბერი 9 დაიკეტება, ხოლო 10 გაიღება. ამ შემთხვევაში რეგენერაციის ქსელიდან მილის 8 გავლით ფილტრის სექციის კორპუსს 1 მიეწოდება სუფთა პაერი, რომელიც შედის სახელოების 3 ქსოვილებში (პაერის მოძრაობა ხდება სახელოს გარედან შიგნით ანუ ფილტრაციის რეჟიმთან შედარებით საპირისპირო მიმართულებით) და დამატებით წმენდს ქსოვილებს მტერის ნაწილაკებისგან.

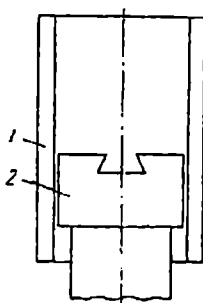
წარმოდგენილი ფილტრის რეგენერაციის ელექტრომაგნიტურ სისტემაში არ არის ხახუნის კვანძები და ენერჯია არ იკარგება ხახუნსა და დეტალების ცვეთაზე. ამიტომ ფილტრი გამოირჩევა საიმედო მუშაობით და ეკონომიურია ექსპლუატაციაში. გარდა ამისა ფილტრის რეგენერაციის ელექტრომაგნიტურ სისტემას ახასიათებს მაღალი სწრაფქმედება, მექანიკურ სისტემებთან შედარებით.

13. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმა

13.1 ზოგადი მიმოხილვა

თანამედროვე მეტალურგიულ წარმოებაში ჩამოსხმის მაღალეფექტურ ხერხს წარმოადგენს ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმა.

მეთოდის არსი მდგომარეობს თხევადი ფოლადის უწყვეტ მიწოდებაში უძირო, წყლით საცივებელ კრისტალიზატორში (ნახ. 13.1), რომლის ქვემოდანაც სადღდის მეშვეობით უწყვეტად გამოიქაჩება ნახევრად გამყარებული ზოდი, რომელიც გამყარების შემდეგ მექანიზებულად იჭრება გარკვეულ ზომებზე.



ნახ. 13.1 სადღდედი: 1-კრისტალიზატორი;
2-სადღდის თაფი.

თანამედროვე უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანებზე (უნჩმ) მიიღება სხვადასხვა პროფილის ზოდები – კვადრატული (ბლუმები), მართკუთხა (სლაბები), მრგვალი და რთული კონფიგურაციის.

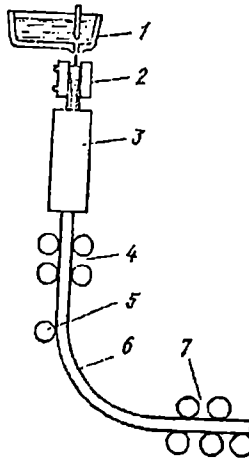
უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანები იყოფა ხუთ ძირითად ტიპად: ევრტიკალური, ვერტიკალური ზოდის მოხრით, რადიალური, რადიალური მოხრილი კრისტალიზატორით და პორიზონტალური.

ასეთ მანქანებში (ნახ.13.5) ლითონის ჩამოსხმა ხორციელდება შემდეგნაირად: მთავარი ციციხედან (13) ლითონი ჩაედინება შუალედურ ციციხეში (1), საიდანაც იგი ხვდება წყლით საცივებელ კრისტალიზატორში (4). ჩამოსხმის დაწყების წინ კრისტალიზატორში შეაქვთ მისივე განიეკეთის , ზომისა და კონფიგურაციის

სადედი (საფალე), რომელიც ფაქტობრივად ასრულებს კრისტალიზატორის ძირის როლს (ნახ. 13.1) ჩასხმული ლითონი მიედუღება ამ სადედს და მასთან ერთად იწყება სხმულის გამოქაჩვა სპეციალური გამოქაჩი გლინების მეშვეობით.

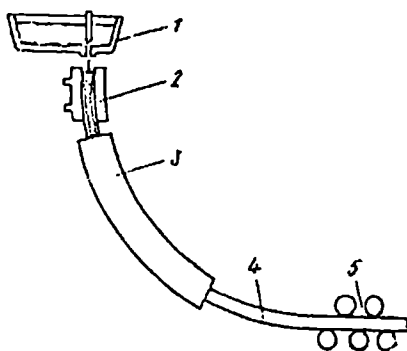
ნახევრად გამყარებული ზოდი კრისტალიზატორიდან გადადის მეორადი გაცივების ზონაში, ხოლო შემდეგ კი – სპეციალურ ჩამჭრელ მოწყობილობაზე, სადაც ხდება მისი დაჭრა საჭირო ზომებად და დასაწყობება ან ტრანსპორტირება შემდგომი დამუშავებისათვის საგლინავ საამქროში. ლითონის გადადგილების გასაადვილებლად კრისტალიზატორი ეობრირებს და ამავე დროს ასრულებს რხევით მოძრაობას ქვეით-ზევით. კრისტალიზატორის მოძრაობის სიჩქარე ჩამოსხმის ხაზობრივი სიჩქარის ტოლია, რაც უზრუნველყოფს გამყარებული ლითონის საკმაოდ სქელი ფენის წარმოქმნას.

ვერტიკალური უჩმ-ის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ის, რომ დანადგარის განთავსება მოითხოვს დიდ სიმაღლეს (30-40მ), რაც ქმნის ბევრ სიძნელეს მისი მშენებლობისა და ექსპლუატაციისას. ამიტომ ბევრ შემთხვევაში გამოყენებაშია ვერტიკალური მანქანა ზოდის მოხრით (ნახ. 13.2). ასეთ მანქანას აქვს სპეციალური მოსახრელი მექანიზმი, რომლის მეშვეობითაც უკვე გამყარებული ზოდი ვერტიკალური მდგომარეობიდან გადაჰყავთ ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და შემდეგ ხდება მისი დაჭრა და დასაწყობება.



ნახ.13.2 ვერტიკალური მანქანა ზოდის მოხრით:
 1-შუალედური ციცხვი; 2-კრისტალიზატორი;
 3-მეორადი გაცივების არე; 4-გამოქაჩი გლინები;
 5-მომღუნი გლინი; 6-ზოდი; 7-გამასწორებელი გლინები

საკმაოდ დიდი გავრცელება ჰპოვა რადიალირი ტიპის მანქანამ მოხრილი კრისტალიზატორით (ნახ.13.3). ასეთი მანქანების განთავსება საამქროში ბევრად უფრო ადვილია და ეკონომიურად გამართლებული. ხშირ შემთხვევაში, წარმადობის გაზრდის მიზნით, ჩამოსხმას აწარმოებენ რამდენიმე კრისტალიზატორში ერთდროულად. ამისათვის გამოიყენება შუალედური ციცხვი, რომელსაც რამდენიმე გამოსაშვები ხერელი აქვს. შუალედური ციცხვი საშუალებას იძლევა რეგულირებადი გახდეს ძირითადი ციცხვიდან ლითონის მიწოდება, გადაანაწილდეს იგი რამდენიმე კრისტალიზატორზე თანაბარი რაოდენობით და ჩამოსხმა წარიმართოს ლითონის დაბალი ფეროსტატიკური წნევით.



ნახ.13.3 რადიალური მანქანა მოხრილი კრისტალიზატორით:

1-შუალედური ციცხვი; 2-რადიალური კრისტალიზატორი;

3-მეორადი გაცივების არე; 4-ზოდის;

5-გამომჟიმავე-გამასწორებელი გლინები

უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანაზე ჩამოსხმას შუალედური ციცხვის 2/3 სიმაღლეზე ლითონით შევსებით იწყებენ. ამასთან ლითონის ტემპერატურა ჩამოსხმის პროცესში 30°C-ით მეტი უნდა იყოს, ვიდრე ბოყეებში სიფონური ჩამოსხმის დროს. ხარისხიანი ზოდის მისაღებად აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ჩამოსხმისას კრისტალიზატორში თხევადი ლითონის მუდმივი

დონის არსებობა, რომელიც კრისტალიზატორის ზემო ტორსიდან 100-150 მმ დაბლა უნდა იყოს.

უწყვეტი ჩამოსხმის დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე იმას, რომ თავიდან იქნეს აცილებული ლითონის მეორადი დაუანგვა. ამისათვის გამოიყენება სპეციალური ცეცხლგამძლე ჭიქები, რომლებიც უკეთდება როგორც ძირითად, ისე შუალედურ ციცხვს. გარდა ამისა, ლითონის ზედაპირი შუალედურ ციცხვში და კრისტალიზატორში იფარება წიღური ნალღობით და თბოსაიზოლაციო ფხენილოვანი ნარევით. ზოგ შემთხვევაში ჩამოსხმას აწარმოებენ ნეიტრალურ ატმოსფეროში – კრისტალიზატორში შეუბერავენ არგონს. ჩამოსხმის დაწყების მომენტიდან კრისტალიზატორის ზედაპირი ავტომატურად იხეთება პარაფინით ან სხვა სპეციალური სახის ზეთით, რომ თავიდან იქნეს აცილებული ლითონის მიერ კრისტალიზატორის ზედაპირზე.

