

მისეილ ოქროსაშვილი, ლედი ბერეუიანი

თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის
დეფექტები და მათი კონტროლის
მეთოდები

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მისიელ ოქროსაშვილი, ლედი ბერეუიანი

თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის
დეფექტები და მათი კონტროლის მეთოდები



დამტკიცებულია სალექციო კურსად
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 28.02.2018, ოქმი №1

თბილისი
2018

სალექციო კურსში „თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის დეფექტები და მათი კონტროლის მეთოდები“, ზოგადად არის გაშუქებული ლითონების საკონსტრუქციო სიმტკიცე, მისი მახასიათებლები და თვისებათა გაუმჯობესების მეთოდები; საქსპლუატაციო გარემოს, აგრეთვე, თერმული და ქიმიურ-თერმული დამუშავების გავლენა ლითონის თვისებებზე. ყურადღება გამახვილებულია თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის წუნის სახეებზე, მათი წარმოქმნის მიზეზებზე, გამოსწორებისა და აცილების გზებზე. განხილულია ნაკეთობათა მექანიკური თვისებების შეფასების და დიაგნოსტიკის სტრუქტურული და ფიზიკური მეთოდები.

სალექციო კურსი განკუთვნილია მასალათმცოდნეობის საგანმანათლებლო პროგრამის ბაკალავრიატის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტის უფროსი, გეოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ნოდარ ფოფორაძე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი ირაკლი ქაშაკაშვილი

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018

ISBN 978-9941-28-033-7 (PDF)

<http://www.gtu.ge>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

წიგნში მოყვანილი ფაქტების სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი/ავტორები.

ავტორის/ავტორთა პოზიციას შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიციას.

წინასიტყვაობა

მანქანათმშენებლობის განვითარებაში უმნიშვნელოვანესი როლი ენიჭება ლითონებისა და შენადნობების თერმული დამუშავების პროცესებს, რადგან იგი წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად, ყველაზე აუცილებელ ოპერაციას ლითონების საერთო დამუშავების ციკლში. სწორედ თერმული დამუშავების ოპერაციების სწორად შერჩევასა და შესრულებაზეა დამოკიდებული მანქანათა ნაწილებისა და მექანიზმების, იარაღებისა თუ, პრაქტიკულად, ნებისმიერი ლითონური პროდუქციის ხარისხი და საბოლოო საექსპლუატაციო (მექანიკური, ფიზიკურ-ქიმიური) მახასიათებლები. თერმული დამუშავების შედეგად ლითონებისა და შენადნობების თვისებები შეიძლება საკმაოდ ფართო დიაპაზონში შეიცვალოს. მექანიკური თვისებების მნიშვნელოვანი ამაღლება, საწყისი მასალის მდგომარეობასთან შედარებით, საშუალებას იძლევა გაიზარდოს დასაშვები ძაბვები, შემცირდეს მანქანებისა და მექანიზმების გაბარიტები და წონა, რაც მათ დასამზადებლად საჭირო ლითონური მასალის მნიშვნელოვან ეკონომიას განაპირობებს.

აღნიშნული ამოცანების გადასაწყვეტად ტექნოლოგს მოეთხოვება არა მარტო ლითონების თერმული დამუშავების თეორიისა და პრაქტიკის ღრმა ცოდნა, არამედ უნარ-ჩვევებიც; დამოუკიდებლად შეარჩიოს და შეიმუშაოს სხვადასხვა დეტალისა და ინსტრუმენტის დამუშავებისათვის ეფექტური ტექნოლოგიური პროცესები, აღნიშნულ სფეროში უახლესი მიღწევების გამოყენებით; შეარჩიოს ტექნოლოგიური პროცესებისა და ხარისხის კონტროლის ყველაზე რაციონალური მეთოდი; დაადგინოს წუნის გამომწვევი სავარაუდო მიზეზი, მათი აცილებისა და გამოსწორების მეთოდები; გამოიყენოს ყველა ტექნიკური შესაძლებლობა შრომის სწორი ორგანიზაციისათვის. ამ საკითხების გონებამახვილურად გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს მანქანათა ნაწილებისა და კვანძების ხარისხის ამაღლებას, მათი საექსპლუატაციო ხანმედგობის გაზრდას და წუნის შემცირებას, რაც პროდუქციის თვითღირებულებაზე მნიშვნელოვან დადებით ზემოქმედებას მოახდენს.

ლექციების კურსის მიზანია სტუდენტს გააცნოს თერმულად დამუშავების პროცესში წარმოქმნილი წუნის სახეები, მათი გამომწვევი მიზეზები, კონტროლისა და წუნის აცილების მეთოდები, რაც საწარმოო ციკლის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს.

I თავი. ლითონების კონსტრუქციული სიმტკიცე

1. საკონსტრუქციო მასალების ზოგადი მახასიათებლები

საკონსტრუქციოს უწოდებენ ისეთ მასალებს, რომლებიც მანქანათა ნაწილების, ხელსაწყოებისა და საინჟინრო კონსტრუქციების დასამზადებლად არის განკუთვნილი. მანქანათა ნაწილები ფორმის, ზომებისა და ექსპლუატაციის პირობების მრავალფეროვნებით ხასიათდება. მათ მუშაობა უწევთ მაღალ ტემპერატურაზე, სტატიკური, ციკლური და დარტყმითი დატვირთვის პირობებში, აგრეთვე სხვადასხვა გარემოსთან კონტაქტში. სწორედ ეს ფაქტორები განსაზღვრავს საკონსტრუქციო მასალებისადმი მოთხოვნებს, რომელთაგან ძირითადია საექსპლუატაციო, ტექნოლოგიური და ეკონომიკური მახასიათებლები.

პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა საექსპლუატაციო მოთხოვნებს ენიჭება იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იყოს კონკრეტული ხელსაწყოებისა და მანქანების საიმედო მუშაობის უნარიანობა, საკონსტრუქციო მასალა უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი კონსტრუქციული სიმტკიცით.

კონსტრუქციული სიმტკიცე არის მასალის მექანიკურ თვისებათა კომპლექსი, რომელიც გარკვეულ კორელაციაშია კონკრეტული ნაკეთობის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და უზრუნველყოფს მასალის საიმედო და ხანგრძლივ მუშაობას. ნაკეთობის კონსტრუქციულ სიმტკიცეს შერჩეული მასალის ხარისხი, დეტალის კონსტრუქციის თავისებურებანი, დამზადების ტექნოლოგია და საექსპლუატაციო პირობები განსაზღვრავს.

ამგვარად, კონკრეტული ნაკეთობის დასამზადებლად განკუთვნილი მასალის მექანიკური თვისებების მახასიათებლები დამოკიდებულია არა მხოლოდ ძალოვან ფაქტორებზე, არამედ საექსპლუატაციო გარემოსა და ტემპერატურის ზემოქმედებაზეც.

საექსპლუატაციო გარემო – თხევადი, აირადი, იონიზირებული, რადიაციული, რომელშიც მასალა მუშაობს, არსებით და უპირატესად უარყოფით გავლენას ახდენს მის მექანიკურ თვისებებზე, რაც ამცირებს დეტალის მუშაობისუნარიანობას. კერძოდ, სამუშაო გარემომ შეიძლება გამოიწვიოს ნაკეთობის ზედაპირის დაზიანება, კოროზიული დაბზარვის, დაჟანგვისა და ხენჯის წარმოქმნის გამო; არასასურველი მიმართულებით ზედაპირული ფენების ქიმიური შედგენილობის შეცვლა სხვადასხვა ელემენტით (მაგალითად, წყალბადით), გაჯერების გზით, რაც ლითონის გამყიფების მიზეზი შეიძლება გახდეს. გარდა ამისა, შესაძლებელია მასალა გაიჯირჯვოს და მოხდეს მისი ადგილობრივი რღვევა იონიზაციური და რადიაციუ-

ლი დასხივების გზით.

იმისათვის, რომ მასალამ წინააღმდეგობა გაუწიოს მუშა გარემოს ზემოქმედებას, მას უნდა გააჩნდეს არა მხოლოდ მექანიკური, არამედ გარკვეული ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლებიც, როგორიცაა, მაგალითად: ხენჯმდეგობა, რადიაციული მდეგობა, უნარი იმუშაოს გაიშვიათების (ვაკუუმის) პირობებში და ა.შ.

თანამედროვე მასალების მუშაობის ტემპერატურული დიაპაზონი საკმაოდ ფართოა და -269°C -დან 1000°C -მდე ინტერვალს მოიცავს, ხოლო ზოგიერთ ექსტრემალურ სიტუაციაში ზედა ტემპერატურული ზღვარი 2500°C -მდეც კი აღწევს. მაღალ ტემპერატურულ პირობებში მუშაობის უნარიანობისათვის მასალას მოეთხოვება მხურვალმტკიცობა, ხოლო დაბალი ტემპერატურის პირობებში – გამძლეობა ცივმეტეხობისადმი.

ზოგ შემთხვევაში მთავარია, აგრეთვე, გარკვეული მაგნიტური, ელექტრული და თბური თვისებები ან ზომების სტაბილურობა, განსაკუთრებით მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოებში.

მასალის ტექნოლოგიური თვისებები (ტექნოლოგიურობა) უნდა უზრუნველყოფდეს კონსტრუქციებისა და დეტალების დამზადებას, მცირე დანახარჯებით, მაღალი მწარმოებლობის პირობებში. მასალის ტექნოლოგიურობას ახასიათებენ მისი დამუშავების შესაძლო მეთოდებით – ჭრით და წნევით დამუშავებადობით, შედუღებადობით, ჩამოსხმის უნარით და ა.შ. ტექნოლოგიურობას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა, რადგან იგი დამზადებული დეტალის მწარმოებლობასა და ხარისხს განაპირობებს.

ძირითადი ეკონომიკური მოთხოვნებია მასალის დაბალი ღირებულება. იგი ხელმისაწვდომი უნდა იყოს მომხმარებლისათვის. აქედან გამომდინარე, ფოლადები და სხვა შენადნობები უნდა შეიცავდნენ მალეგირებელ ელემენტებს მცირე რაოდენობით. ნაკეთობის დასამზადებლად ლეგირებული ფოლადის შერჩევა დასაბუთებული უნდა იყოს საექსპლუატაციო მახასიათებლების მოთხოვნების გათვალისწინებით.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე იმ დასკვნამდე მივდივართ, რომ ნებისმიერი საკონსტრუქციო მასალა თვისებათა გარკვეულ კომპლექსს უნდა აკმაყოფილებდეს.

2. ლითონის კონსტრუქციული სიმტკიცის მახასიათებლები

ხშირად, ნაკეთობის მუშაობის უნარიანობის კარგვა (მტყუნება) იმ მასალის ბუნებასთან არის დაკავშირებული, რომლისგანაც აღნიშნული დეტალია დამზადებული. მიზეზი შეიძლება იყოს დეტალის დეფორმაცია, ცვეთა ან კოროზია, რაც ნაკეთობის ზედაპირულ ფენებში მასალის ხარისხის შეცვლას და, დროზე ადრე, მისი მწყობრიდან გამოსვლას იწვევს. ამდენად, რეალურ პირობებში ნაკეთობის მტყუნებას კომპლექსურად მოქმედი არაერთი ფაქტორი განსაზღვრავს. ნაკეთობის მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა ყველა იმ თავისებურების გათვალისწინებით არის შესაძლებელი, რომელშიც დეტალს უხდება მუშაობა და მის კონსტრუქციულ სიმტკიცეს განაპირობებს.

ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს კონსტრუქციულ სიმტკიცეზე, შემდეგია:

- ა – დეტალის კონსტრუქციული თავისებურებანი (ფორმა და ზომები);
- ბ – მასალის რღვევის მექანიზმი;
- გ – დეტალის ზედაპირული ფენების მდგომარეობა;
- დ – ზედაპირულ ფენებში მიმდინარე პროცესების ხასიათი.

მასალის სიმტკიცის კრიტერიუმებს ირჩევენ მისი მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე. კრიტერიუმი, სტატიკური დატვირთვის შემთხვევაში, როდესაც დეტალი მარტივი ფორმისაა და ისეთ პირობებში მუშაობს, რომელიც ახლოს დგას სტანდარტული ნიმუშის გამოცდის პირობებთან, არის დროებითი წინააღმდეგობა გაგლეჯაზე $\sigma_{გაგ}$ ან დენადობის ზღვარი $\sigma_{0,2}$ ($\sigma_{დენ}$), რომელიც ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობას დეფორმაციისადმი. ვინაიდან მუშაობის დროს დეტალების უმეტესობაში დეფორმაცია დაუშვებელია, მათ ამტანიანობას, როგორც წესი, დენადობის ზღვრით საზღვრავენ. სტატიკური სიმტკიცის მიახლოებითი შეფასებისათვის მასალის სისაღის მნიშვნელობით სარგებლობენ:

$$\sigma_{გაგ} = HB/3 \quad (1)$$

თუ სამუშაო პირობები არაადეკვატურია ნიმუშის გამოცდის პირობებთან შედარებით, დეტალის მუშა კვეთის გამოთვლისას მარაგის კოეფიციენტს ითვალისწინებენ, ანუ შერჩეული მასალის სიმტკიცის მახასიათებლებს, ბევრად უფრო შემცირებულს იღებენ ცნობარში წარმოდგენილ მონაცემებთან შედარებით. ამდენად, აუცილებელი საკონსტრუქციო სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად საგრძნობლად იზრდება დეტალის ზომები, რაც საბოლოო ჯამში კონსტრუქციის მასისა და ლითონის

ხარჯის გაზრდას იწვევს.

მანქანათა ნაწილების უმრავლესობა ხანგრძლივ ციკლურ დატვირთვებს განიცდის. მისი კრიტერიუმია გამძლეობის (ამტანიანობის) ზღვარი σ_R , რომლის მიხედვითაც დასაშვებ სამუშაო ძაბვებს ითვლიან. რაც უფრო მაღალია მასალის სიმტკიცე, მით უფრო მეტია დასაშვები ძაბვები და მცირეა დეტალის მასა და ზომები.

სიმტკიცის მახასიათებლების დონის და, როგორც შედეგი, მუშა ძაბვების გაზრდას თან სდევს დრეკადი დეფორმაციის ამადლება:

$$\epsilon_{დრ} = \sigma/E \quad (2),$$

სადაც E არის დრეკადობის მოდული.

როგორც წარმოდგენილი ტოლობიდან გამომდინარეობს, დრეკადი დეფორმაციის შეზღუდვისათვის მასალა უნდა ხასიათდებოდეს დრეკადობის მაღალი მოდულით. სწორედ სიხისტის კრიტერიუმი და არა სიმტკიცე განსაზღვრავს, მაგალითად, რედუქტორის კორპუსის და სხვა ანალოგიური დეტალების მუშაობის პირობებს, რომლებსაც ზუსტი ზომებისა და ფორმის შენარჩუნება მოეთხოვება.

არსებობს საწინააღმდეგო მოთხოვნებიც. ზამბარების, მემბრანებისა და სხვა მგრძნობიარე დრეკადი ელემენტებისათვის უმთავრესია მნიშვნელოვანი დრეკადი გადაადგილების უზრუნველყოფა. რადგან $\epsilon_{დრ}^{max} = \sigma_{დრ}/E$, ამ შემთხვევაში მასალას დრეკადობის მაღალი ზღვარი და დრეკადობის დაბალი მოდული მოეთხოვება.

ავიაციასა და სარაკეტო ტექნიკაში გამოყენებული მასალების უმთავრესი მახასიათებელია ეფექტურობა მასის მიხედვით. იგი ფასდება კუთრი მახასიათებლებით:

ა – კუთრი სიმტკიცით $\sigma_{აკს}/\rho g$, სადაც ρ არის მასალის სიმკვრივე; g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;

ბ – კუთრი სიხისტით – $E/\rho g$.

ამგვარად, საკონსტრუქციო სიმტკიცის კრიტერიუმებად უნდა შეირჩეს ის მახასიათებლები, რომლებიც ყველაზე სრულყოფილად ასახავენ მასალის სიმტკიცეს ექსპლუატაციის პირობებში.

ხარისხოვანი კონსტრუქციების შესაქმნელად, მასალის ეკონომიურად გამოყენების პირობის უზრუნველყოფით, აუცილებელია კიდევ ორი კრიტერიუმის გათვალისწინება. ესენია საიმედოობა და ხანგამძლეობა.

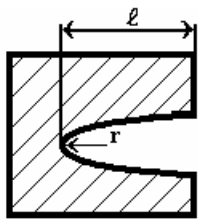
საიმედოობა არის მასალის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს მყიფე რღვევის განვითარებას. საიმედოობას განსაზღვრავს ცივტეხადობის ტემპერატურული ზღურბ-

ლი და წინააღმდეგობა ბზარის გავრცელებისადმი.

მეიფე რღვევა განაპირობებს დეტალის უცაბედ მტყუნებას ექსპლუატაციის დროს. იგი ყველაზე სახიფათოდ ითვლება, რადგან ტეხილი დიდი სიჩქარით ვითარდება გაანგარიშებულზე უფრო დაბალი ძაბვის პირობებში, რაც ავარიულ შედეგს იწვევს.