ჩვეულებრივ ჩამოსხმასთან შედარებით უწყვეტი ჩამოსხმის მეთოდს შემდეგი ძირითადი დადებითი თვისებები ახასიათებს:

1. ერთ ტონა მზა ფოლადზე ლითონის დანაკარგების საგრძნობი შემცირება.
2. შრომის პირობების საგრძნობი გაუმჯობესება, წარმადობის გაზრდა და მუშათა რიცხვის შემცირება;
3. ზოდის შედარებით სწრაფი გაცივების შედეგად ქიმიური და სტრუქტურული არაერთგვაროვნების საგრძნობი შემცირება;
4. მიღებული ზოდების ზედაპირის მაღალი სისუფთავე;
5. საექსპლუატაციო და კაპიტალური დანახარჯების შემცირება, რაც მომჭიმავი დგანების (ბლუმინგი, სლაბინგი) ლიკვიდაციასთანაა დაკავშირებული;
6. ჩამოსხმის პროცესის მთლიანი ავტომატიზაციისა და მექანიზაციის შესაძლებლობა. არის საამქროები, სადაც უწყვეტი ჩამოსხმის მანქანა პირდაპირ მიბმულია საგლინავ საამქროსთან და უწყვეტი ზოდის გლინევა და მზა პროდუქციის მიღება წარმოებს ყოველგვარი მეორადი გახურების გარეშე.

აღნიშნულმა უპირატესობებმა განაპირობა ამ მეთოდის სწრაფი გავრცელება. მთელს მსოფლიოში დღეისათვის გამოდნობილი ფოლადის 80% უწყვეტადაა მანქანებზე ჩამოსხმული.

13.2 ფოლადისა და თუჯის ჩამოსხმის პროცესში ლითონის დონის რეგულირების ავტომატური სისტემის შემუშავება.

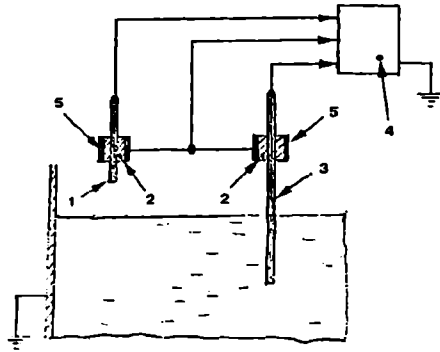
მეტალურგიული წარმოების ინტესიფიკაცია, ტექნოლოგიური პროცესის სრულყოფა, მოწყობილობის მწარმოებლობის ზრდა შესაძლებელია მხოლოდ მოქმედი დანადგარების კომპლექსური ავტომატიზაციის საფუძველზე. ავტომატიზაციის საშუალებების დანერგვა და გამოყენება მეტალურგიაში, კერძოდ, ფოლადსადნობ წარმოებაში, უზრუნველყოფს შრომის ნაყოფიერების და კულტურის ამაღლებას, ტექნოლოგიური პროცესების სტაბილიზაციას, დანადგარების ოპტიმალურ ექსპლუატაციას, მოწყობილობის და რემონტების შემცირებას.

კონკრეტულად, ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარების სტაბილური მუშაობა ბევრად არის დამოკიდებული ლითონის დონის გარკვეულ ფარგლებში შენარჩუნებაზე საჩამოსხმო შუალედურ ციციხეში და კრისტალიზატორში, რაც შესაძლებელია მხოლოდ ლითონის დონის ავტომატური კონტროლის და რეგულირების საშუალებების გამოყენებით. ლითონის დონის განსაზღვრისა და რეგულირებისათვის მეტალურგიულ წარმოებაში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყო, კერძოდ, ლითონის დონის უწყვეტი კონტროლისათვის – დონესასომები და აგრეთვე ზღვრული დონეების სიგნალიზატორები. მოქმედების პრინციპის მიხედვით ისინი შეიძლება იყოს პიეზომეტრული, ტიტივია, ტევალობით, აკუსტიკური, ელექტროკონტაქტური, რადიომეტრული.

ამჟამად, მოწინავე მეტალურგიულ ქარხნებში ლითონის დონის კონტროლისათვის ფართო გამოყენება პოვა რადიაციული ტიპის ხელსაწყოებმა. რადიაციული ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი დამყარებულია კონტროლირებადი მასალის და გარემოს მიერ გამა-გამოსხივების შთანთქმის უნარის განსხვავებაზე.

რადიაციული ხელსაწყო ზუსტად აკონტროლებს ლითონის დონეს, საიმედოა მუშაობაში, მაგრამ მისი ექსპლუატაცია ძალზე რთული და საშიშია მომსახურე პერსონალისთვის, კერძოდ, მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დარღვევის შემთხვევაში ადგილი ექნება რადიაციის გაჟონვას, რამაც შეიძლება სერიოზული ზიანი მიაყენოს ადამიანის ჯანმრთელობას.

მეტალურგიულ ქარხნებში გამოიყენება აგრეთვე ლითონის დონის ელექტროკონტაქტური სიგნალიზატორები. ერთ-ერთი ასეთი ტიპის მოწყობილობის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 13.4-ზე.

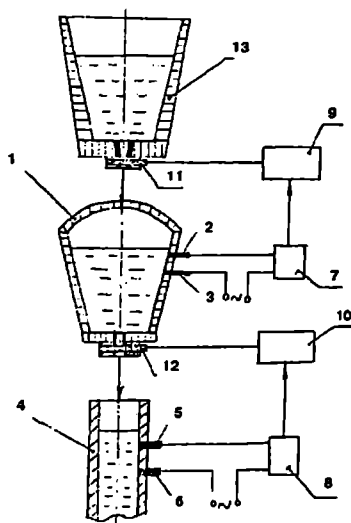


ნახ.134 ლითონის დონის ელექტროკონტაქტური სიგნალიზატორი

ლითონის დონის ელექტროკონტაქტური სიგნალიზატორი შეიცავს ვერტიკალურ ელექტროდებს 1 და 3, შესაბამისად ლითონის ზედა და ქვედა დონის რეგისტრაციისათვის. ელექტროდები დამაგრებულია იზოლატორზე 2 და მიერთებულია ელექტრონულ ბლოკთან 4. სიგნალიზატორის დაბრკოლებამდგრადობის ამაღლებისათვის იზოლატორები 2 მოთავსებულია ლითონურ რგოლებში 5, რომლებსაც დამცავი რგოლები ეწოდება.

განხილული მოწყობილობის ძირითადი უარყოფითი მხარე, რომელიც გამორიცხავს მის საიმედო ფუნქციონირების შესაძლებლობას უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარებში, არის ელექტროდების ვერტიკალური განლაგება, რომელიც აფერხებს ლითონის მიწოდებას საჩამოსხმო შუალედურ ციცხეში. რაც შეეხება უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარის კრისტალიზატორს, აქ საერთოდ შეუძლებელია ვერტიკალური ელექტროდების გამოყენება ლითონის დონის რეგულირებისათვის, ვინაიდან ელექტროდების ვერტიკალური განლაგება განაპირობებს მათ მოხვედრას თხევადი ლითონის ჭავლის ზემოქმედების ზონაში, რის გამოც შეუძლებელია ელექტროდებთან დენგამტარის მიერთება. გარდა ამისა, ზემოთ მოყვანილ მოწყობილობას უსაფრთხოების თვალსაზრისით ახასიათებს ძალზე მნიშვნელოვანი ნაკლოვანება - ვერტიკალური ელექტროდების გაცივების სისტემის მილების მწყობრიდან გამოსვლისას და მათი რღვევისას შესაძლებელია გამაცივებელი წყლის გაჯონვა მაღალტემპერატურული თხევადი ლითონის არეში და სერიოზული ავარიის გამოწვევა უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარში.

ჩვენს მიერ შემუშავებულია თხევადი ლითონის დონის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის ახალი სქემა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 135-ზე. ეს მოწყობილობა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარებში. (იხ. ჟურნალი „Metallurg“ 2004 №2 გვ. 24-25 და პატენტები: P 3115 და GE P 2006 3939 B).