მეიფე რღვევის ასაცილებლად საკონსტრუქციო მასალები საკმაოდ პლასტიკურობით (δ , ψ) და დარტყმითი სიბლანტით (KCU) უნდა ხასიათდებოდეს. მაგრამ საიმედოობის ეს პარამეტრები, რომლებიც მიღებულია მცირე ზომის ლაბორატორიული ნიმუშების გამოცდით, დეტალის სამუშაო პირობების გათვალისწინების გარეშე, მხოლოდ ნაკლებადმტკიცე, რბილი მასალებისათვის არის დამაჯერებელი. ტექნიკაში კი სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს მაღალმტკიცე და, როგორც წესი, ნაკლებად პლასტიკური მასალები მეიფე რღვევისადმი გაზრდილი მიდრეკილებით. ნაკეთობის უცაბედი გადატეხის ალბათობის შესამცირებლად მასალის ბზარმდეგობის გათვალისწინებაა აუცილებელი. იგი წარმოადგენს კიდევ ერთ პარამეტრს, რომელიც ახასიათებს მასალის უნარს, დაამუხრუჭოს ბზარის განვითარება.

ბზარმდეგობის რაოდენობრივი შეფასება რღვევის წრფივ მექანიზმზეა დაფუძნებული, რომლის თანახმადაც მაღალმტკიცე მასალებში რღვევის კერას ტექნოლოგიური ან ექსპლუატაციური წარმოშობის მცირე ბზარები წარმოადგენენ. ისინი შეიძლება შედუღების ან თერმული დამუშავების დროს წარმოიქმნას. ასეთივე როლს თამაშობს ბზარისებრი დეფექტები – არალითონური ჩანართები, დისლოკაციების თავმოყრის ადგილები და ა.შ. ბზარი ძაბვების კონცენტრატორს წარმოადგენს, რომლის წვეროში ადგილობრივი (ლოკალური) დაძაბულობა რამდენჯერმე შეიძლება აღემატებოდეს საშუალო გამოთვლილ მნიშვნელობას.



l სიგრძისა და r რადიუსის მქონე ბზარის (სურ. №.1) წვეროში დაძაბულობა

$$\sigma_y^{\max} = \sigma_{საშ} 2 \sqrt{\frac{l}{r}} \quad (3)$$

სურ. №1. წვეროსთან r რადიუსის მქონე ბზარის წარმოქმნის სქემა

განტოლებიდან გამომდინარე, დაძაბულობა მით უფრო მეტია, რაც უფრო გრძელია ბზარი, ხოლო წვერო – მახვილი.

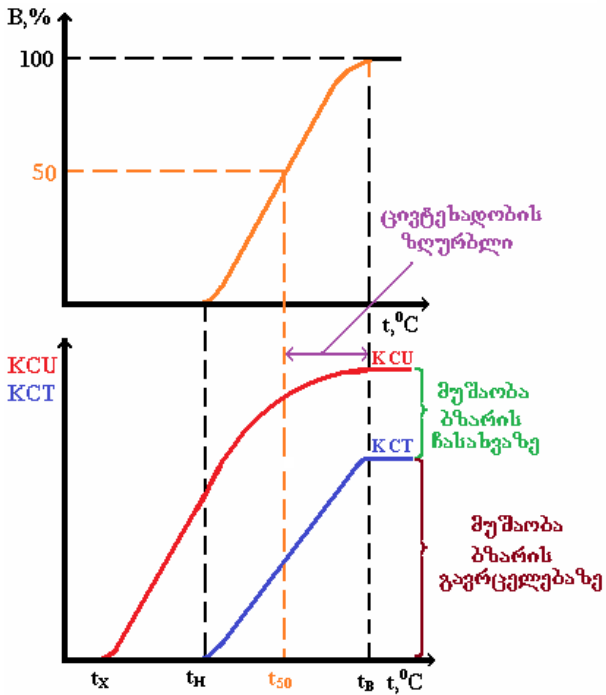
პლასტიკური მასალებისათვის ასეთი სახის დეფექტების წარმოქმნის მცირე საშიშროება არსებობს. დისლოკაციის გადაადგილების შედეგად, ბზარის წვეროში, ადგილობრივი პლასტიკური დეფორმა-

ცია მიმდინარეობს, რომელიც ლოკალური ძაბვის რელაქსაციას და მათ გათანაბრებას განაპირობებს. ამასთანავე, წვეროში დისლოკაციისა და ვაკანსიების სიმკვრივის ზრდას თან სდევს მისი გაბლაგვება და დეფექტი წყვეტს ძაბვების მკვეთრი კონცენტრატორების როლის შესრულებას. მყიფე მასალები კი პირიქით, მეტად მგრძობიარეა ჩანაჭრების (ბზარების) მიმართ. იმის გამო, რომ დისლოკაციები ბლოკირებულია და პლასტიკური დეფორმაციის განვითარება შეუძლებელი, ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის გაზრდით ლოკალური ძაბვები σ_y^{\max} იმდენად მატულობს, რომ ირღვევა ატომთა შორის კავშირი და ბზარი ვითარდება. ბზარის ზრდა კი არ მუხრუჭდება, არამედ პირიქით, ჩქარდება. რაღაც კრიტიკული სიდიდის მიღწევის შემდეგ ხდება ბზარის თავისთავადი, ზეავისებრი ზრდა, რაც ნაკეთობის მყიფე რღვევას იწვევს.

რადგან მაღალმტკიცე საკონსტრუქციო მასალები გარკვეული პლასტიკურობით ხასიათდება, მათთვის რეალურ საშიშროებას არა ნებისმიერი ზომის, არამედ მხოლოდ კრიტიკული სიგრძის ($l_{კრ}$) ბზარი წარმოადგენს. ბზარის გაზრდა $l_{კრ}$ სიდიდემდე, მასში ადგილობრივი პლასტიკური დეფორმაციის წყალობით მუხრუჭდება. მაგრამ, მუშა ძაბვებისა და დეფექტების სიგრძის გარკვეული თანაფარდობის შემდეგ ბზარის წონასწორული მდგომარეობა ირღვევა და იწყება მასალის თავისთავადი რღვევა.

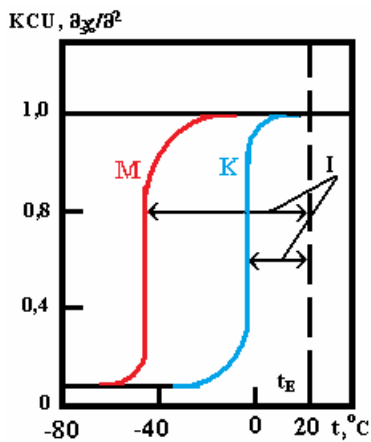
ცივტეხადობის ზღურბლი ახასიათებს ტემპერატურის გავლენას მასალის მიდრეკილებაზე მყიფე რღვევისადმი. მას განსაზღვრავენ ჩანაჭერის მქონე ნიმუშის დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდით დაბალ ტემპერატურაზე. დარტყმითი დატვირთვის, ჩანაჭერისა და დაბალი ტემპერატურის ასეთი ურთიერთშეხამება ის ძირითადი ფაქტორებია, რომლებითაც შეიძლება შეფასდეს მასალის ქცევა ექსპლუატაციის ექსტრემალურ პირობებში.

ბლანტი მდგომარეობიდან მყიფეში გადასვლას თან სდევს ტეხილის აგებულების შეცვლა და დარტყმითი სიბლანტის მკვეთრი შემცირება (სურ. №2), რაც (t_B-t_X) ტემპერატურულ ინტერვალში შეინიშნება. ამ ტემპერატურებს ბლანტი და მყიფე რღვევის **ზღვრულ ტემპერატურებს** უწოდებენ. ტეხილის აგებულება ბოჭკოვანიდან (ბლანტი რღვევა, $t \geq t_B$) კრისტალურამდე (მყიფე რღვევა, $t \leq t_B$) იცვლება. ცივტეხადობის ზღურბლს ტემპერატურული ინტერვალით (t_B-t_H) ან ერთი ტემპერატურით, t_{50} აღნიშნავენ, რა დროსაც ნიმუშის ტეხილი შედგება 50% ბოჭკოვანი შემდგენისაგან, ხოლო მუშაობა ბზარის გავრცელებაზე (KCT) განახევრებულია.



სურ. №2. გამოცდის ტემპერატურის გააღენა ტექსილში ბლანტი შემდგენის შემცველობაზე (B) და დარტყმით სიბლანტეზე

ირია, მყიფე მდგომარეობაში გადასვლა კი წვრილმარცვლოვან ფოლადში (M) -40°C -ზე იწყება, მსხვილმარცვლოვან ფოლადში (K) კი -0°C -ზე. საექსპლუატაციო ტემპერატურასთან (t_E) შედარებისას დგინდება, რომ წვრილმარცვლოვანი ფოლადისათვის სიბლანტის ტემპერატურული მარაგი 60°C შეადგენს, ხოლო მსხვილმარცვლოვანი ფოლადისთვის -20°C . აქედან გამომდინარე, M ფოლადი უფრო საიმედოა, რადგან ექსპლუატაციის პირობებში ტემპერატურის შესაძლო შემცირება, მასში ბზარების არსებობისა და დარტყმითი დატვირთვის შემთხვევაში, მყიფე რღვევის განვითარებას არ გამოიწვევს.



სურ. №3. ფოლადის ($C=0,22\%$) დარტყმითი სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.
M – წვრილმარცვლოვანი,
K – მსხვილმარცვლოვანი,
I – სიბლანტის ტემპერატურული მარაგი

ხანგამძლეობა არის ლითონის თვისება, წინააღმდეგობა გაუწიოს თანდათანობით რღვევას, რაც უზრუნველყოფს დეტალის მუშაობის უნარიანობას დადგე-

ნილი დროის განმავლობაში (რესურსი). მუშაობის უნარიანობის კარგვის (თანდათანობითი მტყუნების) მიზეზი სხვადასხვა შეიძლება იყოს. მაგალითად, დაღლილობის პროცესების განვითარება, ცვეთა, ცოცვალობა, კოროზია, რადიაციული გაჯირჯევა და ა.შ. ეს პროცესები მასალაში შეუქცევადი დაზიანების დაგროვებას და ნაკეთობის რღვევას განაპირობებს. მასალის ხანგამძლეობის გაზრდა ნიშნავს რღვევის სიჩქარის შემცირებას საჭირო მნიშვნელობამდე.

მანქანათა ნაწილების უმრავლესობისათვის (80%-ზე მეტი) ხანგამძლეობა განისაზღვრება მასალის წინააღმდეგობით, დაღლილობითი რღვევისადმი (ციკლური ხანგამძლეობით). ამიტომ, მუშაობის უნარიანობის კარგვის აღნიშნული მიზეზები დაწვრილებით გაანალიზებას მოითხოვს.

ციკლური დატვირთვა ახასიათებს მასალის მუშაობის უნარიანობას მრავალჯერადი, განმეორებითი ციკლური დატვირთვების პირობებში. დატვირთვის ციკლი არის ძაბვის ცვალებადობა მის ორ ზღვრულ მნიშვნელობას შორის (σ_{\max} და σ_{\min}) რაღაც T პერიოდის განმავლობაში. იგი ხასიათდება ციკლის ასიმეტრიულობის კოეფიციენტით $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$; ძაბვის ამპლიტუდით $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$; ციკლის საშუალო ძაბვით $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$.

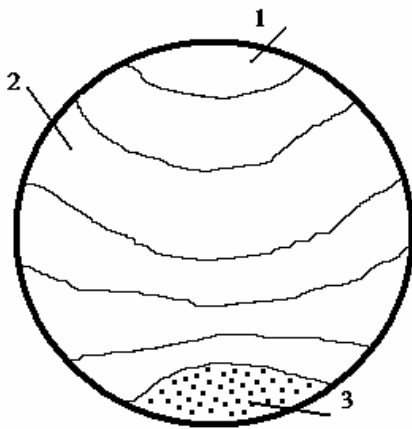
ანსხვავებენ სიმეტრიულ ($R = -1$) და არასიმეტრიულ ციკლს, როდესაც R სიდიდე ფართო ზღვრებში იცვლება. ციკლის სახესხვაობები მანქანათა ნაწილის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმს განაპირობებს.

ციკლური დატვირთვების ზემოქმედებით დაზიანების თანდათანობით დაგროვებას, რომელიც მასალაში თვისებების შეცვლას, ბზარის წარმოქმნას, მის განვითარებას და ნაკეთობის რღვევას იწვევს, დაღლილობას, ხოლო მასალის თვისებას, გაუძლოს დაღლილობას – გამძლეობას, ამტანობას უწოდებენ.

დაღლილობით გამოწვეული რღვევა სტატიკურთან შედარებით, რიგი თავისებურებებით ხასიათდება:

- იგი სტატიკურ დატვირთვისთან შედარებით უფრო დაბალი ძაბვების (დენადობის ზღვრისა და დროებითი წინააღმდეგობის) პირობებში მიმდინარეობს.
- რღვევა იწყება ზედაპირზე (ან მასთან ახლოს მიმდებარე შრეებში) ლოკალურად, ძაბვების კონცენტრაციის ადგილებში. ძაბვების ლოკალურ კონცენტრაციას ქმნის ციკლური დატვირთვებით ან გარემოს ზეგავლენით გამოწვეული დაზიანება, ან ჩანაჭრები დამუშავების კვალის სახით.
- რღვევა რამდენიმე სტადიად მიმდინარეობს – მასალაში დაზიანების დაგ-

როგვებით, დაღლილობითი ბზარის წარმოქმნით, დაზიანების განვითარებითა და რამდენიმე მათგანის შერწყმით ერთ მაგისტრალურ ბზარად სწრაფი დამამთავრებელი რღვევით;



სურ. №4. დაღლილობითი ტეხილის სქემა

- 1 – ბზარის ჩასახვის კერა,
- 2 – დაღლილობითი ზონა,
- 3 – რღვევის დამთავრების ზონა.

ტეხილს დამახასიათებელი აგებულება გააჩნია, რომელიც დაღლილობის პროცესის თანმიმდევრობას ასახავს. ტეხილი შედგება რღვევის კერისგან (მიკრობზარის წარმოქმნის უბანი 1, სურ. №4) და ორი, დაღლილობისა (2) და რღვევის დამთავრების (3) ზონებისაგან. რღვევის კერა ზედაპირს ესაზღვრება და მცირე ზომებითა და გლუვი ზედაპირით ხასიათდება. დაღლილობით ზონაში მოჩანს დამახასიათებელი ნაღარები, რომლებსაც რგოლების კონფიგურაცია აქვს,

რაც დაღლილობითი ბზარის ნახტომისებრ წაწვევაზე მიუთითებს. დაღლილობითი ზონა ვითარდება მანამ, სანამ სულ უფრო შემცირებულ მუშა კვეთში ძაბვების სიდიდე იმ ზომამდე არ გაიზრდება, რომ ნაკეთობის უცაბედი რღვევა გამოიწვიოს.

ციკლური ხანგამძლეობა და სიმტკიცე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რომელთაგან გადამწყვეტ მნიშვნელობას სტრუქტურა, ზედაპირული შრის დაძაბული მდგომარეობა, ზედაპირის ხარისხი და კოროზიული არის ბუნება ღებულობს. ზედაპირზე მკუმშავი ძაბვების არსებობა აძნელებს დაღლილობითი ბზარის წარმოქმნასა და მის განვითარებას, რაც ზრდის გამძლეობის ზღვარს. მეკეთ უარყოფით გავლენას ახდენს გამჭიმავი ძაბვები და ძაბვების კონცენტრატორები:

1. კონსტრუქციული – ნაკეთობის კვეთის ფორმის შეცვლა: ჰალტელები, ნახვრეტები, ღარები და ა.შ.
2. ტექნოლოგიური – ზედაპირის მიკროუსწორმასწორობა, ნაკაწრები და მექანიკური დამუშავების სხვა კვალი.
3. მეტალურგიული – შიგა დეფექტები: ფორები, ნიჟარები, არალითონური ჩანართები (ოქსიდები, სულფიდები, სილიკატები და ა.შ).

ნაკეთობის ხანგამძლეობა მცირდება დეტალის ზომების გაზრდით (მასშტაბური ფაქტორი). პროცესს აჩქარებს ზედაპირის სხვადასხვა დაზიანება – ჩაღრმავებები, ბზარების ბადისა და ძაბვების სხვა კონცენტრატორების არსებობა.

ცვეთამედევობა არის მასალის თვისება, ხახუნის გარკვეულ პირობებში წინააღმდეგობა გაუწიოს ზედაპირის ცვეთას. ცვეთადობა გულისხმობს ნაკეთობის ზედაპირის თანდათანობით რღვევას, ხახუნის ძალის ზემოქმედებით მისი ნაწილაკების მოცილების გზით. შედეგს **ცვეთას** უწოდებენ. ცვეთას განსაზღვრავენ ზომების ცვლილებით (ხაზობრივი ცვეთა) და მოცულობის ან მასის შემცირებით (მოცულობითი ან მასური ცვეთა).