ნახ.135 თხევადი ლითონის დონის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობა

მოწყობილობა შეიცავს საჩამოსხმო შუალედური ციცხვის 1 აგურის წყობაში სხვადასხვა დონეებზე პორიზონტალურად ჩამონტაჟებულ იზოლირებულ ელექტროდებს 2 და 3, რომლებიც უშუალო კონტაქტში იმყოფება თხევად ლითონთან. კრისტალიზატორში 4, ასევე ერთმანეთისაგან იზოლირებულად სხვადასხვა სიმაღლეზე ჩარჩილულია პორიზონტალური ელექტროდები 5 და 6. როგორც საჩამოსხმო შუალედური ციცხვის ელექტროდები 2 და 3, ასევე კრისტალიზატორის ელექტროდები 5 და 6 მიერთებულია შესაბამის რეგულირებთან 7 და 8. რეგულირების 7 და 8 კონტაქტებთან დაკავშირებულია პიდროამპრავები 9 და 10, რომლებიც განაპირობებენ სარეგულირებელი შიბერების 11 და 12 მოქმედებას.

შიბერი 11 დგას ძირითადი ციციხეის 13 გამოსავალზე, ხოლო შიბერი 12 – საჩამოსხმო შუალედური ციციხეის 1 გამოსავალზე.

ლითონის დონის ავტომატური რეგულირება ხორციელდება შემდეგნაირად:

თუ ლითონის დონე კრისტალიზატორში 4 შეესაბამება ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობის მოთხოვნებს, ანუ ლითონი შეხებაშია ორივე ელექტროდთან 5 და 6, შეკრული ელექტრული წრედი კეებავს რელეს 8 კოჭას. ამ დროს რელეს 8 კონტაქტები ღიაა და პიდროამპრაეი 10 გათიშულია, ხოლო შიბერი 12 დაკეტილია, როდესაც ლითონის დონე კრისტალიზატორში დაიწვეს და წრედი 5 და 6 ელექტროდებს შორის გაწყდება, რელეს 8 კოჭა დარჩება კეების გარეშე. მისი კონტაქტები შეიკვრება და მოქმედებაში მოვა პიდროამპრაეი 10, რომელიც გახსნის შიბერს 12 და მოხდება ლითონის მიწოდება საჩამოსხმო შუალედური ციციხეიდან 1 კრისტალიზატორში 4 მანამ, სანამ ლითონის დონე კელავ არ მიაღწევს ისეთ მნიშვნელობას, როდესაც ელექტროდები 5 და 6 იქნება შეკრული. ამის შემდეგ შიბერი 12 დაიკეტება პიდროამპრაეის 10 მეშვეობით.

ანალოგიურად ხდება ლითონის დონის რეგულირება საჩამოსხმო შუალედურ ციციხეშიც, ელექტროდების 2 და 3, რელეს 7, პიდროამპრაეის 9 და შიბერის 11 საშუალებით.

წარმოდგენილი მოწყობილობის უპირატესობას განაპირობებს ლითონის დონის ავტომატური რეგულირება, რომელიც აქ ხდება შედარებით მარტივი ელექტრული სქემის მეშვეობით და გამორიცხულია ელექტროდების შეხება და ურთიერთქმედება თხევადი ლითონის ჭავლთან, რაც უზრუნველყოფს მოწყობილობის ნორმალურ და საიმედო ფუნქციონირებას.

მოწყობილობის გამოყენება წარმოებაში უზრუნველყოფს:

1. უწყვეტი ჩამოსხმის პროცესის სტაბილურ მიმდინარეობას;
2. უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარის საიმედოობის ფუნქციონირებას;
3. მომსახურე პერსონალის მუშაობის უსაფრთხო პირობებს.

୧ ୨ ୩ ୪ ୫ ୬ ୭

**ფოლადის წარმოების დინამიკა-მარშენეველი
რუსეთის იმპერატორულ მარხანაში**

წელი	ბეზმა, ტ	შაბტიური, ტ
1950	80000	74763
1951	270000	232886
1952	355000	334213
1953	508000	478685
1954	525000	495247
1955	586000	572709
1956	656000	673739
1957	816000	789987
1958	1010000	961624
1959	1048300	1049596
1960	1088000	1108675
1961	1123000	1143233
1962	1205000	1220594
1963	1252000	1268133
1964	1284000	1307636
1965	1335000	1337152
1966	1373000	1393215
1967	1415250	1427272
1968	1418000	1419510
1969	1479000	1352508
1970	1379400	1382774
1971	1365500	1367994
1972	1368000	1275657
1973	1356000	1358891
1974	1366000	1400375
1975	1402000	1440401
1976	1426700	1444402
1977	1435500	1446191
1978		1439105
1979		1433603
1980		1310366
1981		1299513
1982		1292013
1983		1246979
1984		1348254
1985		1415034
1986		1409172
1987		1415415
1988		1425684
1989		1407163
1990		1296379
1991		957569
1992		526512
1993		216845
1994		119804
1995		87408
1996		82645
1997		104242
1998		56406
1999		7036
2000		0

სულ 50 წელიწადში 49655314ტ. მარტენული ფოლადი

1. თანაფარდობა სიგრძის ერთეულებს შორის

ერთეული	მ	სმ	მკმ	ფუტი	დიუმი	ზღვის მილი
მეტრი	1	10^2	10^6	3,28	39,37	$5,4 \cdot 10^{-4}$
სანტიმეტრი	10^{-2}	1	10^4	$3,28 \cdot 10^{-2}$	0,3937	$5,4 \cdot 10^{-6}$
მიკრომეტრი	10^{-6}	10^{-4}	1	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$3,937 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-10}$
ფუტი	0,3048	30,48	$3,048 \cdot 10^5$	1	12	$1,65 \cdot 10^{-4}$
დიუმი	$2,54 \cdot 10^{-2}$	2,54	$2,54 \cdot 10^4$	$8,33 \cdot 10^{-2}$	1	$1,37 \cdot 10^{-5}$
ზღვის მილი	$1,852 \cdot 10^3$	$1,852 \cdot 10^5$	$1,852 \cdot 10^9$	$6,075 \cdot 10^3$	$7,2907 \cdot 10^4$	1

2. თანაფარდობა ძალის ერთეულებს შორის

ერთეული	ნ	დნ	კგ ^ძ	ტ ^ძ	სტნ	გირეძ
ნიუტონი	1	10^5	0,102	$1,02 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	0,2248
დინი	10^{-2}	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	10^{-8}	$2,248 \cdot 10^{-6}$
კილოგრამ-ძალა	9,8067	$9,8067 \cdot 10^5$	1	10^{-3}	$9,0867 \cdot 10^{-3}$	2,2046
ტონა-ძალა	$9,8067 \cdot 10^3$	10^8	10^3	1	9,8067	$2,2046 \cdot 10^3$
სტენი	10^3	10^8	102	0,102	1	$2,248 \cdot 10^2$
ფუნტ-ძალა	4,448	$4,448 \cdot 10^5$	0,454	$4,54 \cdot 10^{-4}$	$4,448 \cdot 10^{-3}$	1

3. თანაფარდობა წნევის და დაძაბულობების ერთეულებს შორის

ერთეული	პა	ბარი	წმ.სეკმმ	მ.წმ.სეკმმ	დნ/სმ ²	კგ/სმ ²	გირემ/დმ ²
პასკალი	1	10 ⁻⁵	0,102	7,5024•10 ⁻³	10	1,02•10 ⁻⁵	1,45•10 ⁻⁴
ბარი	10 ⁵	1	1,02•10 ⁴	7,5024•10 ²	10 ⁶	1,02	14,5
წყლის სვეტის მილიმეტრი	9,8067	9,8067•10 ⁻⁵	1	7,35•10 ⁻²	98,1	10 ⁻⁴	1,422•10 ⁻³
ვერცხლისწყლის სვეტის მილიმეტრი	1,33•10 ²	1,33•10 ⁻³	13,6	1	1,33•10 ³	1,36•10 ⁻³	1,934•10 ⁻²
დინი კვადრატულ სანტიმეტრზე	0,1	10 ⁻⁶	1,02•10 ⁻²	7,50•10 ⁻⁴	1	1,02•10 ⁻⁶	1,45•10 ⁻⁵
კილოგრამ-ძალა კვადრატულ სანტიმეტრზე	9,8067•10 ⁴	0,98067	10 ⁴	7,35•10 ²	9,81•10 ⁵	1	14,223
ფუნტ-ძალა კვადრატულ დოუმზე	6,8948•10 ³	6,8948•10 ⁻²	7,0307•10 ²	52,2	6,89•10 ⁴	7,0307•10 ⁻²	1

4. თანაფარდობა ენერჯის ერთეულებს შორის

ერთეული	ჯ.	ერგ	კვძმ	კალ	კაკლ	კმტ.სტ	შუბტირგ.
ჯოული	1	10 ⁷	0,102	0,239	2,39*10 ⁻⁴	2,78*10 ⁻⁷	0,7376*10 ⁻⁴
ერგი	10 ⁻⁷	1	1,02*10 ⁻⁸	2,39*10 ⁻⁸	2,78*10 ⁻¹¹	2,78*10 ⁻¹⁴	7,376*10 ⁻⁸
კილოგრამ-ძალა	9,8067	9,8067*10 ⁷	1	2,343	2,343*10 ⁻³	2,72*10 ⁻⁶	7,233*10 ⁻³
კალორია	4,1868	4,1868*10 ⁷	0,42686	1	10 ⁻³	1,16*10 ⁻⁶	3,088*10 ⁻²
კილოკალორია	4,1868*10 ³	4,1868*10 ¹⁰	4,2686*10 ²	10 ³	1	1,16*10 ⁻³	3,068*10 ⁻⁵
კილოვატ-საათი	3,6*10 ⁶	3,6*10 ¹³	3,7*10 ⁵	8,6*10 ⁵	8,6*10 ²	1	2,663*10 ⁶
შუბტირგ-ძალა	1,356	1,356*10 ⁷	0,138	0,325	3,25*10 ⁻⁴	3,76*10 ⁻⁷	1

6. თანაფარდობა სიმპლავერის ერთეულებს შორის

ერთეული	შტ	ერვ/წმ	კვ.მ/წმ	კალ/წმ	ჩ.ინ/წ	ც.ბ.მ
ვატი	1	10 ⁷	0,102	0,239	0,7376	1,36•10 ⁻³
პრეგი წამში	10 ⁷	1	1,02•10 ⁻⁸	2,39•10 ⁻⁸	7,376•10 ⁻⁸	1,36•10 ⁻¹⁰
კილოგრამ-ბალანსირი წამში	9,8067	9,8067•10 ⁻⁷	1	2,343	7,233	1,36•10 ⁻²
კალორია წამში	4,1868	4,1868•10 ⁷	0,427	1	3,088	5,69•10 ⁻³
შუბ-შუნტ-ბალა წამში	1,3558	1,3558•10 ⁷	0,138	0,3246	1	1,84•10 ⁻³
ცხენის ძალა	736	7,36•10 ⁹	75	175,5	542,5	1

7. თანაფარდობა სითბოს რაოდენობის ერთეულებს შორის

ერთეული	ჯ	კაჯ	კაჯ ₁₅	კაჯ (თერმოქიმიური)	სითბოს ბრიტ. ერთეული
ჯული	1	0,238846	0,238920	0,239006	9,4781•10 ⁻⁴
კალორია (საერთაშ.)	4,1868	1	1,00031	1,00067	3,96829•10 ⁻³
15-გრადუსიანი კალორია	4,1855	0,99969	1	1,00036	3,96706•10 ⁻³
კალორია (თერმოქიმიური)	4,1840	0,99933	0,99964	1	9,96564•10 ⁻³
სითბოს ბრიტანული ერთეული	1,055,06	251,997	252,075	1	1

**სხვადასხვა მასალის სიმკვრივე, სითბოგამტარების კოეფიციენტის
სითბოტევადობა და ტემპერატურაგამტარების კოეფიციენტის**

მასალა	ρ , კგ/მ ³	t , °C	λ , ვტ/(მ°C)	$10^4 \alpha$ / კმ ² / °C	α 10 ⁻⁷ მ ² /წმ
ალფოლი	20	20	0.047	-	-
ფურცლოვანი ასბესტი	770	30	0.116	0.816	1.85
ასბესტი ბოჭკოვანი	470	50	0.110	0.816	2.87
ბეტონი	2300	20	1.280	1.130	4.92
თიხა (ეცხლგამძლე	1845	450	1.040	1.090	5.17
მუხა, ბოჭკოების პერპენდიკ.	800	20	0.207	1.760	1.47
მუხა, ბოჭკოების პარალელურად	800	20	0.363	1.760	2.58
მიწა, მშრალი	1500	-	0.138	-	-
მიწა ტენიანი	1700	-	0.657	2.010	1.92
ზონოლიტი	200	100	0.099	-	-
კლინკერი	1400	30	0.163	1.420	1.82
მაგნესია 85% ფხვნილში	216	100	0.067	-	-
ნიკელი, საქვაბე	-	65	1.31-3.14	-	-
მშრალი სილა	1500	20	0.326	0.795	2.74
ტენიანი სილა	1650	20	1.130	2.090	3.28
პორტლანდ(კემენტი	1900	30	0.302	1.130	1.41
საცობის ფირფიტა	190	30	0.042	1.880	1.18
რეზინა	1200	0	0.163	1.380	0.98
ქარსი	290	-	0.582	0.879	22.80
მინა	2500	20	0.744	0.670	4.44
ფაიფური	2400	95	1.04	1.090	3.98
ალუმინი	2700	0	204.0	0.896	843
ბრინჯაო	8000	20	64.0	0.381	210
ლატუნი	8000	0	85.5	0.377	283
სპილენძი	8800	0	384.0	0.389	1122
ნიკელი	9000	20	58.2	0.461	140
კალა	7230	0	64.0	0.226	392
ტყვია	11400	0	34.9	0.130	235
ვერცხლი	10500	0	419.0	0.234	1705
ფოლადი 20.	7900	50	5105	0.486	134
თუთია	7000	20	116.0	0.394	421
თუჯი	7220	20	62.8	0.502	173
სილიციუმი	2300	0	83.7	0.712	511
პლატინა	21460	0	69.8	0.131	248
ტიტანი	4540	0	15.1	0.532	62.5
მოლიბდენი	10200	0	141.0	0.251	551
ვოლფრამი	19300	0	163.0	0.134	630
ვირკონიუმი	6530	100,0	20.90	0.335	95.5

თბოსაიზოლაციო მასალების ძირითადი მონაცემები

მასალის დასახელება	საშუალო სიმკვრივე ρ , კგ/მ ³	სითბოგამტარობა, λ მტ/მ ² °C	მანქანის ტემპერატურა °C
გამოუწველი დიატომიტი, ნაჭრებში	650	$0.171+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
ფხენილოვანი დიატომიტი, გამოწვეარი	500	$0.105+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
დიატომიტის აგური 500 მარკის	500	$0.116+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
400 მარკის ქაფდიატომიტური აგური	400	$0.093+0.209 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	850
ქრიზოლიტური ასბესტი	220-1300	$0.0442+(0.14 \rho_M + 0.163) \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
ასბესტის კარტონი	1000-1400	$0.128+0.256 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
ასბესტის ნაჭროვანი	1000-1400	$0.128+0.256 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	500
ასბესტის ზონარი		$0.14+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	220
გოფირებული ასბესტი	200	$0.0535+0.145 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	300
ფულკანტური 400 მარკის ფილები	400	$0.0814+0.186 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
ქაფმინის ბლოკები	150-250	$\approx 0.116 \quad 20^\circ \text{C}$ -ის დროს	600
პერლიტური ფილები კერამიკულ შემაკავ.	250	$0.07+0.186 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
ასბოფერმიკულიტის ფილები	300	$0.0814+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
ასბოცემენტის 300 მარკის ფილები	300	$0.0837+0.186 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
მინერალური ბამბა ასბესტის K4 ფილები	500	$0.0989+0.116 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
ასბოცემენტის 500 მარკის ფილები	500	$0.0791+0.204 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
ვერმიკულიტის ფილები	250	$0.0814+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
ასბოქარსის ნაკეთობები	580-650	$0.130+0.151 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
ასბოზონოლიტის ნაკეთობები	500-650	$0.143+0.186 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	400
ნიუველური ნაკეთობები	350	$0.0756+0.0872 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	350
ორგიზოლის ნაკეთობანი	350	$0.0779+0.116 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
მინერალური ბამბა	150	$0.0582+0.186 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	600
კაოლინის ბამბა	300	$0.523(100^\circ \text{C}) - 0.116(400^\circ \text{C})$	1100
მინერალური ბამბის ნახევრადხისტი ფილები	125-150	$0.0512+0.198 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	400
მინის ბამბა	200	$0.0372+0.256 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
მინის ბოჭკოები	170	$0.0419+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	450
ასბოზურიტი	600	$0.157+0.174 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
გამომწვარი ვერმიკულიტი	125	$0.0698+0.233 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	1100
აფუებული პერლიტი	150	$0.0582+0.116 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	900
სოველიტის ფხენილი	500	$0.0989+0.116 \cdot 10^{-3} f_{\text{საშ}}$	500