მასალის ცვეთამედევობას აფასებენ ცვეთის სიჩქარის (V_h) შებრუნებული სიდიდით ან ინტენსიურობით I_k . ცვეთის სიჩქარე ან ინტენსიურობა წარმოადგენს ცვეთის სიდიდის შეფასებას შესაბამის დროსთან, ან ხახუნის მანძილთან. რაც უფრო მცირეა ცვეთის სიჩქარე (ანუ ხაზობრივი ცვეთის სიდიდე Δh), მით უფრო მეტია კვანძის მუშაობის რესურსი t : $t = \Delta h / V_h$. ბუნებრივია, ცვეთის სიჩქარეს დროის ფაქტორი განსაზღვრავს.

ცვეთის სამ პერიოდს ანსხვავებენ:

I – საწყისს, ანუ მისახმარისების (მიმუშავების) პერიოდს, რომლის დროსაც ცვეთა მიმდინარეობს მუდმივად შემცირებული სიჩქარით;

II – დამყარებულს, ნორმალური ცვეთის პერიოდს, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ცვეთა მცირე და მუდმივი სიჩქარით;

III – კატასტროფული ცვეთის პერიოდს.

ცვეთამედევობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ცვეთის კატასტროფული პერიოდის აცილება, აგრეთვე, საწყისი და დამყარებული ცვეთის სიჩქარეების შემცირება. ამ ამოცანის გადაჭრა შესაძლებელია მოხახუნე წყვილის მასალების რაციონალურად შერჩევითა და დამუშავების ხერხის სწორი განსაზღვრით. მასალის შერჩევის დროს აუცილებელია იმის გათვალისწინება, რომ ცვეთამედევობის კრიტერიუმები არა მარტო მასალის ზედაპირული ფენების თვისებებზე და მდგომარეობაზეა დამოკიდებული, არამედ მისი მუშაობის პირობებზეც. ეს უკანასკნელი კი იმდენად მრავალფეროვანია, რომ ვერ მოიძებნება უნივერსალური ცვეთამედევი მასალა – ერთ პირობებში მდგრადი, სხვა შემთხვევაში შეიძლება კატასტროფულად სწრაფად დაირღვეს. ამიტომ, ყველა კერძო შემთხვევისათვის როგორც წესი, მასალის ცვეთამედევობას ექსპერიმენტულად განსაზღვრავენ.

ისეთი მასალების ხანგამძლეობას, რომლებიც მაღალ ტემპერატურებზე (ენერგეტიკული დანადგარის დეტალები, რეაქტიული ძრავები და ა.შ) მუშაობენ, ცოცვადობის სიჩქარით განსაზღვრავენ. ცოცვადობის სიჩქარის შეზღუდვისათვის მხურვალმტკიცე მასალებს იყენებენ.

გახურებული მშრალი აირების ან თხევად ელექტროლიტებში მომუშავე დეტალების ხანგამძლეობა ქიმიური, ან ელექტროქიმიური კოროზიის სიჩქარეზეა დამოკიდებული. ასეთ არეებში მუშაობის უნარიანობის შესანარჩუნებლად მხურვალ-მედეგი და კოროზიამედეგი მასალები გამოიყენება.

ამგვარად, საკონსტრუქციო მასალის მუშაობის უნარიანობა საექსპლუატაციო გარემოს პირობების გათვალისწინებით საკონსტრუქციო სიმტკიცის შემდეგი კრიტერიუმებით ხასიათდება:

1. სიმტკიცის კრიტერიუმი ($\sigma_{გაქ}$ და $\sigma_{0,2}$), რომლებიც სიმტკიცის მოცემული მარაგის შემთხვევაში დასაშვებ მუშა ძაბვებს, დეტალის მასას და ზომებს განსაზღვრავს.

2. დრეკადობის მოდული (E), რომელიც დეტალის მოცემული გეომეტრიის შემთხვევაში დრეკადი დეფორმაციის სიდიდეს, ანუ მასალის სიხისტეს განსაზღვრავს.

3. პლასტიკურობა (δ , ψ), დარტყმითი სიბლანტე (KCU, KCV, KCT), რღვევის სიბლანტე, ცივტეხადობის ტემპერატურული ზღურბლი (t_{50}), რომლებითაც აფასებენ მასალის საიმედოობას ექსპლუატაციაში.

4. ციკლური ხანგამძლეობა, ცვეთის სიჩქარე, ცოცვადობა და კოროზიამედუგობა, რომლებიც მასალის ხანგამძლეობას განსაზღვრავს.

3. შენადნობის ფაზური შედგენილობის გავლენა კონსტრუქციულ სიმტკიცეზე

როგორც სუფთა ლითონებში, ისე შენადნობებში, კონსტრუქციული სიმტკიცის პრობლემას დისლოკაციის ძვრადობა და მისი დამუხრუჭების ხარისხი განსაზღვრავს.

მყარ ხსნარში ჩანერგილი ან ჩანაცვლებული ელემენტების ატომები ძირითადად დისლოკაციის უბნებში მიიზიდება. შესაძლებელია მათ ექსტრასიბრტყის გასწვრივ უცხო ატომების ჯაჭვიც წარმოქმნან. აღსანიშნავია, რომ ნაპირა დისლოკაციის ბმის ენერგია ჩანერგილ ატომებთან დაახლოებით 0,2-0,5 ევ შეადგენს, ხოლო ჩანაცვლებულ ატომთან – 0,05-0,1 ევ.

უცხო ატომებით წარმოქმნილი ატმოსფერო ამუხრუჭებს დისლოკაციას მისი მოძრაობის გზაზე და აძნელებს შემდგომი გადაადგილების უნარს. ბუნებრივია, დისლოკაციის მოწყვეტა შესაძლებელი იქნება იმ შემთხვევაში, თუ უფრო მაღალი ძაბვები განვითარდება, ანუ მოცემულ შემთხვევაში ადგილი აქვს ხსნადობით განმტკიცების ეფექტს. იგი შეიძლება განისაზღვროს ტოლობით:

$$\sigma_{დენ} = G\varepsilon^2 C \quad (4),$$

სადაც $\sigma_{დენ}$ არის დენადობის ზღვარი;

G – ძერის მოდული;

C – გახსნილი კომპონენტის კონცენტრაცია ატომურ პროცენტებში;

ε – პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია გამხსნელისა (r_0) და გახსნილი (r) კომპონენტების ატომთა ზომებს შორის სხვაობაზე:

$$\varepsilon = \frac{r - r_0}{r_0} \quad (5)$$

განმტკიცების ყველაზე მაღალი ეფექტი იმ შემთხვევაში მიიღწევა, როდესაც მყარი ხსნარი დამატებით შეიცავს სხვადასხვა ფაზის, უპირატესად ქიმიური ნაერთის წვრილდისპერსიულ ჩანართებს. ისინი ეფექტურად ზღუდავენ დისლოკაციის ძვრადობის უნარს, რითაც იზრდება საკონსტრუქციო მასალის დენადობის ზღვარი.

თუ გადაჯერებული მყარი ხსნარიდან გამოყოფილი მეორეული ფაზა ჰეტეროგენულია დედა ხსნართან, კონსტრუქციაზე მოდებული ძაბვის ზემოქმედებით დისლოკაციამ ან უნდა გადაჭრას დაბრკოლება, ან გარს შემოეხვეს მას. ეს დამოკიდებულია განმამტკიცებელი ფაზის ნაწილაკების ზომაზე, სიმტკიცეზე და მათ შორის მანძილზე.

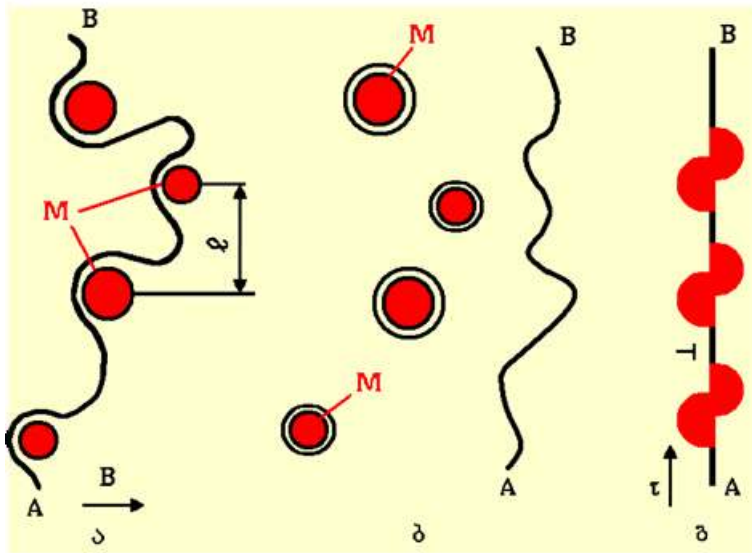
როდესაც გამონაყოფი არაკოჰერენტულია და M ჩანართებს შორის მანძილი l საკმაოდ დიდია, მოძრავი დისლოკაცია ჯერ გაიღუნება (სურ. №5, ა), ხოლო მოქმედი ძაბვის გაზრდის შემთხვევაში – გარს შემოეველება ჩანართს და ე.წ. დისლოკაციურ მარყუჟს (ბ) წარმოქმნის. შემდგომში დისლოკაცია ტოვებს წარმოქმნილ მარყუჟს და მოძრაობას განაგრძობს იგივე მიმართულებით. ახლად წარმოქმნილი დისლოკაციების მოძრაობით ახალ-ახალი მარყუჟები წარმოიქმნება, იზრდება დისლოკაციის ჯამური სიგრძე და კრისტალური გისოსის ენერგია, რაც დისლოკაციის მოძრაობის გზაზე დამატებით დაბრკოლებას ქმნის.

კრიტიკული ძაბვა ($\sigma_{კრ}$), რომელიც აუცილებელია მინარევებს შორის დისლოკაციის წასაბიძგებლად, l მანძილის უკუპროპორციულია:

$$\sigma_{კრ} = \frac{Gb}{l}$$

სადაც G არის მატრიცის ძერის მოდული;

b - დისლოკაციის ბიურგერის ვექტორი.



სურ. №5. დისპერსიულ ნაწილაკებს შორის AB დისლოკაციის მოძრაობის სქემა

ახალ-ახალი დისლოკაციური მარყუეების წარმოქმნის შედეგად განმამტკიცებელი ფაზის ნაწილაკებს შორის ℓ მანძილი თანდათან მცირდება. აქედან გამომდინარე, დისლოკაციის წასაბიძგებლად საჭირო კრიტიკული ძაბვა, ანუ დენადობის ზღვარი, იზრდება.

თუ ნაწილაკებს შორის მანძილი საკმაოდ მცირეა ($\sim 100\text{\AA}$), დისლოკაციამ დაბრკოლება უნდა გადაჭრას (სურ. №5, გ). ამისათვის კი ძაბვის კიდევ უფრო დიდ მნიშვნელობამდე გაზრდაა საჭირო. აქედან გამომდინარე, რაც უფრო მაღალია ჩანართების ძვრის მოდული, მით უფრო მცირეა დისლოკაციებით მათი გადაჭრის ალბათობა. ნაწილაკის გადაჭრის პროცესში ვითარდება ძვრა დისლოკაციის ბიურგერის ვექტორის სიდიდით, რაც მატრიცასა და გადაჭრილ ჩანართს შორის ზედაპირის გაზრდას იწვევს. ეს კი დისლოკაციის მოძრაობის გზაზე დამატებით წინააღმდეგობას ქმნის.

4. საკონსტრუქციო მახასიათებლების ამადლების მეთოდები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კონსტრუქციის მაღალი სიმტკიცე და ხანგამძლეობა მინიმალური მასისა და უმაღლესი საიმედოობის უზრუნველყოფით, ტექნოლოგიური, მეტალურგიული და კონსტრუქციული მეთოდებით მიიღწევა. მასალის მექანიკური თვისებებისა და ხარისხის ამადლებისათვის ყველაზე მაღალეფექტურია ტექნოლოგიური და მეტალურგიული მეთოდები.

მექანიკური თვისებებიდან უმთავრესია მასალის სიმტკიცე, რომლის გაზრდა

პლასტიკურობისა და სიბლანტის საკმაო მარაგის შენარჩუნებით, კონსტრუქციის წონის შემცირებას, საიმედოობასა და ხანგამძლეობას განაპირობებს.

სიმტკიცე დამოკიდებულია ატომთა შორის კავშირის ძალებზე, ატომთა შორის ურთიერთქმედების ენერგია კი – დრეკადი თვისებების (დრეკადობისა და ძვრის მოდულების) მახასიათებლებზე. ნორმალური დრეკადობის მოდული და ძვრის მოდული მასალის სტრუქტურულად არამგრძობიარე მახასიათებლებია და მუდმივ სიდიდეებს წარმოადგენენ.

თეორიული სიმტკიცე (წინააღმდეგობა ატომთა შორის კავშირის ძალების გაწყვეტის მიმართ) რეალურ კრისტალებში სტრუქტურული დეფექტების არსებობის გამო ვერ მიიღწევა. რეალური სიმტკიცე ორი-სამი რიგით უფრო დაბალია თეორიულთან შედარებით, რასაც ძირითადად ლითონის სტრუქტურა და არა ატომთა შორის კავშირის ძალები განაპირობებენ.

რეალურ კრისტალებში სიმტკიცის დონეს, უმთავრესად, დისლოკაციის გადაადგილების უნარი განსაზღვრავს. აქედან გამომდინარე, მასალათა სიმტკიცის გაზრდის თანამედროვე მეთოდები ისეთი სტრუქტურული მდგომარეობის უზრუნველყოფაზეა დაფუძნებული, რომელიც დისლოკაციის მაქსიმალურ დამუხრუჭებას (ბლოკირებას) განაპირობებს. მათ მიეკუთვნება ლეგირება, პლასტიკური დეფორმაცია, თერმული, თერმომექანიკური და ქიმიურ-თერმული დამუშავება. აღნიშნული მეთოდებით სიმტკიცის გაზრდა მთელ რიგ სტრუქტურულ ფაქტორებზეა დაფუძნებული, როგორებიცაა:

1. დისლოკაციების სიმკვრივის გაზრდა.

დისლოკაციის სიმკვრივესა (ρ) და დენადობის ზღვარს ($\sigma_{დენ}$) შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$\sigma_{დენ} = \sigma_0 + \alpha b G \sqrt{\rho} \quad (7),$$

სადაც σ_0 არის დენადობის ზღვარი განმტკიცებამდე;

α – კოეფიციენტი, რომელიც დისლოკაციის დამუხრუჭების სხვა მექანიზმებს ითვალისწინებს;

b – ბიურგერსის ვექტორი;

G – ძვრის მოდული.

დისლოკაციის სიმკვრივის გაზრდა მიზანშეწონილია 10^{12} სმ⁻² სიდიდემდე. უფრო მეტი მნიშვნელობის შემთხვევაში ადგილი ექნება მასალის მთლიანობის დარღვევას სუბმიკროსკოპული ბზარების სახით, რაც, უდავოდ, შეამცირებს მასა-

ლის სიმტკიცეს.

2. დისლოკაციური ბარიერების შექმნა მარცვლის საზღვრების, სუბსაზღვრებისა და მეორეული ჩანართების დისპერსიული ნაწილაკების სახით. ასეთი ნაწილაკების გადალახვა მოითხოვს ძაბვების დამატებით გაზრდას დისლოკაციის წასაწვეად, რაც განმტკიცების ეფექტზე მიუთითებს.

ეფექტური ბარიერების როლს მარცვლისა და სუბმარცვლების (მოზაიკის ბლოკების) საზღვრები ასრულებენ. დაცურებული დისლოკაცია იძულებულია გაჩერდეს აღნიშნულ საზღვრებთან, რადგან მეზობელ მარცვალში (სუბმარცვალში) დაცურების სიბრტყეს სხვა ორიენტაცია გააჩნია. სიმტკიცესა და მარცვლის ზომას შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$\sigma_{დენ} = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (8)$$

სადაც σ_0 არის ძაბვა, რომელიც საჭიროა თავისუფალი დისლოკაციის მოძრაობისათვის;

k - კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს დისლოკაციის ბლოკირების ხარისხს;

d - მარცვლის (სუბმარცვლის) ზომა.

აღნიშნული ფაქტორის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მარცვლის დაწვრილმანება განაპირობებს მარცვლის საზღვრების ჯამური სიგრძის ზრდას და, აქედან გამომდინარე, დარტყმითი სიბლანტის გადიდებას. ამის მიზეზია ბზარის ჩანასახის ზომის შემცირება და მისი გავრცელების შესაძლებლობის გაძნელება – ბზარმა უნდა იცვალოს მოძრაობის მიმართულება ერთი მარცვლიდან მეორეზე გადასვლის დროს, რის შედეგადაც მისი ტრაექტორია და წინააღმდეგობა გავრცელებისადმი იზრდება.