ცეცხლგამძლე ნაკეთობების ძირითადი მონაცემები

ცეცხლგამძლე მასალის დასახელება	საშუალო სიმკვრივე კგ/კუბ	სიმკვრივე კგ/კმ	ცეცხლგამძლეობა °C	სიმტკიცე შეუმჯობესება მპა	დეფორმაციის დაწყების ტემპ. °C	მაქსიმალური ტემპერატურა, °C	კუთრი ვლ. წინაღობა მმ.მ. ტემპერატურაზე		
							800°C	1200°C	1600°C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
საამშენებლო (წითელი) აგური	1400-1600	2500-2600	1500-1600	1.5-5		300-400			
შამოტის აგური	1800-1900	2540-2620	1670-1730	15-30	1350-1400	1350-1450	7-15	1.0-1.5	0.6
ნახევრადმჟეა ცეცხლგ. აგური	1850-1950	2500-2600	1610-1710	10-15	1300-1400	1350-1450		4-6	
დინასის აგური	1900-1950	2380-2500	1700-1720	20-30	1620-1700	1700	200	9-14	1.5
მაგნეზიტური აგური	2600-2800	3000-3200	2000	35-60	1500-1600	1650-1700	1000	100-200	
შემდნარი მაგნეზიტური აგური	2700-2800	3500-3600	2800	50-70	1600-1700	1850	4000	100-200	1.0-2.0
ქრომიმაგნეზიტური აგური	2800-2900	3700-3800	2000	25-45	1450-1520	1700			
თერმომდგრადი მაგნეზ. აგური	2750-2850	3600-3800	2300	30-50	1500-1550	1750			
ქრომიტის აგური	3000-3200	3800-4200	1850-1900	30-70	1570-1660	1650-1700	3.0	0.5-0.1	0.01-0.05
სილიმანიტური და მულიტური ნაკეთობები	2200-2400	2800-3000	1780-1850	40-80	1500-1600	1650	180	11.5	3.5
შემდნარი მულიტის ნაკეთობანი	2100-2400	3000-3300	1800-1850	150-300	1700	1750			
კორუნდის (ალუნდის) ნაკეთობანი	2600-2900	3700-3900	1800-2000	20-80	1580-1690	1600-1700	1000	100	4.0-5.2
რეკრისტალიზებული კორუნდის ნაკეთობანი	3750-3850	3800-3900	>2000	1000-1500	1900	1900			
ცირონული ნაკეთობანი	2300-3300	4000-4500	2000	100-200	1520-1570	1900		10.0	
კარბორუნდის (კარბოფრაქსის) ნაკეთობანი	2300-2600	3100-3200	2000-2200	40-70	1700-1800	1400-1500	800	40	0.8-8
ნახშიროვანი ნაკეთობანი	1500-1600	1800-2100	>3000	15-25	2000	2000			
გრაფიტის ნაკეთობანი	1600	2200	>3000	20-30	2000	2000			
ბერილიუმის ჟანგეულის ნაკეთობანი		3000	2600			2000		10 ⁶	
თორიუმის ჟანგეულის ნაკეთობანი		10000	3000-3100			2500		10 ⁷	

**ლითონების სითბოტევადობა სხვადასხვა ტემპერატურის
პირობებში, 10³ ჯ/კგ.**

ტემპერატურა, °C	50	100	200	300	400	500	600	700	800
ბისმუტი, <i>Bi</i>	5.78	11.98	25.87	92.23	114.80	130.46	146.12		
კალა, <i>Sn</i>	11.68	24.20	53.51	136.95	158.05	179.20	200.88		
კადმიუმი, <i>Cd</i>	11.56	23.40	47.48	72.85	153.66	180.37	206.83	233.41	
ტყეა, <i>Pb</i>	5.15	10.84	23.45	37.93	75.66	88.05	102.58	116.73	130.21
თუთია, <i>Zn</i>	19.68	39.61	80.47	123.22	167.81	318.62	370.03	423.20	476.63
სტიბიუმი, <i>Sb</i>		20.31	41.20	62.09	84.74	106.39	129.83	323.22	353.78
ალუმინი, <i>Al</i>		93.78	189.66	273.19	382.05	485.88	587.16	1017.81	1073.50
ოქრო, <i>Au</i>		12.98	14.12	41.87	55.31	70.76	85.75	102.62	117.90
ვერცხლი, <i>Ag</i>		24.07	48.90	75.15	100.53	129.67	158.43	187.48	217.17
სპილენძი, <i>Cu</i>		38.98	79.55	122.46	166.13	211.43	260.25	309.20	358.05
ნიკელი, <i>Ni</i>		45.18	92.74	142.48	197.62	251.63	305.22	357.13	408.63
ქრომი, <i>Cr</i>		49.32	99.65	150.77	202.64	255.81	313.17	371.37	432.50
კობალტი, <i>Co</i>		45.64	92.70	141.10	191.76	248.28	304.80	366.76	434.59
სუფთა რკინა, <i>Fe</i>		46.47	97.97	153.24	214.36	280.52	356.72	419.10	504.93
ფოლადი ($C = 0.3\%$)		46.89	95.88	150.72	206.41	267.54	340.81	420.77	550.56
ფოლადი ($C = 0.8\%$)		48.15	96.72	154.49	210.18	271.30	344.57	424.54	542.19
ფოლადი ($C = 1.6\%$)		50.24	100.90	157.01	213.95	276.75	351.27	431.24	553.91
თუჯი ($C = 4.2\%$)		54.85	112.21	172.50	234.46	296.84	372.21	451.76	562.29

ტემპერატურა, °C	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
ბისმუტი, <i>Bi</i>								
კალა, <i>Sn</i>								
კადმიუმი, <i>Cd</i>								
ტყეია, <i>Pb</i>								
თუთია, <i>Zn</i>								
სტიბიუმი, <i>Sb</i>	381.50	409.09						
ალუმინი, <i>Al</i>	1213.27	1312.56						
ოქრო, <i>Au</i>	135.74	152.27	234.08	249.24				
ვერცხლი, <i>Ag</i>	247.15	381.42	409.89	441.74	468.08			
სპილენძი, <i>Cu</i>	398.16	462.64	727.67	779.58	830.66	880.48	931.98	
ნიკელი, <i>Ni</i>	462.64	520.42	576.10	635.14	695.14	755.30	1119.55	1193.24
ქრომი, <i>Cr</i>	496.97	564.38	636.39	713.85	792.56	879.65	969.66	1361.13 (1620°C)
კობალტი, <i>Co</i>	503.67	576.52						
სუფთა რკინა, <i>Fe</i>	584.06	675.33	744.41	815.59	888.02	968.41	1050.47	1356.52 (1560°C)
ფოლადი (<i>C = 0.3%</i>)	628.02	698.78	768.28	841.55				
ფოლადი (<i>C = 0.8%</i>)	610.85	679.10	749.44	821.03				
ფოლადი (<i>C = 1.6%</i>)	613.78	669.89	720.13	782.93				
თუჯი (<i>C = 4.2%</i>)	645.19							

**სხვადასხვა აირების სითბოგამტარობის კოეფიციენტი λ , ვტ/($^{\circ}\text{C}$)
ატმოსფერული წნევის პირობებში**

ტემპერატურა $^{\circ}\text{C}$	ჰაერი	აზოტი	ნახშირ- ორჟანგი CO	გადახურ. წყლის ორთქლები	წყალბადი	საკვამლე აირები CO_2 , $\text{O}_2 + \text{N}_2 = 82\%$ სხვადასხვა ტენიანობით		
						$S = 0\%$	$S = 5\%$	$S = 10\%$
0	0.0244	0.0243	0.0147		0.1745	0.0221	0.0223	0.0228
100	0.0321	0.0315	0.0228	0.0240	0.2163	0.0295	0.0301	0.0309
200	0.0393	0.0385	0.0309	0.0330	0.2582	0.0371	0.0383	0.0397
300	0.0461	0.0449	0.0391	0.0434	0.3001	0.0447	0.0462	0.0484
400	0.0521	0.0507	0.0472	0.0550	0.3419	0.0515	0.0543	0.0577
500	0.0575	0.0558	0.0549	0.0679	0.3838	0.0580	0.0623	0.0664
600	0.0622	0.0604	0.0621	0.0822	0.4257	0.0641	0.0704	0.0749
700	0.0642	0.0642	0.0688	0.0979	0.4675	0.0694	0.0782	0.0829
800	0.0675	0.0675	0.0751	0.1149	0.5094	0.0742	0.0859	0.0910
900	0.0701	0.0701	0.0809	0.1332	0.5513	0.0784	0.0935	0.0980
1000	0.0723	0.0723	0.0863-	0.1524	0.5931	0.0821	0.1012	0.1049

**წყალში გასაყვანი სპილენძის ძარღვებიანი ზეთკანიფოლიანი
გაჟღენთილი ქაღალდის იზოლაციანი
ტყვიის გარცმიანი კაბელები**

პარღვის ზოლი, მმ²	დ ე ნ ი ს დ ა ტ შ ი ო ტ შ ე ბ ი , ა			
	სამპარღვიანი კაბელების			ოთხპარღვიანი 1კმ-მდე კაბელები
	3 კმ-მდე	6 კმ-მდე	10 კმ-მდე	
16	-	135	120	-
25	210	170	150	195
35	250	205	180	280
50	305	255	220	285
70	375	310	275	350
95	440	375	340	410
120	505	430	395	475
150	565	500	450	-
185	615	545	510	-
240	715	625	585	-

მიწაში და ჰაერზე გასაყვანი ალუმინის ძარღვებიანი ქაღალდის
იზოლაციანი ტყვიის ან ალუმინის გარცმიანი კაბელების დენის
დასაშვები დატვირთვები

დენისაგან პარღვის ზოლი, მმ²	დ ე ნ ი ს დ ა ს ა შ ე მ ე ბ ი დ ა ტ შ ი ო ტ შ ე ბ ი , ა			
	სამპარღვიანი კაბელები სხვადასხვა ძაბვის დროს			ოთხპარღვიანი კაბელები 1მშ. ძაბვის პირობაში
	3 კმ-მდე	6 კმ-მდე	10 კმ-მდე	
6	55/35	-	-	46/-
10	75/46	60/42	-	65/45
16	90/60	80/50	75/46	90/60
25	125/80	105/70	90/65	115/75
35	145/95	125/85	115/80	135/95
50	180/120	155/110	140/105	165/110
70	220/155	190/135	165/130	200/140
95	260/190	225/165	205/155	240/165
120	300/220	260/190	240/185	270/200
150	335/225	300/225	275/210	305/230
185	380/290	340/250	310/235	345/260
240	440/330	390/290	355/270	-

ცვლადი დენის რკალური ელექტროღუმელების ძირითადი ტექნიკური მაჩვენებლები

მოდელი	ნომინალური ტენადობა, (ბ)	ღუმელის ბარცმის შიგა დიამეტრი (მმ)	ელექტროდის დიამეტრი, (მმ)	ბანჯლის წრესაზის დიამეტრი (მმ)	ელექტროდის სელა(მმ)	ბატლამმმმმმ			ღუმელის წონა, (ბ)	ბამაციებ.წელის ხარჯი (ბ/სთ)
						ნომსიმძლავრე (კვა)	მეორადი ბაბუა, მ.	მეორადი დენი, კა		
HX-0,6	0,6	Φ1738	Φ150	Φ450	900	630	200-98	1.82	5	10
HX-1,5	1,5	Φ2200	Φ200	Φ650	1100	1250	210-104	3.44	8	14
HX-3A	3	Φ2500	Φ250	Φ750	1250	2000	220-110	5.25	18	18
HX-3B	3	Φ2700	Φ250	Φ800	1400	2200	220-110	5.75	21	20
HX-5	5	Φ3220	Φ300	Φ850	1700	3150	240-121	7.58	35	32
HX-10	10	Φ3500	Φ350	Φ1000	2100	5500	260-139	12.20	63	38
HX-15	15	Φ3800	Φ350	Φ1050	2100	8000	260-139	14.71	69	45
HX-20	20	Φ4200	Φ400	Φ1100	2200	10000	314-116	18.39	75	55

ინდუქციური ელექტროღუმელების ტექნიკური მახასიათებლები

მოდელი	მოცულობა (ბ)	სიმძლავრე (კმტ)	სისშირე (კმც)	ამუბის ბაბუა, მ.	ელ.ენერჯის ხარჯი, (კმტსთ/ბ)	მწარმომებლურობა (ბ/სთ)	წელის ხარჯი (ბ/სთ)
GW-0.15-100-1	0.15	100	1	380	800-870	0.12	1.8
GW-0.25-160-1	0.25	160	1	380	580-650	0.25	3
GW-0.25-250-1	0.25	250	1	380	580-650	0.41	4.5
GW-0.5-250-1	0.5	250	1	380	580-650	0.42	8
GW-0.5-350-1	0.5	350	1	380	580-630	0.61	10
GW-1-500-1/0.5	1	500	1/0.5	380	580-630	0.81	12
GW-1-600-1/0.5	1	600	1/0.5	380	580-630	1.02	13
GW-1.5-750-1/0.5	1.5	750	1/0.5	660	580-630	1.3	14
GW-1.5-1000-1/0.5	1.5	1000	1/0.5	660	580-630	1.6	16

ინდუსტრიური ელექტროღუმელების ტექნიკური მახასიათებლები

მოდელი	მოცულობა (ტ)	სიმაღლე (კმბ)	სისწორე (კმც)	კვების ძაბვა (ვ)	ელ. ენერჯის ხარჯი (ფოლადზე) (კვსმ/ტ)	ფოლადის გამოდნობა 1600°C	თუჯის გამოდნობა 1450°C	
						მომსახურების (წ/სმ)	მომსახურების (წ/სმ)	
GWJ 1.5-750-0.5	1.5	750	0.5	380/660	800-870	1.15	1.27	
GWJ 1.5-1000-0.5		1000	0.5	380/660	770-835	1.58	1.65	
GWJ 2-1000-0.5	2	1000	0.5	380/660	610-660	1.56	1.62	
GWJ 2-1500-0.5		1500	0.5	660	625-750	2.58	2.85	
GWJ 3-1500-0.5	3	1500	0.5		625/750	2.43	2.75	
GWJ 3-2000-0.5		2000	0.5		650/740	3.36	3.79	
GWJ 3-2500-0.5		2500	0.5		600-660	4.35	4.90	
GWJ 5-2500-0.5	5	2500	0.5		600/660	4.20	4.74	
GWJ 5-3000-0.5		3000	0.5		590/640	5.13	5.82	
GWJ 8-3000-0.3	8	3000	0.3		750	590-640	5.04	5.71
GWJ 8-4000-0.3		4000	0.3			530-610	7.04	7.90
GWJ 10-4000-0.3	10	4000	0.3			530-590	6.83	7.76
GWJ 10-5000-0.3		5000	0.3			515/530	8.80	10.00
GWJ 10-6000-0.2		6000	0.2	500-525		10.70	12.20	
GWJ 12-5000-0.3	12	5000	0.3	530-590		8.58	9.76	
GWJ 12-6000-0.2		6000	0.2	515-530		10.45	11.90	
GWJ 15-5000-0.3	15	5000	0.3	500-525		8.40	9.53	
GWJ 15-6000-0.2		6000	0.2	490-520		10.20	11.60	
GWJ 15-8000-0.2		8000	0.2	950		450-580	13.65	15.51
GWJ 20-6000-0.2	20	6000	0.2	750	515-540	9.90	11.25	
GWJ 20-8000-0.2		8000	0.2	950	500-530	13.45	15.30	
GWJ 20-10000-0.2		10000	0.2	950	430-470	17.80	19.30	
GWJ 20-120000-0.2		12000	0.2	1150	410-440	22.00	25.00	

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha},$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}, \quad 1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha},$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha,$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha},$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2},$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}.$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta,$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta,$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}.$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2},$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2},$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2},$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}.$$

y	y'	y	y'
$G = const$	0	$\arcsin x$	$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
	1	$\arccos x$	$-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
x^n	$\mu x^{\mu-1}$	$\arctg x$	$\frac{1}{1+x^2}$
\sqrt{x}	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{arctg} x$	$-\frac{1}{1+x^2}$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\operatorname{Arsh} x$	$\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$
	$a^x \ln a$	$\operatorname{Arch} x$	$\frac{1}{\sqrt{x^2-1}}$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$\operatorname{Arcth} x$	$\frac{1}{1-x^2}$
\lg	$\frac{1}{x} \lg e \approx \frac{0.434294}{x}$		
$\log_a x$	$\frac{1}{x} \log_a e = \frac{1}{x \ln a}$		
$\sin x$	$\cos x$		
$\cos x$	$-\sin x$		
$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$		
$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$		
$\operatorname{sh} x$	$\operatorname{ch} x$		
$\operatorname{ch} x$	$\operatorname{sh} x$		
$\operatorname{th} x$	$\frac{1}{\operatorname{ch}^2 x}$		