3. დრეკადი დაძაბულობის ველის შექმნა, რომელიც ამახინჯებს კრისტალურ გისოსს. ასეთი ველი იქმნება წერტილოვანი დეფექტების მახლობლობაში (ვაკანსია, მინარევი ატომი და, უმთავრესად, მალეგირებელი ელემენტის ატომი).

სხვადასხვა სტრუქტურული ფაქტორის კომბინაციით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად ამაღლდეს სიმტკიცის მახასიათებლები, მაგრამ სიმტკიცის ამაღლებას, დისლოკაციების ძვრადობის შემცირებით, თან სდევს მასალის პლასტიკურობის, სიბლანტისა და საიმედოობის შემცირება.

კონსტრუქციული სიმტკიცის ამაღლების პრობლემა მდგომარეობს არა იმდენად სიმტკიცის მახასიათებლების გაზრდაში, რამდენადაც მაღალ სიმტკიცესთან ერთად პლასტიკური რღვევისადმი, ასევე მაღალი წინააღმდეგობის უზრუნველყო-

ფაში. მაგალითად, ნახშირბადიან ფოლადებში (0,4%C) მარტენსიტზე წრობით და დაბალი მოშვებით შეიძლება უზრუნველყოფით $\sigma_{\text{გაკ}} \approx 2400$ მგპა; ნახშირბადის გაზრდით 0,6%-მდე – 2800 მგპა, თუმცა ასეთი მაღალი სიმტკიცის მიუხედავად ფოლადები მყიფეა ($KCT \approx 0$) და ექსპლუატაციაში არასაიმედო.

სიმტკიცის, საიმედოობისა და ხანგამძლეობის უზრუნველყოფა ლითონის გარკვეული სტრუქტურული მდგომარეობით მიიღწევა. კერძოდ, დისლოკაციების დამუხრუჭების ხარისხის ეფექტური შეხამებით მათ თანაბარ განაწილებასთან მასალის მოცულობაში და, რაც ყველაზე ხელსაყრელია, ბარიერებთან თვმოყრილ დისლოკაციებს უნდა მიეცეთ გარკვეული ძვრადობის უნარი. ცნობილია, რომ მყიფე რღვევა ინიცირდება კრიტიკული სიმკვრივის დისლოკაციების თავმოყრის უბნებში, მაგალითად, გადაულახავ ბარიერებთან, სადაც მეტად სახიფათო ლოკალური დაძაბულობები აღიძვრება. მათი რელაქსაცია ორი გზით მიმდინარეობს:

1. მყიფე ბზარის განვითარებით;
2. ბარიერის გარღვევით და დისლოკაციის წანაცვლებით მოსაზღვრე უბნებში.

ეს უკანასკნელი განაპირობებს ძაბვების რელაქსაციას, ლოკალური პლასტიკური დეფორმაციის გზით. ასეთი ტიპის ბარიერების როლს ასრულებს საზღვრები მცირე კუთხით – სუბმარცვლების საზღვრები. ხელსაყრელი სტრუქტურის ფორმირებას და ლითონის საიმედოობის უზრუნველყოფას ხელს უწყობს რაციონალური ლეგირება, დაწვრილმარცვლოვნება და მეტალურგიული ხარისხის ამაღლება.

მაღალი კონსტრუქციული სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად, კომპოზიციურ მასალებში, პრინციპულად განსხვავებული ხერხია გამოყენებული. როგორც ცნობილია, ასეთი მასალები რბილი მატრიცისა და მაღალმტკიცე ბოჭკოების კომპოზიციას წარმოადგენს. მთელ დატვირთვას ბოჭკოები ღებულობს. სწორედ ამაში მდგომარეობს პრინციპული განსხვავება ბოჭკოვან კომპოზიციურ მასალებსა და ჩვეულებრივ შენადნობებს შორის, რომლებიც განმტკიცებულია, მაგალითად, დისპერსიული ნაწილაკებით. შენადნობებში, ძირითად, დატვირთვას მატრიცა (მყარი ხსნარი) ღებულობს, ხოლო დისპერსიული ნაწილაკები ამუხრუჭებენ მასში დისლოკაციების მოძრაობას, რითაც მნიშვნელოვნად მცირდება შენადნობის პლასტიკურობა. კომპოზიციურ მასალებში მაღალმტკიცე ბოჭკოები ერთმანეთთან პლასტიკური მატრიცით არის დაკავშირებული. მატრიცა სუსტად არის დატვირთული და ემსახურება დატვირთვის გადაცემასა და გადანაწილებას ბოჭკოებს შორის. გარდა ამისა, კომპოზიციური მასალები, სადაც გამოყენებულია მაღალმტკიცე და მაღალი

მოდულის მქონე ბოჭკოები და მსუბუქი მატრიცა, მაღალი კუთრი სიმტკიცითა და სიხისტით ხასიათდება.

როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია, ნაკეთობის მუშაობის უნარიანობა კონკრეტულ საექსპლუატაციო გარემოს პირობებში ხასიათდება ისეთი საკონსტრუქციო კრიტერიუმებით, როგორცაა სიმტკიცე ($\sigma_{\text{აქს}}, \sigma_{0,2}$), სიხისტე (E), პლასტიკურობა (δ, ψ), დარტყმითი სიბლანტე ($a_{\text{ნახ}}$), ციკლური ხანგამძლეობა. სიმტკიცისა და პლასტიკურობის მახასიათებლები კარგად არის შეხამებული წვრილმარცვლოვანი აგებულების ლითონებში და მაღალდისპერსიული ფხვნილებით მიღებულ ნაკეთობებში. აქედან გამომდინარე, მაღალი საკონსტრუქციო თვისებების უზრუნველყოფის ძირითად მეთოდს მიეკუთვნება სტრუქტურის ჩამოყალიბების ისეთი პირობების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს მეტად წვრილმარცვლოვანი აგებულების სტრუქტურების მიღებას. ამის შესაძლებლობას იძლევა კრისტალიზაციის პროცესის ისეთნაირად წარმართვა, როდესაც უზრუნველყოფილი იქნება ჩანასახთა (კრისტალიზაციის ცენტრების) წარმოქმნის დიდი და კრისტალების ზრდის დაბალი სიჩქარეების ურთიერთშეხამება. ასეთ პირობებში მეტად წვრილდისპერსიული ნაწილაკები ყალიბდება, რომლებიც რენტგენოსტრუქტურულად ამორფულ ფაზებს მიეკუთვნებიან. ნაწილაკის ზომები რამდენიმე ასეული ანგსტრემიდან ასეულ ნანომეტრამდე დიაპაზონში იცვლება. ასეთი განზომილების მქონე ნაწილაკების ფხვნილებს ულტრადისპერსიულ ან ნანოზომის ფხვნილებს უწოდებენ. ასეთი აგებულების მქონე უწყვეტი ფირის მიღება შესაძლებელია, აგრეთვე, დანაფარების ან ლენტის სახით.

ფირის სისქე და ფხვნილის დისპერსიულობის ხარისხი მზა ნაკეთობის პრაქტიკულად ყველა მახასიათებელზე (მექანიკურ, თბო, ელექტროფიზიკურ და მაგნიტურ) ახდენს გავლენას. ლითონურ ნანოგანზომილების ფაზებში შემჩნეულია, აგრეთვე, მექანიკური, ელექტრული, თბური, მაგნიტური, ოპტიკური და სხვა თვისებების უნიკალური შეხამება. მაგალითად, თხელ ფირებში ან ნაწილაკებში, რომელთა ზომა 1000\AA -ის რიგისაა, დაფიქსირებულია სიმტკიცის მახასიათებლების ზრდა, მათი ზედაპირის სრულყოფილებისაგან დამოუკიდებლად. ამის ახსნა შესაძლებელია იმ მოსაზრებით, რომ აგრეგატების მცირე ზომები არ არის საკმარისი დისლოკაციების ჩასახვისა და განვითარებისათვის. უფრო მეტიც, თუ დისლოკაცია ფირის ზრდის პროცესში წარმოიქმნება, იგი არ გამოიწვევს დეფორმაციას. $1500-2000\text{\AA}$ ზომის ფორებშიც კი არ ხდება დისლოკაციის გადაადგილება 1%-მდე დრეკადი დეფორმაციის პირობებში. რაც უფრო დისპერსიულია ფხვნილი, მით უფრო მკვერივი

და მტკიცე შეცხოვრილი ნაკეთობა მიიღება, ფხვნილთა შეცხოვის ტემპერატურა კი მნიშვნელოვნად იწევს დაბლა სტანდარტულ გრანულომეტრულ ფხვნილებთან შედარებით. სპილენძისა და ოქროს ფხვნილების დაწნეხითა და შეცხოვით დამზადებულ ნიმუშებში, სადაც ფხვნილების მარცვლის ზომა 1 მკმ-ს არ აღემატება, ნიმუშის სიმტკიცე თეორიულს უახლოვდება.

ასე გაჩნდა ჯერ ნანოკრისტალური მასალები, შემდეგ – ნანოსტრუქტურული, ნანოფაზური, ნანოკომპოზიტური და ა.შ ტერმინები. ყველასათვის ცნობილი მიკრონაწილაკების გარდა მატერიის შესახებ, ჩვენს შემეცნებაში, გაჩნდა ნანონაწილაკები – ნივთიერების უწვრილესი მტვერი. მათი დასახელება მომდინარეობს ბერძნული სიტყვიდან „ჯუჯა“. ეს თითქოს მიგვანიშნებს ნაწილაკების მინიატურულ ზომებზე, რომელთაც ზღაპრული თვისებები ახასიათებთ. ნანოტექნოლოგიების შესწავლა და გამოყენება საზოგადოების სამეცნიერო-ტექნიკური განვითარების საგანი გახდა. მათ უკვე მოასწრეს ეჩუქებინათ კაცობრიობისათვის ფანტასტიკური თვისებების მასალები და დანაფარები მატერიალური წარმოების და მეცნიერული ძიების ყველა დარგში.

II თავი. ბარემოს გავლენა საკონსტრუქციო მასალის თვისებებზე

1. მაღალი ტემპერატურები

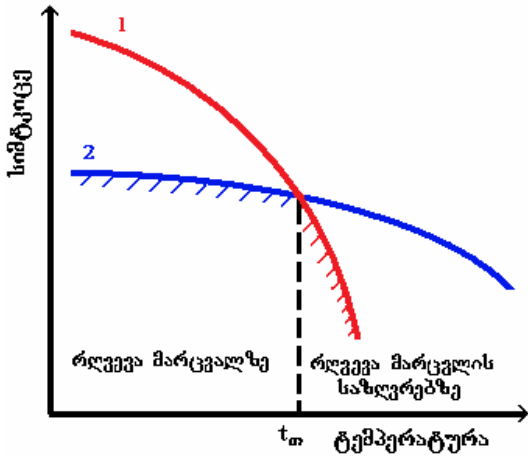
ტემპერატურის მატება არსებით გავლენას ახდენს საკონსტრუქციო მასალის სტრუქტურასა და თვისებებზე: მცირდება სიმტკიცე, იზრდება პლასტიკურობა, უფრო ინტენსიურად იწყებს მიმდინარეობას ჟანგვის პროცესები.

მასალებში სიმტკიცის მახასიათებლების შემცირების ხარისხი ტემპერატურის მატებისას არაერთგვაროვანია. სიმტკიცის ვარდნა და პლასტიკურობის ზრდა დაკავშირებულია ატომთა შორის კავშირების შემცირებასთან, ვაკანსიების რიცხვისა და წერტილოვანი დეფექტების ძვრადობის და დიფუზიის ინტენსიურობის გაზრდასთან. ყოველივე ეს, თავის მხრივ, ცვლის ლითონის საწყის სტრუქტურასა და თვისებებს.

მაღალი ტემპერატურა თითქოს და დამატებით „თავისუფლების ხარისხს“ ანიჭებს დისლოკაციებს, რის გამოც მათი გადაადგილება გადაცოცების გზით მიმდინარეობს. შეინიშნება, აგრეთვე, დისლოკაციების ანიჰილაცია და გადანაწილება, ანუ ინგრევა თავდაპირველი დისლოკაციური სტრუქტურა.

ტემპერატურის ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ცვლილებები გამოიწვიოს, რასთანაც დაკავშირებულია თერმული დამუშავების გზით განპირობებული განმტკიცების ეფექტისა და ციკლედვით მინიჭებული სიმტკიცის მახასიათებლების კარგვა (პირველ შემთხვევაში გადაჯერებული მყარი ხსნარის დაშლა, განმამტკიცებელი ფაზების კოაგულაცია და გახსნა, ხოლო მეორე შემთხვევაში – გამობრუნებისა და რეკრისტალიზაციის პროცესების მიმდინარეობა).

მაღალი ტემპერატურა განაპირობებს მარცვლის საზღვრების სიმტკიცის უფრო ინტენსიურ კარგვას მარცვალთან შედარებით. t_m თანაბარსიმტკიცის ტემპერატურის ქვემოთ (სურ. №6) ნაკეთობის რღვევა მარცვლის მოცულობაში მიმდინარეობს, რადგან მარცვალი ნაკლებად მტკიცეა. t_m ტემპერატურის ზემოთ კი რღვევის ხასიათი იცვლება და იგი მარცვლის საზღვრებში ვითარდება. ამის მიზეზია აღნიშნულ უბნებში თავმოყრილი ადვილდნობადი მინარევები, რის გამოც ტემპერატურის გავლენით საზღვრების სიმტკიცე მარცვლის სიმტკიცეზე დაბალი აღმოჩნდება. აქედან გამომდინარე, მაღალტემპერატურულ არეებში საექსპლუატაციოდ შენადნობი უნდა იყოს მსხვილმარცვლოვანი აგებულების, რადგან ასეთი სტრუქტურის ლითონში საზღვრების ჯამური სიგრძე ნაკლებია, უფრო სუსტად არის მათში გამოხატული ცოცვადობა და დიფუზური გადატანის პროცესები.



სურ. №6. ტემპერატურის გავლენა რღვევის ხასიათზე

1. მარცვლის საზღვრის სიმტკიცე.
2. მარცვლის სიმტკიცე.

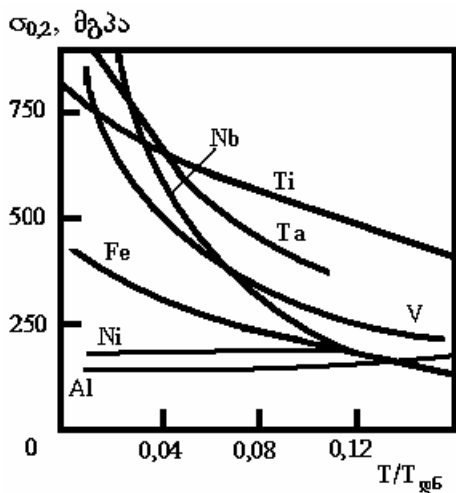
ზრდას განაპირობებს. ასეთი კანონზომიერება შეინიშნება ტემპერატურის თითქმის 77K-მდე შემცირებისას; მის ქვემოთ კი დრეკადობის მოდულის ზრდის ინტენსიურობა მცირდება და აბსოლუტური ნულის მახლობლობაში აღარ მუდგანდება. პრაქტიკაში მიღებულია, რომ ტემპერატურის 1 K-ით შემცირება დრეკადობის მოდულს 0,03%-ით ზრდის.

ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად მასალების უმრავლესობაში დენადობის ზღვარი იზრდება. ეს კანონზომიერება განსაკუთრებით მიესადაგება სივრცით დაცენტრებული კუბური და მჭიდრო ჰექსაგონური გისოსის მქონე ლითონებს. გაორების წილი საერთო დეფორმაციაში მატულობს. წახნაგდაცენტრებული კუბური გისოსის მქონე ლითონებში, თუ ისინი მინარევების მცირე რაოდენობას შეიცავს, სუსტად არის გამოხატული დენადობის ზღვრის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, თუმცა იზრდება სიმტკიცის ზღვარი, ხოლო პლასტიკურობა მაღალ დონეზე შენარჩუნებული. ამით აიხსნება მათი მუშაობის საიმედოობა საკმაოდ დაბალ ტემპერატურებზე.

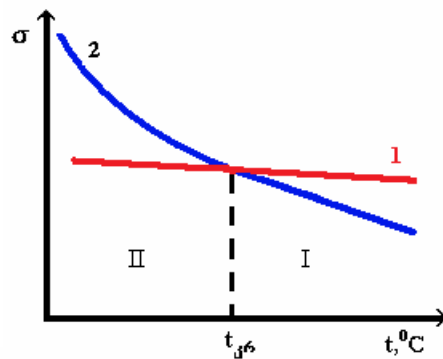
სივრცით დაცენტრებული კუბური გისოსის მქონე ლითონების პლასტიკურობას მინარევების კონცენტრაცია, უპირველეს ყოვლისა, ჩანერგილი ატომების რაოდენობა განსაზღვრავს. მაგალითად, თუ წახნაგდაცენტრებული კუბური გისოსის მქონე ლითონები ნაკლებ მგრძნობიარეა მინარევების მიმართ (1%-მდე მათი შემცველობის შემთხვევაში), სივრცით დაცენტრებული კუბური გისოსის მქონე ლითონები მყიფე მდგომარეობაში მუშაობენ და მუშაობის პროცენტი ჩანერგილი მინარევების შემცველობის შემთხვევაშიც კი გადადის.