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C' \quad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + C$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C$$

$$\int \operatorname{tg} x dx = -\ln|\cos x| + C$$

$$\int \operatorname{ctg} x dx = \ln|\sin x| + C$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x + C$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arctg} x + C$$

$$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a} + C$$

$$\int \frac{dx}{a^2-x^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{a+x}{a-x} \right| + C =$$

$$= \frac{1}{a} \operatorname{Arth} \frac{x}{a} + C$$

(рѳмѳ) $|x| < a$)

$$\int \frac{dx}{x^2-a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x-a}{x+a} \right| + C = \frac{1}{a} \operatorname{Arcth} \frac{x}{a} + C$$

(рѳмѳ) $|x| > a$)

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C$$

$$\int \operatorname{sh} x dx = \operatorname{ch} x + C$$

$$\int \operatorname{ch} x dx = \operatorname{sh} x + C$$

$$\int \operatorname{th} x dx = \ln|\operatorname{ch} x| + C$$

$$\int \operatorname{cth} x dx = \ln|\operatorname{sh} x| + C$$

$$\int \frac{dx}{\operatorname{ch}^2 x} = \operatorname{th} x + C$$

$$\int \frac{dx}{\operatorname{sh}^2 x} = -\operatorname{cth} x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2-x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2+x^2}} = \operatorname{Arsh} \frac{x}{a} + C =$$

$$= \ln|x + \sqrt{x^2+a^2}| + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-a^2}} = \operatorname{Arch} \frac{x}{a} + C =$$

$$= \ln|x + \sqrt{x^2-a^2}| + C$$

განოყენებული ლიტერატურა

1. К.Г.Трубин и Г.Н.Ойкс «Металлургия стали», М.1951г.-764стр.
2. В.Я.Явойский и др. Metallurgy стали М. «Металлургия»,1973г.-816 стр,
3. В.А.Мчедlishvili. Термодинамика и кинетика раскисления стали М. «Металлургия» 1978г.-288 стр.
4. Ф.П. Еднерал. Metallurgy стали ферросплавов М. «Металлургия» 1955г.-510 стр.
5. В.А.Ефимов. Разливка и кристаллизация стали, М. «Металлургия», 1976г.-552 стр.
6. В.А.Кудрин. Metallurgy стали М. «Металлургия», 1989г.-560 стр.
7. С.П.Вращев и др. Машиноведение М. 1956г.-463 стр.
8. И.И.Борнацкий - Краткий справочник сталеплавильщика, М. «Металлургия», 1968г.-286 стр.
9. Кривандин и др, Metallurgical печи М. «Металлургия», 1969г.-611стр,
10. ფოლადის მეტალურგია, თბილისი „მეცნიერება“, 2002წ. 790გვ. გ.ბ.ჭავჭავაძის შვილის რედაქტორობით.
11. ლომაშვილი ა.ნ. მოკლე ცნობები შავი ლითონების წარმოების შესახებ, თბილისი „მეცნიერება“, 1971წ.-482 გვ.
12. Сталеплавильное производство, I и II том, под общей редакцией А.М.Самарина, М. «Металлургия», 1964г, 1566 стр.
13. Промышленные установки электродугового нагрева их параметры /под ред.Л.Е.Никольского/ М: «Энергия,»1971г.-271 стр.
14. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей /Данция Я.Б., Жилов Г.М. - М: «Металлургия».1987г.-319стр.
15. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи - М: «Энергия»,1975г.-381стр.
16. Некрасова Н.М.,Кацевич Л.С. Евтюкова И.П. Промышленные электротермические установки - М: «Металлургия», 1961г.-414 стр.
17. Установки индукционного нагрева /под редакцией А.Е.Слухоцкого.Л: «Энергоиздат»,1981г.-325стр.
18. Квдიაшвили В.И. Защита тиристорного генератора импульсов для электроэрозийной обработки металлов //Электромеханика. 1984г. №4. стр.108-109.
19. Квдიაшвили В.И. Устройства для защиты тиристорных преобразователей частоты //Электротехническая промышленность. сер.Электротермия,1982, вып.9 (235) стр.12-13.
20. Квдიაшвили В.И.,Кашакашвили Г.Б.,Мебония С.А. К вопросу интенсификации магнитогидродинамических процессов в индукционной печи //Сталь 2001г, №12 стр.25-27.
21. Квдიაшвили В.И.,Кашакашвили Г.Б.,Мебония С.А. Рудовосстановительная шахтная печь для подготовки и плавки окискованных шихтовых материалов//«Металлург.»2001г. №11 стр.47-48.
22. Квдიაшвили В.И. Схема питания индукционной установки с тиристорным преобразователем тройной частоты //Электромеханика.1989г. стр.117-119.

23. Клдიაшвили В.И. Электрическое поле зоны распада электродов трёхфазной печи //Сообщения АНГССР.1977г. №2, стр.389-391.
24. Кашакашвили Г.Б., Клдიაшвили В.И., Мебония С.А. Система автоматического регулирования уровня жидкого металла в процессе непрерывной разливки стали//«Металлург» 2004г, №2 стр.24-25.
25. Клдიაшвили В.И., Кашакашвили Г.Б., Мебония С.А. Рудовостановительная дуговая печь для производства сплавов // «Металлург».2006г.№8 стр.61-62.
26. Клдიაшвили В.И., Кашакашвили Г.Б., Ломтатидзе Г.А., Мебония С.А. Универсальная закрытая дуговая печь периодического действия для получения стали непосредственного из брикетов железорудной моношихты // «Металлург».2006г.№11. стр.53-55.
27. Клдიაшвили В.И., Кашакашвили Г.Б., Мебония С.А. Рациональная схема электроснабжения рудовостановительных печей//«Металлург» 2008г. №4.стр.44-45.
28. Кашакашвили Г.Б., Клдიაшвили В.И., Мебония С.А., Ломтатидзе Г.А. Агрегат для выплавки элетростали из брикетов железорудной моношихты //Металлург.2009г. №4. стр.36-38.
29. Клдიაшвили В.И., Кашакашвили Г.Б., Мебония С.А. Опыт применения силового трансформатора общего назначения для питания 1,5т. дуговой печи //«Сталь»2007г, №7 стр.47-49.
30. Kldiashvili V., Adamia R., Mebonia, Sulikhia T., Universal closed Arc Furnace of Periodical Functioning for Producing Steel Direct from Briquettes of Iron Ore Monocharge // Bulletin, GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES/.2008 vol.2, no.2.
31. А.с.1173507 СССР. Инвертор с защитой /Клдიაшвили В.И. -1985г.
32. А.с.1251268 СССР. Инвертор с защитой /Клдიაшвили В.И. -1986г.
33. А.с.970556 СССР. Инвертор с защитой /Клдიაшвили В.И. -1982г.
34. А.с.582298 СССР. Руднотермическая печь /Клдიაшвили В.И., Бузнашвили Б.И., Котрикадзе В.Г. -1977г.

საქართველოს პატენტები

35. P4458. დახურული რაკალური ღუმელი /ე.კლდიაშვილი, ს.მებონია -2207წ.
36. P4240. აირგამწმენდი მრავალსეკიური ფილტრი /ა.მებონია, ე.კლდიაშვილი, ლ.ჩხეიძე, ს.მებონია-2006წ.
37. P3115. საჩამომსხმო შუალედურ ციცხეში და კრისტალიზატორში ლითონის დონის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობა/გ.ქაშაკაშვილი, ე.კლდიაშვილი, ს.მებონია-2002წ.
38. P1804. მადანთერმული ელექტროღუმელში დნობის პროცესის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობა /ე.კლდიაშვილი, გ.დგებუაძე, ბ.გოგორიშვილი, მ.ნიქაბაძე-1999წ.
39. №382 მადანთერმულ ელექტროღუმელში დნობის პროცესის რეგულირების ხერხი და მოწყობილობა /ე.კლდიაშვილი, გ.დგებუაძე და სხვ.-1994წ.
40. P2481. მადანთერმულ ელექტროღუმელში დნობის პროცესის რეგულირების ხერხი /გ.დგებუაძე, ე.კლდიაშვილი, მ.ნიქაბაძე -1999წ.
41. P3939. ფოლადის გამოდნობის ხერხი და დნობის, დაყენის, უწყვეტი ჩამოსხმისა და გლინვის ტექნოლოგიური ხაზი /ბ.ქაშაკაშვილი, გ.ქაშაკაშვილი, ე.კლდიაშვილი, ს.მებონია, ი.ქაშაკაშვილი -2005წ.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

საქართველოში მეტალურგიული წარმოების ისტორიის მოკლე მიმოხილვა ————— 3 გვ.