მეფე რღვევისადმი მიდრეკილების თვალსაზრისით, მჭიდრო ჰექსაგონური გისოსის მქონე ლითონებს შუალედური მდგომარეობა უკავიათ სდკ და წდკ ლითონებს შორის.

№7 სურათზე წარმოდგენილია დენადობის ზღვრის დამოკიდებულება ჰომოლოგიურ (დაყვანილ) ტემპერატურაზე (ნიმუშის გამოცდის ტემპერატურის შეფარდება ლითონის დნობის ტემპერატურასთან) წდკ, სდკ და მკ გისოსის მქონე ლითონებისათვის. როგორც დიაგრამიდან გამომდინარეობს, წდკ ლითონებში (Al, Ni) დენადობის ზღვრის მნიშვნელობა სუსტად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე, სდკ



სურ. №7. დენადობის ზღვრის დამოკიდებულება დაყვანილ ტემპერატურაზე.



სურ. №8. ლითონის გადასვლა პლასტიკური მდგომარეობიდან (I) მეფე მდგომარეობაში (II)

1. წინააღმდეგობა გაგლეჯაზე.
2. დენადობის ზღვარი.

(V, Nb, Ta, Fe) და მკ (Ti) მქონე ლითონებისა – იზრდება ტემპერატურის შემცირებისას. ამასთანავე პირველ მათგანში ცვლილების ტემპი მნიშვნელოვნად მაღალია. ტემპერატურის გაგლენას რღვევის ხასიათზე №8 სურათზე წარმოდგენილი სქემა ასახავს. როგორც მრუდეთა ხასიათიდან გამომდინარეობს, ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად დენადობის ზღვრის ცვლილება უფრო მნიშვნელოვანია ლითონის გაგლეჯაზე (მოწყვეტაზე) წინააღმდეგობასთან შედარებით. $t_{პᵣ}$ ტემპერატურაზე (გამეფების კრიტიკული ტემპერატურა) მრუდები იკვეთება. როდესაც $t > t_{პᵣ}$, ლითონის რღვევა ბლანტი ხასიათისაა, რადგან ძაბვა თავდაპირველად იმ მნიშვნელობას აღწევს, რომელიც დენადობის ზღვარს შეესაბამება და ლითონში პლასტიკური დეფორმაცია იწყება. როდესაც $t < t_{პᵣ}$, მეფე რღვევა მიმდინარეობს, რადგან ამ შემთხვევაში მოდებული ძაბვა სწრაფად აღწევს გაგლეჯაზე წინააღმდეგობის ზღვარს. ასეთ პირობებში ლითონის მთლიანობა პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე ირღვევა.

ტემპერატურას, რომელზეც ხდება ბლანტი რღვევიდან მყოფე რღვევაში გადასვლა, ცივტეხადობის ზღურბლი ეწოდება. ცივტეხადობის ზღურბლის მდებარეობაზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს. სტრუქტურის დაწვრილმანება ადაბლებს ცივტეხადობის ზღურბლს, ხოლო დეფექტების კონცენტრაციის გაზრდით იგი მაღლდება. ჩანერგილი მინარევები ზოგიერთ ლითონში (W, Mo, Cr) არსებითად ზრდის t_{50} (ტემპერატურა, რომელზეც განვითარებულ ტეხილში 50% ბლანტი რღვევის შემდგენია, 50% - მყოფე რღვევისა). დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდა და მასშტაბური ფაქტორი, ასევე, ამაღლებს ცივტეხადობის ზღურბლს.

ნგრევის ერთი სახის შეცვლა მეორით დენადობის ზღვრისა ($\sigma_{ღენ}$) და მრღვევი ძაბვის ($\sigma_{გრღ}$) ურთიერთშეფარდებით განისაზღვრება. დენადობის ზღვარი გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{ღენ} = \sigma_0 + kd^{-1/2}, \quad (1)$$

სადაც σ_0 არის კრისტალური გისოსის ხახუნის ძაბვა;

k - მუდმივა;

d – მარცვლის დიამეტრი.

კრისტალური გისოსის ხახუნის ძაბვა ტემპერატურაზე დამოკიდებული და შემდეგი თანაფარდობით განისაზღვრება:

$$\sigma_0 = be^{-\beta T}, \quad (2)$$

სადაც b და β მუდმივი სიდიდეებია.

მრღვევი ძაბვა გამოითვლება დამოკიდებულებიდან:

$$\sigma_{გრღ} = (4G\gamma d^{-1/2})/k, \quad (3)$$

სადაც G არის ძვრის მოდული;

γ - რღვევის ეფექტური ზედაპირული ენერგია;

d – მარცვლის დიამეტრი;

k – მუდმივა.

როგორც პირველი და მეორე დამოკიდებულებიდან გამომდინარეობს, ტემპერატურის შემცირებით გისოსის ხახუნის ძაბვა და, აქედან გამომდინარე, დენადობის ზღვარიც, მკვეთრად იზრდება მაშინ, როდესაც მრღვევი ძაბვა ტემპერატურაზე არსებითად არ არის დამოკიდებული.

რღვევის სიბლანტე (k_{IC}) დაკავშირებულია ლითონის სიმტკიცის მახასიათებლებთან. საშუალო და დაბალი სიმტკიცის მასალები, მაღალმტკიცე მასალებთან შედარებით, ოთახის ტემპერატურაზე k_{IC} -ს მაღალი მნიშვნელობით ხასიათდება. ტემ-

პერატურის შემცირებისას სიტუაცია განსაკუთრებით იცვლება სდკ და მკ გისოსის მქონე შენადნობებში – მათი სიმტკიცე მატულობს და გარკვეულ პირობებში საშუალო და დაბალი სიმტკიცის მასალებშიც მუდგანდება მიდრეკილება მყიფე რღვევისადმი (ისევე, როგორც მაღალი სიმტკიცის მასალებისათვის არის დამახასიათებელი). ტიტანის შენადნობებში და მაღალმტკიცე ფოლადებში K_{IC} -ს მნიშვნელობა ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად მცირდება, ხოლო ალუმინის შენადნობები რღვევის მაღალ სიბლანტეს აბსოლუტური ნულის მახლობლობაშიც კი ინარჩუნებენ.

3. კოროზიულად აქტიური არეები

გარემოს ზემოქმედებით ლითონების საექსპლუატაციო თვისებები მკვეთრად შეიძლება გაუარესდეს, მის ზედაპირზე ხილული ცვლილებების მიმდინარეობის გარეშე. ზოგჯერ კოროზიის პროდუქტების კვალიც შეინიშნება. კოროზიას უწოდებენ მასალის თავისთავად ნგრევას, გარემოსთან მისი ქიმიური ან ელექტროქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად. სამუშაო გარემო ყოველთვის შეიცავს საკონსტრუქციო მასალის მიმართ რამდენიმე აგრესიულ ნივთიერებას და კოროზიის სტიმულატორებს.

მოქმედების მექანიზმის მიხედვით არჩევენ ქიმიურ და ელექტროქიმიურ კოროზიას. ქიმიური კოროზია ვითარდება გაზრდილ და მაღალ ტემპერატურებზე, ლითონების ურთიერთქმედებით მშრალ აირებთან – ჰაერთან, ნახშირმჟავა აირთან, მშრალი წყლის ორთქლთან, ჟანგბადთან, წვის პროდუქტებთან (აირული კოროზია) ან არაელექტროლიტებთან – ბენზოლთან, სპირტთან, ნახშირწყლებთან, თხევად საწვავთან (კოროზია არაელექტროლიტებთან). ელექტროქიმიური კოროზია ვითარდება ელექტროლიტების ზემოქმედებით, როდესაც ნივთიერების წყალხსნარები ან ნაღებები მოძრავ იონებს (ანიონებსა და კათიონებს) შეიცავს და ელექტრულ დენს ატარებს. ასეთ გარემოს მიეკუთვნება ტენიანი ჰაერის ატმოსფერო (ატმოსფერული კოროზია), წყალი, მათ შორის მდინარისა და ზღვის წყალი, მჟავები, ტუტეები, მარილები, გამაცივებელი სითხეები და ა.შ (კოროზია სითხით).

აირულ კოროზიას განიცდის საფრენი აპარატებისა და ძრავის დეტალების უმრავლესობა. ეს არის შემონაკერი, ეკრანი, მიმწოდები, რომლებიც ჰაერის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გამო მაღალ ტემპერატურამდე ხურდებიან; ტურბინისა და საქმენი აპარატის თათები, საცეცხლე მილები, რეაქტიული ძრავის სარქველები და ა.შ. საავიაციო ძრავების ცხელი ტრაქტისთვის დიდ საშიშროებას წარმოადგენს აირული კოროზიის ნაირსახეობა – მარილიანი კოროზია, რომელიც იმ შემთხვევა-

ში ვითარდება, როდესაც აირადი გარემო ზოგიერთი ლითონის მარილს, უმეტეს შემთხვევაში, ნატრიუმის მარილს და ნატრიუმის, გოგირდისა და ვანადიუმის ოქსიდებს შეიცავს. ასეთი კოროზია დიდი სიჩქარით ვითარდება, რომელიც ტემპერატურის მატებასთან ერთად უფრო იზრდება.

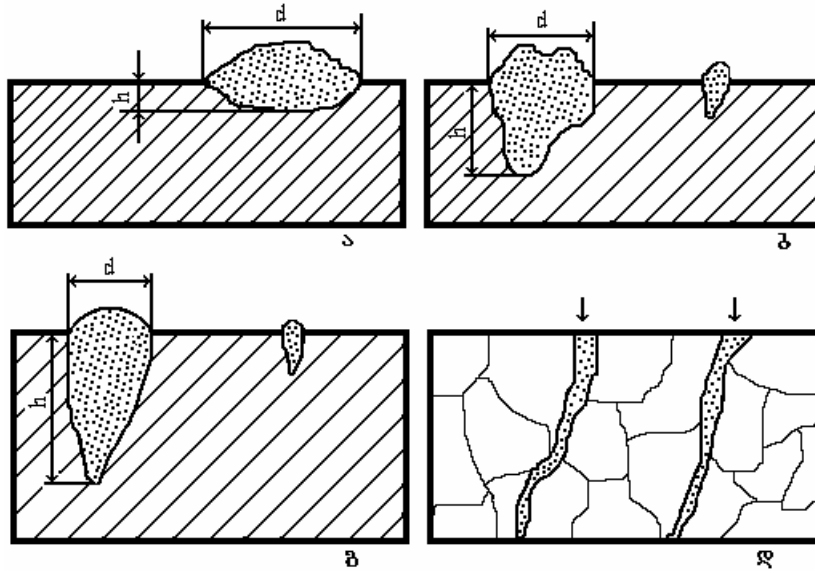
ატმოსფერულ კოროზიას განიცდის კონსტრუქციის გარე დეტალები (შემონაკერი, გარსაცმი, შემომდენები, შასი), რომლებიც კოროზირებს ტენიანი ჰაერის, წვიმის, თრთვილის და ატმოსფეროს სხვა აგენტებით. სითხით კოროზია ტიპურია პიდრაგლიკური, გამაცივებელი, გაყინვის საწინააღმდეგო სისტემებისათვის, რაც არღვევს მათი ნორმალური მუშაობის პირობებს კოროზიის პროდუქტებით დაჭუჭყიანების გამო და აუარესებს თხევადი გარემოს მუშა მახასიათებლებს.

ყველა კოროზიული პროცესი თავისთავად მიმდინარეობს, რადგან კოროზიის პროდუქტები თერმოდინამიკურად უფრო მდგრადია, ვიდრე ის ლითონები, რომლისგანაც ისინი წარმოიქმნებიან. კოროზიულ არეში ტემპერატურისა და ჟანგბადის წნევის გაზრდით პროცესის სიჩქარე იზრდება, რადგან მატულობს ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის, დიფუზიისა და აგრესიული არის კომპონენტების ლითონში ხსნადობის სიჩქარეები.

კოროზიის დროს რღვევის პროცესი ყოველთვის ზედაპირზე, ნელი სიჩქარით იწყება და თანდათან ნაკეთობის შიგნით აღწევს. ანსხვავებენ თანაბარ კოროზიას, რომელიც ერთი და იგივე სიჩქარით მიმდინარეობს აგრესიულ არეში მოთავსებული ნაკეთობის მთელ ზედაპირზე და ლოკალურს, რა დროსაც პროცესში ჩართულია ნაკეთობის რაღაც უბანი (სურ. №9). ამ უკანასკნელის სახესხვაობებია: კოროზია ლაქებით, წყლულოვანი, წერტილოვანი, კრისტალთშორისი და შერჩევითი კოროზია. ლოკალური კოროზიის კერას დაბევის კონცენტრატორები წარმოადგენენ. ისინი ხელს უწყობენ ბზარის წარმოქმნასა და განვითარებას, განსაკუთრებით დაბევის ციკლური ცვალებადობის პირობებში. ეს საგრძნობლად ამცირებს ნაკეთობის საიმედოობას და ხანმედევობას. თანაბარი კოროზია მაქსიმალურ ზიანს აყენებს საფრენ აპარატებს, რაც განაპირობებს ლითონის მასის შეუქცევად კარგვას.

კოროზიას დაბვის ქვეშ უწოდებენ რღვევის ისეთ სახეს, რომელიც კოროზიული გარემოსა და გამჭიმავი დაბევის ერთდროული ზემოქმედებით მიმდინარეობს და მისი სიდიდე არ აღემატება $\sigma_{0.2}$. დაბვა ხელს უწყობს საერთო კოროზიისა და კოროზიული დაბზარვის ინტენსიურად განვითარებას, ნაკეთობის სიღრმეში თხელი ბზარების ჩასახვისა და გაგრძელების გზით.

მასალა, რომელსაც დაბვის ქვეშ კოროზიისადმი მიდრეკილება გააჩნია, კარ-



სურ. №9. ლითონის ლოკალური კოროზიის სახეები:
 ა – კოროზია ლაქებით ($d > h$), ბ – წყლულოვანი ($d = h$),
 გ – წერტილოვანი ($d < h$), დ – კრისტალთშორისი.

საერთო კოროზიამდებლობის მიუხედავად, შეიძლება სწრაფად დაირღვეს. ამიტომ, კოროზიის ეს სახე ლითონური კონსტრუქციებისათვის მეტად სახიფათოა.

კრისტალთშორისი კოროზიის საშიშროება იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ვითარდება ნაკეთობის მოცულობაში (მარცვლის საზღვრებზე), იწვევს სიმტკიცისა და პლასტიკურობის კარგვას და, როგორც შედეგი, ნაკეთობის მწყობრიდან ადრე გამოსვლას.

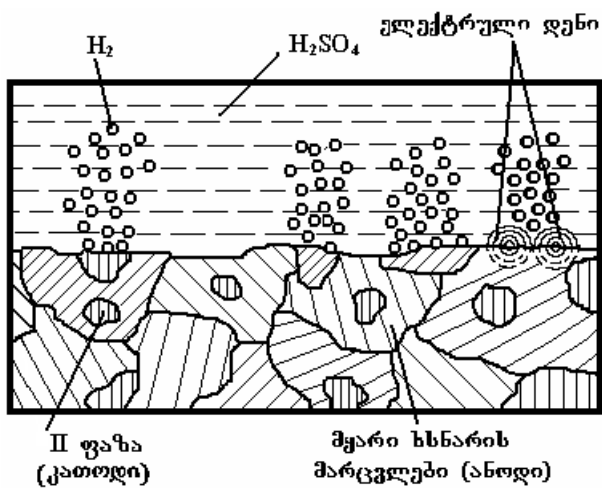
კოროზიის შეფასება ხდება მასის კუთრი დანაკარგებით დროის ერთეულში ან მასალის სისქის ცვლილებით დროის მიხედვით. ლოკალური კოროზიის შემთხვევაში რღვევის ხარისხს არაპირდაპირი მეთოდით – ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ცვლილების ინტენსიურობით განსაზღვრავენ.

ქიმიურ კოროზიას საფუძვლად ჟანგვითი პროცესები უდევს, რომელთა პროდუქტებს ქიმიური ნაერთები წარმოადგენენ. ჟანგბადის შემცველ გარემოში აირულ კოროზიას თან ახლავს ლითონის ზედაპირზე ოქსიდური ფირის წარმოქმნა, რომელსაც შეუძლია ლითონის შემდგომი ჟანგვა მეტ-ნაკლებად შეასუსტოს. უწყვეტი, მკვრივი ოქსიდური ფირი, თუ იგი კარგი შეჭიდულობით ხასიათდება ფუძეშრესთან, ხელს უშლის მორეაგირე ელემენტების შედწევას ლითონის შემდგომ ფენებში და ჟანგვის პროცესი წყდება.

ქიმიური კოროზია შეიძლება შემზუთმა მასალებმაც გამოიწვიოს, რომლებიც სხვადასხვა მექანიზმებში გამოიყენება. თავად შემზუთი მასალები ლითონზე უარყოფითად არ მოქმედებს, მაგრამ ტემპერატურის, წნევის, ხახუნის, ჟანგბადისა და

ლითონების კატალიზური მოქმედების შედეგად ზეთი შეიძლება დაიშალოს ორგანული მჟავების, ალდეგიდების, ზეჟანგის და სხვა აქტიური პროდუქტების გამოყოფით, რომლებიც ლითონისა და შენადნობების კოროზიას გამოიწვევენ.

ელექტროქიმიურ კოროზიას საფუძვლად უდევს ლითონების ელექტროქიმიური ურთიერთქმედების პროცესები, ელექტროლიტური არის მონაწილეობით. ელექტროლიტურ არეში სხვადასხვაგვარი ლითონების კონტაქტის შემთხვევაში, კოროზიული წყვილის (არსებითად გაღვანური ელემენტების) წარმოქმნის გამო, იწყება შედარებით უარყოფითი ელექტროდული პოტენციალის მქონე ლითონის გახსნა (იგი ანოდს წარმოადგენს). კათოდის როლს ან მეორე ლითონი ასრულებს, ან ელექტროლიტის მოლეკულები, რომლებსაც აღდგენა შეუძლია. დამცავი დანაფარის შესარჩევად აუცილებელია აგრესიული არის შედგენილობისა და ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნილი ქიმიური კოროზიის პროდუქტების თვისებების ცოდნა. მიკროგაღვანური წყვილების წარმოქმნის ასაცილებლად ლითონის სტრუქტურა ერთფაზა (სუფთა ლითონები ან მყარი ხსნარები), ერთგვაროვანი უნდა იყოს. ჰეტეროფაზური შენადნობის კოროზიის სქე-



სურ. №10. მჟავაში ჰეტეროფაზური შენადნობის კოროზიის სქემა

მა №10 სურათზეა წარმოდგენილი.

თერმული დამუშავება ცვლის შენადნობის აგებულებას და, აქედან გამომდინარე, მის კოროზიამდებობას. ისეთი სახის თერმული დამუშავება, რომელსაც ერთფაზა სტრუქტურის ჩამოყალიბებამდე მივყავართ, ზრდის კოროზიულ მდებობას. მაგალითად, უჟანგავი ფოლადის წრთობა, რაც განაპირობებს ერთგვაროვანი მყარი ხსნარის (აუსტენიტის) მიღებას.

პლასტიკური დეფორმაცია აუარესებს კოროზიულ მდებობას, რადგან იგი სტრუქტურაში ან დეტალის ცალკეულ უბნებში დაძაბულობათა გრადიენტის წარმოქმნას იწვევს. ყველაზე ხშირად სწორედ კოროზიული დაბზარვა წარმოადგენს კოროზიული არის, პლასტიკური დეფორმაციისა და შიგა დაძაბულობების ერთობლივი ზემოქმედების შედეგს. დაძაბულობის მოსახსნელად დაბალ მოშვებას ატარებენ, რომელიც ლითონის მექანიკური თვისებების გაუარესებას არ იწვევს.

ელექტროქიმიური კოროზიის აცილება ან უარყოფითი შედეგის შემცირება შესაძლებელია:

- კონტაქტში მყოფი ლითონებისა და შენადნობების რაციონალური შერჩევით კონკრეტული დატვირთვებისა და გარემოს ზემოქმედების პირობების გათვალისწინებით;

- დამცავი დანაფარების გამოყენებით, რომელიც მასალას კოროზიული გარემოსაგან გაამხოლოებს;

- ელექტროქიმიური დაცვით, რაც ელექტრული დენით კოროზიული პოტენციალის რეგულირებით ხდება.

შენადნობების ელექტროქიმიური კოროზიისადმი მდგრადობის ამადლების მეტალურგიული მეთოდები ისეთი ელემენტებით ლეგირებაში მდგომარეობს, რომლებიც ნაკეთობის ზედაპირზე დამოუკიდებლად ან ფუძეელითონთან ერთად დამცავ ფირებს წარმოქმნის; ამადლებს შენადნობის ელექტროქიმიურ პოტენციალს საკონტაქტო აგრესიულ არეში, აგრეთვე, ხელს უწყობს ისეთი მიკროსტრუქტურის ჩამოყალიბებას, რომელიც კოროზიულ რღვევას არ განიცდის. მაგალითად, ნახშირბადიან ფოლადებში კოროზია განპირობებულია რკინის ელექტროდული პოტენციალის უარყოფითი მნიშვნელობით და მიკროსტრუქტურის თავისებურებით. კოროზიისაგან მათი დაცვის ეფექტურ საშუალებას ქრომითა და ნიკელით ლეგირება წარმოადგენს.

4. წყალბადის, წყლისა და წყლის ორთქლის გარემო

საავიაციო და კოსმოსური ტექნიკის საექსპლუატაციო აირადი გარემოს უმრავლესობა, გარდა ჟანგბადისა, წყალბადს, ნახშირბადის ოქსიდებს, წყალს, წყლის ორთქლს და სხვა აგრესიულ კომპონენტებს შეიცავს. კერძოდ, წვის პროდუქტებს, რომელთა უმნიშვნელო რაოდენობით არსებობაც კი ახდენს გავლენას კოროზიის მიმდინარეობაზე. ასეთი კომპონენტები პრაქტიკულად მაღალტემპერატურულ, ჟანგბადის შემცველ აირად ნაკადში ორთქლის სახით იმყოფება. ისინი ლითონის ზედაპირზე სხვადასხვა ნაერთების სახით (K_2SO_4 , Na_2SO_4 და ა.შ) კონდენსირდება, რის შედეგადაც ხდება ქიმიური ჟანგვის პროცესის გადასვლა ე.წ. მაღალტემპერატურულ ელექტროქიმიურ კოროზიაში და კოროზიის მექანიზმის რადიკალურ შეცვლას განაპირობებს.

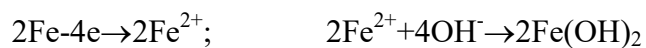
ჰაერი ფართოდ გამოიყენება საწვავის წვის პროცესში, როგორც ქიმიური რეაგენტი. ამასთანავე, მისი ეფექტურობა ჟანგბადით გამდიდრების გზით იზრდება. ჰაერის ძირითად აგრესიულ მდგენელს სწორედ ჟანგბადი წარმოადგენს, რომელიც ლითონებისა და შენადნობების მაღალტემპერატურულ აირულ კოროზიას იწვევს. აზოტი ნაკლებად სახიფათოა, რადგან ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნილი ოქსი-

დური ფირი აზოტისათვის პრაქტიკულად გაუმტარია. გამონაკლისს გაფაშრებული ხენჯი წარმოადგენს, რომლის გავლითაც აზოტი ლითონის ზედაპირამდე აღწევს, რეაგირებს მასთან და გამყიფებას იწვევს.

წყალი, ტენიანი ჰაერი და წყლის ორთქლი ნეიტრალურ არეს (H^+ და OH^- იონების კონცენტრაცია დაახლოებით თანაბარია) მიეკუთვნება. მაგრამ, თუ მათში მარილები და აირებია (CO_2 , SiO_2 , აზოტის ოქსიდი) გახსნილი, შეიძლება როგორც ტუტე (OH^- -ის გაზრდის შემთხვევაში), ისე მჟავე (H^+ -ის გაზრდის შემთხვევაში) არეებად გადაიქცეს. ასეთ ელექტროლიტებს შეუძლია გახსნან ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნილი კოროზიის პროდუქტების დამცავი ფირი და მკვეთრად დააჩქაროს კოროზიული პროცესები. აღნიშნულ არეებში აირული კოროზია მაღალ ტემპერატურაზე ძლიერდება. რადგან წყალში და წყლის ორთქლში აგრესიულ რეაგენტებს წარმოადგენს როგორც ჟანგბადი, ისე წყალბადი, მაღალტემპერატურული ქიმიური ჟანგვა ელექტროქიმიური კოროზიის პარალელურად მიმდინარეობს.

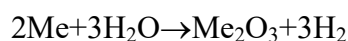
H_2-H_2O ატმოსფეროში ჟანგვის სიჩქარე, ჟანგბადის დაბალი პარციალური წნევის გამო, მასალების უმრავლესობისათვის (ნიკელი, რკინა და მათი შენადნობები) უფრო დაბალია, ვიდრე ჰაერზე. ზოგიერთი შენადნობი კი (ვანადიუმის შემცველი უხვადლევირებული ფოლადები და შენადნობები) საერთოდ არ ხასიათდება წყლის ორთქლში ჟანგვისადმი მიდრეკილებით. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, წყლის ორთქლის დაჭუჭყიანება სხვადასხვა რეაგენტით (Na_2SO_4 , $NaOH$, $NaCl$) მრავალჯერ ზრდის კოროზიის სიჩქარეს.

ლითონები, რომლებსაც წყალბადთან შედარებით უარყოფითი სტანდარტული პოტენციალი გააჩნია, კოროზიას ჟანგბადით გამდიდრებულ წყალში ან ტენიან გარემოში განიცდის. ლითონიდან ხსნარში გადასული იონები ურთიერთქმედებს OH^- ჰიდროქსიდ-იონებთან და წყალში უხსნად ჰიდროქსიდებს – ჟანგს წარმოქმნის. რკინის ელექტროლიტური ჟანგვის სქემა ასეთია:



რკინის ჰიდროქსიდი $Fe(OH)_2$ წყალში გახსნილი ჟანგბადის თანაობისას $Fe(OH)_3$ -ად გარდაიქმნება. რადგან რკინის იონები $Fe(OH)_3$ უხსნად ნაერთშია დაკავებული, წონასწორული პოტენციალის მიღწევა შეუძლებელი ხდება და კოროზია ლითონის სრულ გახსნამდე მიმდინარეობს.

ლითონებს აქვს წყლის აღდგენის უნარი:



წარმოქმნილი წყალბადი ლითონში იხსნება და ამყიფებს მას. დაწყალბადი-

ანება მთელ რიგ ლითონებში, მაგალითად, ტიტანში, ცირკონიუმში და ზოგიერთ შენადნობში, კოროზიული დაბზარვის განსაკუთრებულ სახეს განაპირობებს, რომელსაც **წყალბადური სიმყიფე** ეწოდება. ეს განპირობებულია ლითონის მიკროფორებში წყალბადის ატომების თავმოყრის გამო, გაზრდილი წნევის ზონების წარმოქმნით.

მრავალი ლითონის მიდრეკილება აირად არესთან რეაქციისადმი, მათ შორის წყალბადთან, დიდ პრობლემებს ქმნის მათი მიღების, დამუშავებისა და მაღალ ტემპერატურულ პირობებში ექსპლუატაციისადმი. წყალბადური სიმყიფის წინააღმდეგ ბრძოლის ძირითად მეთოდებს წარმოადგენს:

- ისეთი ინჰიბიტორების (ნივთიერება, რომელიც ანელებს ქიმიურ პროცესს) გამოყენება, რომლებიც ამცირებენ წყალბადის ხსნადობის ზღვარს ლითონში;
- ალტერნატიული ტექნოლოგიების შერჩევა, რომელიც შეცვლის კოროზიის მექანიზმს წყალბადის გამოყოფით;
- გაუწყალბადოების მიზნით ლითონის მოწვა ვაკუუმში.

ლითონური კონსტრუქციების ელემენტებისათვის მეტად აგრესიულია საავიაციო-სარაკეტო საწვავის წვის პროდუქტები. აღნიშნულ ძრავებში საწვავად თხევადი და მყარი საწვავის (ნახშირწყალბადები, თხევადი წყალბადი, მეტალიზირებული საწვავი და ა.შ) მაღალენერგეტიკული ნარევი გამოიყენება, ხოლო დამუხანგველად – ჰაერი, ჟანგბადი, ფტორი, აზოტმჟავა და ა.შ. გარდა მაღალტემპერატურული ჟანგვისა და წყალბადური სიმყიფის განვითარებისა, ძრავების აირდინამიკური ტრაქტის ლითონებისათვის დიდ საშიშროებას სულფიდური კოროზია წარმოადგენს. იგი წვის პროდუქტებში სულფიდური ნაერთების (SO_2 , H_2S და ა.შ) არსებობის შემთხვევაში ვითარდება. არანაკლებ სახიფათოა ე.წ. „ნაცროვანი კოროზია“, რომელიც მინერალური ნივთიერებების (ქლორიდების, სულფიდების, ოქსიდების, ვანადიუმის სულფატების, ტუტემიწათა ლითონებისა და ა.შ) არსებობით არის გამოწვეული. მათ წვის პროდუქტები შეიცავს აირად, თხევად თუ მყარ მდგომარეობაში. „ნაცროვანი კოროზიის“ მიმართ მდგრადობის ამაღლება შესაძლებელია:

- შენადნობის ლეგირებით ისეთი ელემენტებით, რომლებიც ზედაპირზე ოქსიდების, სულფიდების და ა.შ. დამცავ ფენას წარმოქმნის;
- ზედაპირზე სპეციალური დამცავი დანაფარის დატანით, რომელიც გაუმტარი იქნება გარემოს აგრესიული ელემენტებისათვის;
- სათბობის ინჰიბიტორული დამუშავებით, რომელიც წვის პროდუქტებში ყველაზე აგრესიული შემდგენის წარმოქმნის შესაძლებლობას გამორიცხავს;

- სპეციალური კონსტრუქციული გადაწყვეტებით.

ლითონების უმრავლესობა კოროზიის მიმართ საკმაოდ მდგრადია შეზღუდულ გარემოში. მაგალითად, ნიობიუმი ხასიათდება მაღალი კოროზიული მედეგობით ჰაერზე, ჟანგბადში, წყალში, ამიაკში, აზოტმჟავაში და კიდევ სხვა არეებში, ნორმალურ და მცირედ გაზრდილ ტემპერატურაზე, მაგრამ, არამდგრადია მლღობ მჟავაში, ტუტეებში და ფტორიდებში; კატასტროფულად ირღვევა ჟანგბადის შემცველ მაღალტემპერატურულ გარემოში, მათ შორის ჰაერზე. უჟანგავი ფოლადები მდგრადია ჰაერზე, წყლის ორთქლში, მრავალი სახის წვის პროდუქტებში 800-900°C-ზე, აგრეთვე მარილმჟავაში, მაგრამ აქვს მიდრეკილება გაუნახშირბადოების, წყალბადით გაჯერებისა და „ნაცროვანი“ და სულფიდური კოროზიის მიმართ. ამიტომ, მასალის შერჩევისას ტექნიკის მრავალფეროვანი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია საცნობარო ლიტერატურის გამოყენება, საქსპლუატაციო (კოროზიული) გარემოს გათვალისწინებით.

5. რადიაციული დასხივება

მასალების რადიაციული დასხივება განპირობებულია დედამიწის გარშემო არსებული ძლიერი რადიაციული ველით. ეს, უპირველეს ყოვლისა, არის კორპუსკულური რადიაცია – დედამიწის მაგნიტური ველით წატაცებული ელექტრონები და პროტონები; კოსმოსური სხივები – მაღალი ენერჯის ნაწილაკები, რომლებიც ჩვენამდე გალაქტიკის სიღრმიდან და სამყაროს სხვა სივრცეებიდან აღწევს; მზის კოსმოსური სხივები – ნაწილაკების ნაკადი, რომელიც გენერირდება მზეზე რაღაც აფეთქებების შედეგად და ბოლოს, მზის ქარი – კორპუსკულების უწყვეტი ნაკადი (პროტონები, α ნაწილაკები), რომელიც მზიდან ვრცელდება და პლანეტათაშორის სივრცეს ავსებს.

დასხივების ზეგავლენით მასალა სტრუქტურულ ცვლილებებს განიცდის, რომელიც ექსპლუატაციის პროცესში მათი თვისებების არასასურველი მიმართულებით შეცვლას იწვევს. ყველაზე ძლიერ ზემოქმედებას ნეიტრონებით დასხივება ახდენს. α ნაწილაკების, პროტონებისა და, მით უმეტეს, მსუბუქი β ნაწილაკებისა და γ გამოსხივების ზემოქმედება სუსტია. აქედან გამომდინარე, მასალებს, რომლებსაც მუშაობა გამოსხივების პირობებში უწევს, რადიაციული მდგრადობა უნდა ახასიათებდეს. რადიაციული მდგრადობა გულისხმობს სტრუქტურისა და თვისებების სტაბილურად შენარჩუნებას დასხივების პირობებში.

რადიაციული ზემოქმედების ეფექტი ყველაზე ძლიერ წახნაგდაცენტრებული კუბური გისოსის მქონე ლითონებში ვლინდება. რადიაციული დასხივების შედეგად იზრდება წერტილოვანი და ხაზოვანი დეფექტების კონცენტრაცია, ვითარდება მიკროფორიანობა და სხვა სახის დაზიანებები; მიმდინარეობს ატომების იონიზაცია (ელექტრონების მოწყვეტა გარე ელექტრონული გარსიდან ან მათი გადაყვანა უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე); აღიჭვრება ხელოვნური რადიოაქტიურობა. ნაწილაკების პირველი შეჯახება კრისტალურ გისოსში განლაგებულ ატომებთან, მათ აღზნებას და გადაადგილებას იწვევს, რადგან ნაწილაკებისაგან ისინი გარკვეულ დამატებით ენერგიას იძენენ. აღზნების შედეგად იზრდება დასხივებული და მისი მეზობელი ატომების რხევითი მოძრაობა, რასაც თან სდევს კრისტალის მცირე მოცულობაში ტემპერატურის ლოკალური გაზრდა.

თუ ატომი ღებულობს რაღაც E_a ენერგიას, რომელიც მისი გადაადგილებისათვის საჭირო E_c ენერგიას აღემატება, იგი ტოვებს თავის რეგულარულ ადგილს და კრისტალური გისოსის კვანძებს შორის გადადის. რეგულარული მდგომარეობიდან კვანძებს შორის ატომის გადანაცვლება ე.წ. „ფრენკელის წყვილის“ (კვანძებს შორისი ატომისა და ვაკანსიების) გაჩენას იწვევს. E_a ენერგია, რომელსაც ნაწილაკი ატომს გადასცემს მასთან დრეკადი შეჯახებისას, ტოლია:

$$E_a = \frac{4EMm}{(M+m)^2} \quad (4)$$

სადაც E და m არის ნაწილაკების ენერგია და მასა,

M – ნაწილაკთან ურთიერთქმედებაში მოსული ატომის მასა.

ეს გამოსახულება სამართლიანია ისეთი ნაწილაკებისათვის, რომელთა მოძრაობის სიჩქარე სინათლის გავრცელების სიჩქარეს (მაგალითად, პროტონები და ნეიტრონები) არ აღემატება. წარმოდგენილი ფორმულიდან გამომდინარე, მძიმე ნაწილაკებით დასხივებამ კრისტალური გისოსის დეფექტების არსებითი ცვლილება უნდა გამოიწვიოს.

ისეთი ნაწილაკებით დასხივებისას, რომელთა მოძრაობის სიჩქარე სინათლის გავრცელების სიჩქარის თანაზომადია (ელექტრონები), ზემოთ წარმოდგენილი გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$E_a = \frac{2E(E + 2mc^2)}{Mc^2} \quad (5)$$

სადაც m არის მშვიდი ელექტრონის მასა;

c - სინათლის გავრცელების სიჩქარე.

მე-4 და მე-5 გამოსახულება საშუალებას იძლევა დასხივების ის მინიმალური ენერგია გამოითვალოს, რომელიც კრისტალურ გისოსში მდგრადი დეფექტების წარმოქმნას განაპირობებს.

დიდი ენერგიის მქონე მიმე ნაწილაკებით დასხივების შემთხვევაში ატომების გადანაცვლებათა მთელი კასკადი წარმოიქმნება. სამიზნეს მასის გაზრდით მცირდება ატომების მეორეული გადანაცვლებათა რიცხვი და, აქედან გამომდინარე, ვაკანსიებისა და კვანძებსწორისი ატომების რაოდენობაც.

განსაკუთრებით ძლიერია ლითონებისა და შენადნობების თვისებებზე ნეიტრონების ზემოქმედება. ლითონში ნეიტრონების შეღწევადობის უნარი დიდია, რადგან ისინი არ არის ელექტრული მუხტის მატარებელი.

ნეიტრონებით ბომბარდირების შემთხვევაში ატომებთან შეჯახების ზონაში ტემპერატურული პიკები აღიძვრება, რომელთა არსებობის ხანგრძლივობა $\tau=0,5 \times 10^{-11}$ წამს შეადგენს და ლოკალიზებულია 1-10ნმ დიამეტრის არეში. ეს არეები რიგ შემთხვევაში გამდნარ, და შემდგომ პერიოდში, გამოკრისტალბულ ზონებს წარმოადგენს. ვოლფრამისა და მოლიბდენის ატომები, რომლებიც თერმული პიკის მოქმედების ზონაში იმყოფებიან, ვერ გადავა თხევად ფაზაში, თუთიასა და სპილენძში კი ლოკალური ნაღვლობი უბნების წარმოქმნის ალბათობა დიდია.

დამუხტული ნაწილაკების გავლა მყარ ტანში ინტენსიურ იონიზაციას და ატომთა ადგზნებას იწვევს. ლითონებში იონიზაციის ეფექტი სწრაფად ნეიტრალიზდება გამტარობის ელექტრონებით, რის გამოც ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შეცვლა არ შეინიშნება. რადიაციული დასხივება ცვლის მექანიკურ და მაგნიტურ თვისებებს, კუთრ ელექტროწინაღობას და თბოგამტარობას.

ერთ-ერთი ყველაზე არასასურველი მოვლენა, რომელსაც რადიაციული დასხივება იწვევს, ლითონის გამყიფება და მისი ცივტეხადობის ზღურბლის ამადლებაა. მაგალითად, ნეიტრონებით დასხივების შემდეგ მოლიბდენის ცივტეხადობის ზღურბლი 50-100K-ით იზრდება. ერთდროულად მცირდება დარტყმითი სიბლანტის აბსოლუტური მნიშვნელობაც.

დასხივების დროს ლითონის თვისებათა შეცვლის ხარისხი დამოკიდებულია ნეიტრონების ჯამურ ნაკადზე (ϕ), რომელიც განიკვეთის ერთეულში (მ^{-2}) გადის, აგრეთვე, დასხივებისა და ლითონის რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე. ბუნებრივია, დეფექტების რიცხვი გაიზრდება დასხივების ჯამური ნაკადის გაზრდით.

დასხივება რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვემოთ, ანუ დაბალტემპერატურული დასხივება, ლითონების მექანიკური თვისებების ცვლილების ხასი-

ათზე ისევე მოქმედებს, როგორც ცივად პლასტიკური დეფორმაცია: მასალა მტკიცდება, მაგრამ პლასტიკურობას კარგავს. ნახშირბადიანი ფოლადების მაქსიმალური სიმტკიცე 20⁰C-ზე მიიღწევა ნეიტრონების $f=2 \times 10^{23}$ მ⁻² ჯამური ნაკადის ნეიტრონებით დასხივების შემთხვევაში. f-ის შემდგომი გაზრდით თვისებები არ იცვლება.

რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზემოთ დასხივებას (მაღალტემპერატურული დასხივება) თან სდევს რადიაციული მოწვა, რაც კრისტალის მცირე მოცულობაში ტემპერატურის ლოკალური მატებით არის განპირობებული. ამ დროს მიმდინარეობს ვაკანსიებისა და კვანძებსშორისი ატომების ურთიერთქმედება – მათი ანიჰილაცია (ურთიერთმოსპობა), რაც დეფექტების კონცენტრაციას ამცირებს. ერთდროულად ხდება ვაკანსიების თავმოყრა რაღაც მოცულობაში, რომელიც მიკროფორებად შეიძლება გარდაიქმნას და მასალის გაჯირჯვება გამოიწვიოს. იგი ხელს უწყობს, აგრეთვე, სტრუქტურისა და მექანიკური თვისებების აღდგენას.

პერლიტური ფოლადების სტრუქტურა უმნიშვნელოდ იცვლება 250-450⁰C-ზე დასხივებისას, ხოლო 450⁰C-ის ზემოთ თვისებები პრაქტიკულად არ იცვლება, რადგან რეკრისტალიზაცია სრულად მიმდინარეობს. აუსტენიტური ფოლადები სტაბილურობას 600⁰C-ზე ზევით ინარჩუნებს, ალუმინი და მაგნიუმი კი, რომლებსაც რეკრისტალიზაციის დაბალი ტემპერატურა გააჩნია, რადიაციისადმი მდგრადობას 150⁰C-ზე ზევით ამჟღავნებს. მათი პლასტიკურობა არ იცვლება, სიმტკიცე კი მატულობს.

დასხივების შედეგად ხანგრძლივი სიმტკიცე ყოველთვის მცირდება, განსაკუთრებით ისეთ შენადნობებში, რომლებიც დაძველებას ექვემდებარება. ეს განპირობებულია დასხივების შედეგად დიფუზური პროცესების გააქტიურებით. ნეიტრონების ნაკადისა და დასხივების ტემპერატურის გაზრდით მცირდება, აგრეთვე, მხურვალსიმტკიცის მახასიათებლები.

ნეიტრონების გაზრდილი ნაკადით მაღალტემპერატურული დასხივების შედეგად ზოგიერთ ლითონში (აუსტენიტურ ქრომნიკელიან ფოლადებში და შენადნობებში, ნიკელის, მოლიბდენის, ტიტანის, ცირკონიუმისა და ბერილიუმის ფუძეზე დამზადებულ შენადნობებში) შეინიშნება გაჯირჯვება. ნეიტრონების $f=10^{24}$ მ⁻² ჯამური ნაკადით 800-900⁰C-ზე დასხივებისას ბერილიუმის მოცულობა იზრდება 3-5%-ით, 450⁰C-ზე $f=10^{27}$ მ⁻² დასხივებისას აუსტენიტური ფოლადისა – 10%-ით. მაქსიმალური ხარისხით მათი გაჯირჯვება 350-650⁰C ტემპერატურაზე შეინიშნება.

ბუნებრივია, გაჯირჯვება, გარდა მექანიკური თვისებების გაუარესებისა, დეტალების ფორმისა და ზომების შეცვლასაც იწვევს. უარყოფითი ეფექტი ძლიერდება

დასხივების შედეგად გაჩენილ მიკრობზარებში, მოლეკულური წყალბადისა ან წყალბადის შემცველი აირების თავმოყრით. ქრომნიკელიანი ფოლადის ლეგირება ტიტანით, მოლიბდენით და ნიობიუმით ამცირებს გაჯირჯვების ხარისხს. შესაძლებელია, ეს იყოს წყალბადის ხსნადობის ზღვრისა და დიფუზიის სიჩქარის შემცირების შედეგი რთულადლეგირებულ აუსტენიტში. აუსტენიტური ფოლადების ცივად პლასტიკური დეფორმაცია ამცირებს გაჯირჯვების ხარისხს.

მრავალ საკონსტრუქციო მასალაში, რომელიც დასხივების პირობებში მუშაობს, კოროზიულ არეს წყალი, ტენიანი გარემო ან გადახურებული ორთქლი წარმოადგენს. ლითონების მედეგობა ქიმიური კოროზიის მიმართ დასხივების პირობებში მცირდება, რადგან ინგრევა ზედაპირული დამცავი ფირი. ეს კი აჩქარებს კოროზიული რღვევის განვითარებას.

დასხივებისას ელექტროლიტის შედგენილობის შეცვლა მიმდინარეობს: წყლის მოლეკულები იშლებიან, რის შედეგადაც ჟანგბადისა და წყალბადის იონები, აგრეთვე OH^- ჰიდროქსიდის ჯგუფები წარმოიქმნება. ჟანგბადი ჟანგავს ლითონს, წყალბადი – აწყალბადიანებს და ამყიფებს. ორივე პროცესი – ჟანგვაც და დაწყალბადიანებაც აძლიერებს ლითონის ელექტროქიმიური დაშლის პროცესს, OH^- იონები კი ზედაპირული ოქსიდური ფირების გახსნას განაპირობებს. ამგვარად, დასხივება მკვეთრად აჩქარებს წყალში და წყლის ორთქლში კოროზიულ რღვევას, იწვევს ლითონის სტრუქტურულ დაზიანებას და ზედაპირზე წარმოქმნილი პასივირებული ოქსიდური ფირის შრის ნგრევას.

აღუმიწისა და მისი შენადნობების კოროზიის სიჩქარე, წყალში თბური ნეიტრონებით დასხივების პირობებში 190°C -ზე, 2-3-ჯერ იზრდება. ეს განპირობებული უნდა იყოს OH^- იონების კონცენტრაციის გაზრდით, რაც ოქსიდის დამცავი ზედაპირული ფენის გახსნას იწვევს. ამავე მიზეზით ცირკონიუმის შენადნობების კოროზიის სიჩქარე 20°C -ზე 50-70-ჯერ იზრდება.

ტენიან ორთქლში, დასხივების შედეგად, აუსტენიტურ ქრომნიკელიან შენადნობებში ადგილობრივი სახის კოროზია – კრისტალთშორისი, წერტილოვანი და კოროზიული დაბზარვა ვითარდება.

საკონსტრუქციო მასალების რადიაციული მედეგობის უზრუნველყოფა შესაძლებელია შესაბამისი ქიმიური შედგენილობის, სტრუქტურისა და ექსპლუატაციის ოპტიმალური პირობების უზრუნველყოფით: საექსპლუატაციო ტემპერატურის, დასხივებული ველის გვარობისა და ენერჯიის, დასხივების ნაკადის სიდიდისა და კო-

როზიული გარემოს თვისებების გათვალისწინებით. დაცვის ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას შენადნობების ისეთი რაციონალური შედგენილობის შერჩევა წარმოადგენს, რომელიც შთანთქავს ნეიტრონებს.

ტემპერატურის გაზრდით რადიაციული დასხივების შედეგად წარმოქმნილი დეფექტების კონცენტრაცია მცირდება. მაგალითად, 4-25K ტემპერატურაზე დასხივებულ სპილენძში მოწვის დროს მიმდინარე გარდაქმნების ხუთი სტადია შეიძლება გამოიყოს. I და II სტადია დაკავშირებულია ჩანერგილი ატომების მიგრაციასთან, კრისტალური გისოსის ვაკანტურ კვანძებში, სხვები კი თავისუფლდება გარშემორტყმული მინარევების ზემოქმედებისაგან. შემდგომ სტადიებში მიმდინარეობს შეწყვილებული კვანძებს შორის ატომების დისოციაცია (განცალკევება), მათი რეკომბინაცია ვაკანსიებთან და დეფექტების კომპლექსის სრული რღვევა ატომების თვითდოფუხიის ხარჯზე. სპილენძში მოწვის დროს მიმდინარე პროცესები იწყება 70K ტემპერატურაზე და მთავრდება 450K-ზე ზემოთ. სხვა ლითონებისათვის სურათი, მთლიანობაში, ანალოგიურია, თუმცა სტადიების ტემპერატურული დონეები რამდენადმე განსხვავებული.

6. მაღალი წნევა და ღრმა ვაკუუმი

როგორც ზემოთ წარმოდგენილი მასალიდან გამომდინარეობს, ნივთიერება მეტად მგრძობიარეა გარე ფაქტორების ზემოქმედების მიმართ. ისინი ცვლის ლითონების შინაგან სტრუქტურას, ელექტრონულ-იონურ აგებულებას და, აქედან გამომდინარე, ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებსაც. აღნიშნული ფაქტორების გავლენა მასალის აგებულებასა და თვისებებზე ჯერ კიდევ სრულად არ არის შესწავლილი, თუმცა, ზოგიერთი კვლევის შედეგი მართლაც უნიკალურია. ამის მაგალითად გამოდგება მაღალი წნევის პირობებში დაკრისტალებული ნივთიერებების თვისებები.

ცნობილია, რომ ჩვეულებრივ ატმოსფერულ პირობებში ყინული დნება 0°C ტემპერატურაზე, ხოლო ე.წ. ყინული-VII, რომელიც მაღალი წნევის პირობებშია დაკრისტალებული - 442°C -ზე.

გამოთვლებით ნაჩვენებია, რომ ორ მილიონ ატმოსფერულ წნევას წყალბადი ლითონურ მდგომარეობაში გადააქვას. ლითონური წყალბადი კი უნდა ხასიათდებოდეს ზეგამტარული თვისებებით და ეს მდგომარეობა შენარჩუნებული იქნება არა მარტო ოთახის, არამედ 10^2 - 10^3K ტემპერატურულ პირობებშიც. საკითხავია, შენარჩუნდება თუ არა მიღწეული ლითონური მდგომარეობა ზემადალი წნევის მოხსნის

შემდეგ, თუმცა, ამის ფაქტი არსებობს – ხელოვნური ალმასი არ განიცდის თავის-თავად უკუგარდაქმნას წნევის მოხსნის შემდეგ.

პირიქით, ღრმა ვაკუუმის ზემოქმედებით მიმდინარეობს ლითონის აორთქლება, რომლის სიჩქარე აისახება ფორმულით:

$$W = \frac{P}{C} \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (6),$$

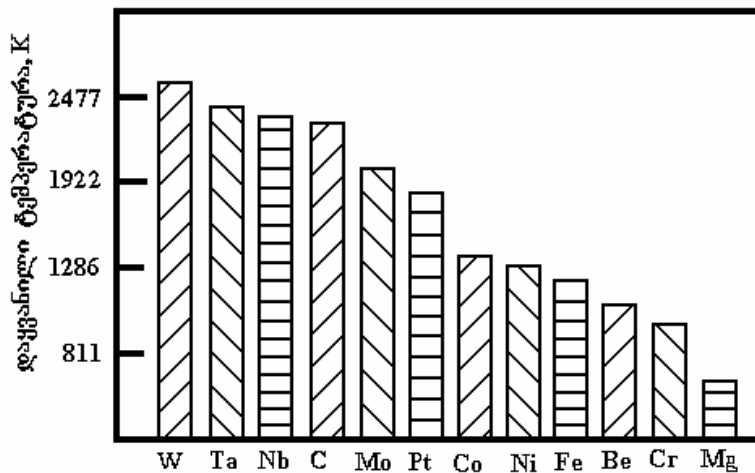
სადაც P არის ლითონის ორთქლის წნევა,

M - ლითონის მოლეკულური წონა აირად მდგომარეობაში,

T – აბსოლუტური ტემპერატურა,

C – მუდმივა.

№11 სურათზე წარმოდგენილია დაყვანილი ტემპერატურები, რომლის დროსაც ვაკუუმში აორთქლების შედეგად სხვადასხვა ლითონის დანაკარგები 0,25მმ–ს შეადგენს წელიწადში. როგორც ნომოგრამიდან ჩანს, ვაკუუმში საექსპლუატაციოდ ყველაზე მისაღებია W, Ta, Nb, Mo Co და Ni. მრავალ მალეგირებელ ელემენტს, რომელიც შენადნობებში გამოიყენება, მიდრეკილება აქვს ინტენსიური აორთქლებისადმი, თუმცა მათი აორთქლების სიჩქარე უფრო ნაკლებია, ვიდრე იგივე ელემენტებისა სუფთა მდგომარეობაში. შენადნობებიდან ელემენტების აორთქლება თავდაპირველად იწვევს წერტილოვანი დეფექტების, ხოლო შემდეგ – მიკროსიცარიელების წარმოქმნას, რაც ლითონის სიმტკიცის კარგვას განაპირობებს.



სურ. №11. ლითონების აორთქლების დაყვანილი ტემპერატურები

ნაკეთობის თავისუფალი ზედაპირის მდგრადი მდგომარეობა მხოლოდ კრისტალისა და აირადი ფაზის თერმოდინამიკური წონასწორობის შემთხვევაში მიიღწევა. თუ ასეთი მდგომარეობა დაირღვა, მაშინ ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე დაიწ-

ყება პროცესები, რომლებიც წონასწორობის აღდგენისაკენ იქნება მიმართული: ან კონდენსაცია აირადი ფაზიდან ლითონის ზედაპირზე, ან ლითონის სუბლიმაცია, ანუ ნივთიერების გადასვლა მყარი ფაზიდან უშუალოდ აირად მდგომარეობაში.

დადგენილია, რომ თანაბარ პირობებში MA-11 მაგნიუმის შენადნობის მექანიკურად დამუშავებული ზედაპირიდან სუბლიმაცია დაახლოებით 6-ჯერ უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე იგივე მასალის გაპრიალებული ზედაპირიდან. ცხადია, სუბლიმაციის სიჩქარის შემცირება დაკავშირებულია გაპრიალების შედეგად ზედაპირული დეფექტების სიმკვრივის მნიშვნელოვნად შემცირებასთან.

სუბლიმაციის მიმდინარეობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნილი ოქსიდური ფირი. თუმცა, უმრავლეს შემთხვევაში, ოქსიდური ფირი არ არის აბსოლუტურად მკვრივი, არამედ სხვადასხვა სახის მიკროარამთლიანობით ხასიათდება. ვაკუუმში იზოთერმული მოწვის დროს, აქროლადი კომპონენტის ატომები ლითონის ზედაპირს ამ დეფექტების გავლით ტოვებს, რაც აღნიშნულ ზონაში ვაკანსიების ყველაზე დიდ კონცენტრაციას ქმნის. ვაკანსიების კოაგულაციის შედეგად „ლითონი-ოქსიდური ფირი“ ფაზათა გაყოფის საზღვარზე მიკროფორები წარმოიქმნება, რაც ხელს უწყობს ფირის განშრევებას და ნგრევას. იზრდება დეფექტების ფართობი და მინარევი ატომების აორთქლების ინტენსიურობა.

ლითონმცოდნეობის თვალსაზრისით კოსმოსი ბუნების მიერ შექმნილ გიგანტურ ლაბორატორიას წარმოადგენს, ექსტრემალური პირობებით, რაც მკვეთრად ცვლის საკონსტრუქციო მასალების საექსპლუატაციო პირობებს. კოსმოსი – ეს არის ბუნებრივი ღრმა ვაკუუმი, უფასო მზის ენერგია (მაღალი ტემპერატურა, მზის ღუმელი), კოსმოსური სიცივე – ტემპერატურა, რომელიც ახლოს დგას აბსოლუტურ ნულთან. ამას უნდა დაემატოს უწონადობა, რაც კრისტალიზაციისა და კრისტალების ზრდის პროცესის მართვის საშუალებას იძლევა. უწონადობის პირობებში შესაძლებელია ისეთი ნივთიერებების ერთმანეთში შერევა, რომლებიც დედამიწის პირობებში შეუთავსებელია.

კოსმოსში კოლოსალური სიდიდის დაძაბულობის მაგნიტური ველია – ასეული და ათასეული მილიარდი ერსტედი. ასეთ ველში შეტანილი ნივთიერების ატომები მაგნიტური ველის გასწვრივ იწელება, წვრილი ნემსის ფორმას ღებულობს და მკვეთრად იკუმშება. შედეგად კრისტალში მეტად მაღალი ენერგიის კავშირის ძალები წარმოიქმნება. ნივთიერების დნობის ტემპერატურა მილიონამდე გრადუსს აღწევს.

7. შეჯახება მყარ ნაწილაკებთან

მეტეორიტული მტვერი წარმოადგენს ნაწილაკებს, რომელთა ზომა მიკრომეტრის რამდენიმე მეათედს შეადგენს და 11,1-დან 73,4 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. ასეთი ენერგიის ნაწილაკები ლითონის ზედაპირთან შეჯახებისას მის თანდათანობით დაშლას იწვევს, იცვლება მასალის ოპტიკური თვისებები და ირღვევა მუშაობის თბური რეჟიმი, ზედაპირის სიმქისის გაზრდის გამო. უნდა აღინიშნოს, რომ 3მმ დიამეტრის მქონე მეტეორიტის 6,33 მ/წმ სიჩქარით ფრენისას, მისი ენერგიის უდიდესი ნაწილი სითბოში გადადის. ამიტომ, სამიზნეს ის ნაწილი, რომელიც ამ სითბოს შემოქმედების ქვეშ აღმოჩნდება, თითქმის დნობის ტემპერატურამდე ხურდება. ბუნებრივია, დაზიანებული არის ზომები, რომელიც არსებითად, აღემატება მეტეორიტის ზომებს.

მეტეორიტული ეროზიის შედეგად მასალის სისქის ჯამური დანაკარგი, დიდ სიმაღლეზე 0,16მ-ს შეადგენს წელიწადში, ხოლო დედამიწიდან რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე ეს მახასიათებელი დაახლოებით 20 ნანომეტრამდე იზრდება წელიწადში. ეროზიის შედეგი მუდავნდება მცირე ზომის ნახევარსფეროს ფორმის ჩაღრმავებების სახით. თუ მტვრის ნაწილაკი მკვრივია, ნაჯაოს (ეროზიის შედეგად გაჩენილი ჩაღრმავების) დიამეტრი 10მკმ-ს აღწევს, ხოლო თუ ნაწილაკის სტრუქტურა ფხვიერი, გაფაშრებულია, ნაჯაოს ზომა 100მკმ-მდე იზრდება.

დედამიწიდან საკმაოდ დაშორებულ სივრცეში მკვრივი ნაწილაკების სამიზნესთან შეჯახების შედეგად, ერთი ნაჯაო რამდენიმე კვადრატულ სანტიმეტრზე წარმოიქმნება, დედამიწასთან მახლობელ სივრცეში კი – დაახლოებით 10^4 ნაჯაო იგივე ფართობზე წელიწადში. გაფაშრებული ნაწილაკებით გამოწვეული დაზიანების ალბათობა შესაბამისად 10^2 სმ² და 10^3 სმ² შეადგენს წელიწადში.

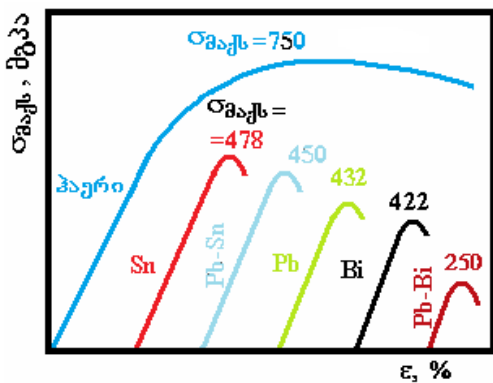
8. კონტაქტი თხევად ლითონებთან

საავიაციო-კოსმოსურ ტექნიკასა და ატომურ ენერგეტიკაში ფართოდ გამოიყენება ისეთი კონსტრუქციები, რომლებსაც უშუალო კონტაქტი აქვს ლითონის ნაღვლებთან და ადვილდნობად ლითონებთან. ესენია, მაღალტემპერატურული საცივებელი დეტალები თხევადი ლითონის თბოგადამტანებით, კონსტრუქციის ნარჩილი კვანძები, გადახურებული ანტიფრიქციული შენადნობები, რეაქტორის მილები, დეტალები ადვილდნობადი ზედაპირული დანაფარებით და ა.შ.

პრაქტიკაში არც თუ იშვიათია თხევად ლითონურ არესთან კონტაქტის პირობებში დეტალების სახიფათო, მყიფე რღვევის განვითარების შემთხვევები. ამიტომ, ნაკეთობის საიმედოობისა და ხანგამძლეობის პრობლემების გადაჭრისას აუცილებელია თხევადი ლითონის ფიზიკურ-ქიმიური ზეგავლენის თავისებურებების გათვალისწინება.

თხევად ლითონთან კონტაქტში მყოფი ნაკეთობის გამყიფების მიზეზი დაკავშირებულია ე.წ. სიმტკიცის აღსორბციული შემცირების ეფექტთან. ბზარის განვითარების სიჩქარე მოდებული ძაბვისა და გამდნარი ლითონის ზემოქმედებით იმდენად მაღალია, რომ მისი წარმოქმნა არ შეიძლება აისხნას ქიმიური ან დიფუზური პროცესებით. აქ საქმე უფრო რთულადაა. გამყიფების პროცესი ორი ძირითადი მიზეზით უნდა იყოს განპირობებული: მყარი ტანის ზედაპირთან კონტაქტში მყოფი აქტიური ნაღვლის ატომების ლითონის სიდრემში ჩასახულ მიკრობზარებამდე ადვილად შედწევიან, სტრუქტურის დეფექტების გავლით და მეორე, სითხით დასველების გამო, მყარი ტანის ზედაპირული ენერჯის მნიშვნელოვანი შემცირებით. ყოველივე ეს ლითონის გაგლეჯაზე წინააღმდეგობის შემცირებას და, როგორც შედეგი, მყიფე რღვევის განვითარებას იწვევს.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (ადვილდნობადი ლითონები და შენადნობები თხევად მდგომარეობაში) ზემოქმედება დატვირთული პოლიკრისტალის ქცევაზე როგორც ხანმოკლე, ისე ხანგრძლივი გამოცდებისას მუდგანდება. H77TIO მხურვალმტკიცე ნიკელის შენადნობის დეფორმაციის მრუდები, რომლებიც ჰაერზე და თხევადი კალის, ტყვიის, ბისმუტისა და მათი შენადნობების (Pb-Sn, Pb-Bi) არეში გამოცდისას არის ჩაწერილი, გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად არის შემცირებული სიმტკიცის მახასიათებლები (სურ. №12), ბლანტი



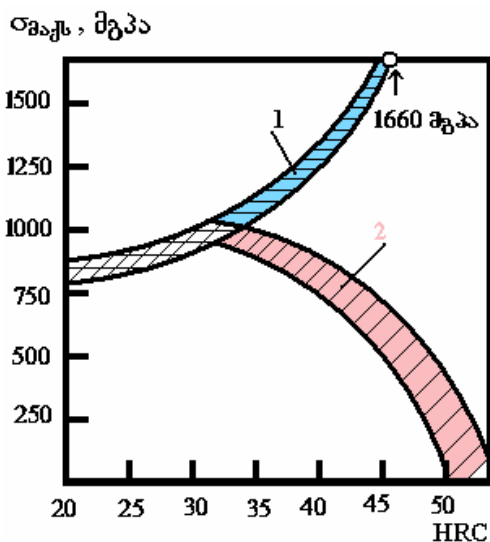
სურ. №12. XH77TIO შენადნობის გაჭიმვის მრუდები ჰაერზე და ლითონურ ნაღვლებში ($t_{გაჰ}=700^{\circ}\text{C}$)

რღვევა კი მყიფე რღვევით არის შეცვლილი. შენადნობის სიმტკიცის ზღვარი 750მპა-დან 250მპა-მდე მცირდება Pb-Bi სისტემის თხევად, ევტექტიკურ შენადნობში გამოცდისას.

პოლიკრისტალური ლითონების სიმტკიცის მახასიათებლების შემცირების ხარისხი ურთიერთშეხებაში მყოფი არეების ფიზიკურ ბუნებაზეა დამოკიდებული. უდიდესი აქტიურობით გამოირჩევა არა სუფთა

ლითონები, არამედ მათი ევტექტიკური შენადნობები. ლითონური ნაღვლის ზემოქმედებით თვისებათა შეცვლა სხვადასხვაგვარი ლითონების ურთიერთკონტაქტის პირობებში მქდავანდება. მაგალითად, თუთია მყიდება და სიმტკიცეს კარგავს მისი ვერცხლისწყლითა და გალიუმით, თითბერი – კალით, ვერცხლისწყლით, ლითონით და ბისმუტით, ხოლო ალუმინის შენადნობები – კადმიუმითა და ვერცხლისწყლით დასველებისას. ფოლადისათვის მეტად საშიშია კონტაქტი გამდნარ კადმიუმთან. ეს პრობლემა აღიძვრება, აგრეთვე, ფოლადის კონსტრუქციების რჩილვისას, როდესაც ტექნოლოგიურად აუცილებელია მასალის ხანმოკლე კონტაქტი თხევად სარჩილთან.

თხევადი ლითონით გამყიდების ევექტს ძლიერ ზრდის ზედაპირზე არსებული ჩანაჭრები და ძაბვის სხვა კონცენტრატორები. აღსანიშნავია, რომ ნაღვლისა და დაძაბული მყარი ტანის ურთიერთშეხების ფართობს არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს. უმთავრესია ფოლადის სისაღისა და სიმტკიცის დონე. მაღალი სიმტკიცის ფოლადებში განსაკუთრებით სახიფათოა ადვილდნობადი ნაღვლის უარყოფითი მოქმედება (სურ. №13). თხევადი ლითონების ზეგავლენით რღვევა, უმეტეს შემთხვევაში, მყარი ხსნარის მარცვლის საზღვრებზე მიმდინარეობს. პოლიკრისტალურ აგრეგატებში მარცვლის საზღვრები გაზრდილი ენერგიით ხასიათდება, ამიტომ, ეს უბნები



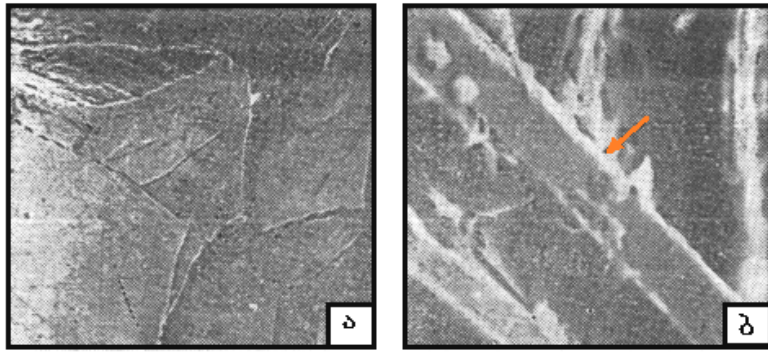
სურ. №13. 40XHMA ფოლადის სიმტკიცის ზღვარსა და სისაღეს შორის დამოკიდებულება.

1 – ჰაერზე, 2 – ლითონის ნაღვლში.

მეტად ხელსაყრელ გზას წარმოადგენს თხევადი ლითონის ატომების დიფუზიისა და შემდგომში ბზარის წარმოქმნისათვის. ეს კი კრისტალთშორისი ტეხილის განვითარების წინაპირობაა.

ელექტრონულმიკროსკოპული კვლევით მსურვალმტკიცე XH77TiO ნიკელის შენადნობში, ბზარის პირთან, დაფიქსირებულია ტყვია-ბისმუტი ევტექტიკის არსებობა (სურ. №14 ისრით მითითებული უბნები), რაც განპირობებულია დაძაბული ლითონის კონტაქტირებით თხევად ხსნართან.

ბუნებრივია, არსებობს ისეთი კვანძები, სადაც ნაღვლისა და ლითონური დეტალის კონტაქტი გარდუვალია. ამიტომ, აუცილებელი გახდა, თხევადი ლითონის ზეგავლენით, ნაკეთობის გამყიდებისაგან



სურ. №14. XH77TIO შენადნობის რღვევის ხასიათი Pb-Bi სისტემის თხევადი არის ზემოქმედებით.
 ა - x400; ბ - x5500.