1. ზოგადი ტექნიკური სიდიდე და შეზარღვა

1.1.	ტემპერატურული სკალები	8
1.2.	ზოგიერთი მათემატიკური და ფიზიკური სიდიდეების მნიშვნელობები	15
1.3.	ძირითადი გეომეტრიული სხეულების ზედაპირის ფართობი და მოცულობა	19
1.4.	სითბოტექნოლოგია	25
1.5.	სითბოგამტარობის, სითბოგადაცემის და სითბოგაცემის კოეფიციენტები, მათი ფიზიკური არსი	26
1.6.	ხაზოვანი და მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი	27
1.7.	განზომილებათა ერთეულების სისტემები	27
1.8.	მყარი სხეულების ფიზიკური პარამეტრები	35
1.9.	ზოგიერთი ელემენტების ფიზიკურ-ქიმიური კონსტანტები	37
1.10.	საკაზმე და სხვა მასალების ნაყარი წონა	38

2. ფიზიკური ძიების ძირითადი კანონები

2.1.	აიროვანი მდგომარეობის ძირითადი კანონები	39
2.2.	მასების მოქმედების კანონი	43
2.3.	წონასწორობის დარღვევის პრინციპი	44
2.4.	განაწილების კანონი	46
2.5.	მარტივი და რთული ქიმიური რეაქციების სინქარე	47
2.6.	ქიმიური თვისობის შესახებ	50
2.7.	აირების ხსნადობა ლითონებსა და შენადნობებში	54

3. მეტალურგიული სათბობი

3.1.	სათბობის კლასიფიკაცია	58
3.2.	სათბობის ქიმიური შედგენილობა	58
3.3.	სათბობის წეის ანგარიში	61
3.4.	სათბობის თბონარჩიანობის გამოანგარიშება	67
3.5.	სათბობის შედგენილობაში შემაჯავლი შენაერთების დაჯანგვის რეაქციების თბური ეფექტები	71

4. ცეცხლგამძლე მასალები

4.1.	ცეცხლგამძლე მასალების კლასიფიკაცია და თვისებები	72
4.2.	ცეცხლგამძლე მასალების ფიზიკური და მუშა თვისებები	74
4.3.	ფხვიერი ცეცხლგამძლე მასალები	85
4.4.	ცეცხლგამძლე მასები (მერტელები)	87

5. ფოლადის კლასიფიკაცია და მარკების აღნიშვნა

5.1.	ფოლადის კლასიფიკაცია	90
5.2.	ფოლადის მარკების აღნიშვნა	92

6. ბამოცები ფოლადის მემანიკური თვისებების დასადგენად

6.1.	გაჯიშვაზე გამოცდა	96
6.2.	ლუნვაზე გამოცდა	98
6.3.	გამძლეობაზე (დაღლილობაზე) გამოცდა	100
6.4.	ცოცვალობაზე გამოცდა	102
6.5.	დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა	103
6.6.	სისალეზე გამოცდა	104

7. ელექტრო ფოლადის ბამოდნობის ტემპლობიის საკვანძო საპითხეპი

7.1.	გამანგაეების და მალევირებული დამატებების წონის გაანგარიშება ნადნობის მსეღლეობისას	112
7.2.	ელექტრო ინდუქციურ ღუმელებში ფოლადის გამოდნობისა და ღუმელგარეშე დამუშავების ძირითადი მოთხოვნილებები და დებულებები	114
7.3.	ელექტროფოლადსადნობი ტექნოლოგიების ოპტიმალური ვარიანტები	117

8. ტმენიკური პირობები და სახელმწიფო სტანდარტები შპმ ლითონებზე

8.1	ჩეულებრივი ხარისხის ნახშირბადოვანი ფოლადი (გოსტ 380-94-ის მიხედვით) _____	142
8.2	A500C და B500C-ის კლასების პერიოდული პროფილის შედუღებული არმატურული ნაგლინი რკინაბეტონის კონსტრუქციების არმირებისათვის (გოსტ P52544-2006-ის მიხედვით) _____	144
8.3	მცირედლენიერებული და ლევირებული მანქანათმშენებლობის ფოლადი (გოსტ 4543-71-ის მიხედვით) _____	147
8.4	სორტული ნაგლინის ძირითადი სახესხვაობები _____	151
	1. ცხლადგლინული მრგვალი ფოლადი. სორტამენტი (გოსტ 2590-88-ის მიხედვით). -	
	2. ცხლადგლინული კვადრატული ფოლადი. სორტამენტი. (გოსტ 2591-88-ის მიხედვით). _____	
	3. ორტესებრი კოჭები. სორტამენტი. (გოსტ 8239-ის მიხედვით) _____	
	4. შეუღერები. სორტამენტი (გოსტ 8240-ის მიხედვით) _____	
	5. ტოლგეერდა კუთხოვანი ფოლადი. სორტამენტი. (გოსტ 8509-ის მიხედვით) —	
	6. არატოლგეერდა კუთხოვანი ნაგლინი ფოლადი. სორტამენტი. (გოსტ 8510-ის მიხედვით) _____	

9. ელექტროტმენიკის ძირითადი ცნებები და დებულებები

9.1	ძირითადი განმარტებები _____	162
9.2	ერთოჯა დენის წრედების გაანგარიშებების ფორმულები _____	164
9.3	სიმლქაერეები ცელადი დენის წრედებში _____	164
9.4	ელექტროტექნიკის ძირითადი კანონები _____	166
9.5	სამუჯანი დენის წრედების საანგარიშო თანაფარდობები _____	167
9.6	მარტივი ელექტროწრედების ანგარიში _____	168
9.7	დენების რეზონანსი _____	169
9.8	ფოლადის გულარიანი კოჭა ცელადი დენის წრედში _____	170
9.9	გრიგლური დენები _____	171
9.10	ელექტრომაგნიტი _____	171
9.11	ტრანფორმატორის მოწუბილობა და მუშაობის პრინციპი _____	172
9.12	ნახეერადგამტარიანი დიოდები _____	173
9.13	ტირისტორები _____	174

10. წინაღობის ელემტროლუმენები

10.1	ზოგადი მიმოხილვა	175
10.2	წინაღობის ელემტროლუმენების სახეობები	176
10.3	წინაღობის ელემტროლუმენებში გამოყენებული გამახურებელი ელემენტები	178
10.4	წინაღობის ელემტროლუმენის თბური ანგარიში	180
10.5	წინაღობის ღუმელების ელემტრული ანგარიში	185

11. ინდუქციური ბახუბება

11.1	ლითონების ინდუქციური გახურების ფიზიკური საფუძვლები	192
11.2	ინდუქციური სადნობი ღუმელები	198
11.3	ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელები	198
11.4	ინდუქციური გახურების დანადგარების კეების წყაროები	201
11.5	რექტიული სიმძლავრის კომპენსაცია	205
11.6	ინდუქციური ტიგელიანი ღუმელების პარამეტრების ანგარიში	206
11.7	მაგნიტოიზოლაციური პროცესების ინტენსიფიკაცია ინდუქციურ ელემტროლუმენში	218

12. ელემტროტბალური ღუმელები

12.1	რკალური ღუმელების კლასიფიკაცია	223
12.2	ელემტრული რკალი	224
12.3	რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები	226
12.4	რკინამადნური მონოკაჟის ბრიკეტებიდან ელემტროფოლადის გამოსადნობი აგრეგატი	233
12.5	მადანადგენითი ელემტროლუმენები	237
12.6	მადანადგენი რკალური ელემტროლუმენი სილიკომანგანუმის წარმოებისთვის	241
12.7	მადანადგენი შახტური ღუმელი ნატროვანი საკაჟე მასალების მოზადებისა და გამოსადნობისთვის	244
12.8	მუდმივი დენის მადანადგენის რკალური ღუმელი ნახაშირბადოვანი ფეროშენადნუმის წარმოებისთვის	247
12.9	ფეროშენადნობების რაფინირების ელემტროლუმენები	250
12.10	მოკლე ქსელების პრინციპიალური სქემები	254
12.11	ზოგიერთი ფეროშენადნობები და სხედასხვა პროდუქტების გამოსადნობის ტექნოლოგიის მაჩვენებლები მადანადგენ რკალურ ღუმელებში	257
12.12	ელემტრორკალური ღუმელის აირგამწმენდი სისტემა	261

13. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმა

13.1 ზოგადი მიმოხილვა	267
13.2 ფოლადისა და თუჯის ჩამოსხმის პროცესში ლითონის დონის რეგულირების ავტომატური სისტემის შემუშავება	271
დანართები	275
გამოყენებული ლიტერატურა	294

იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: ე. ჩაფიძე და ნ. ტაბიძე

გადაეცა წარმოებას 07.10.2009. ხელმოწერილია დასაბუჭდად 15.10.2009. ქალაქის
ზომა 60X84 1/8. გარნიტურა AcadNusx. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 19. ტირაჟი 300 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”,
თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent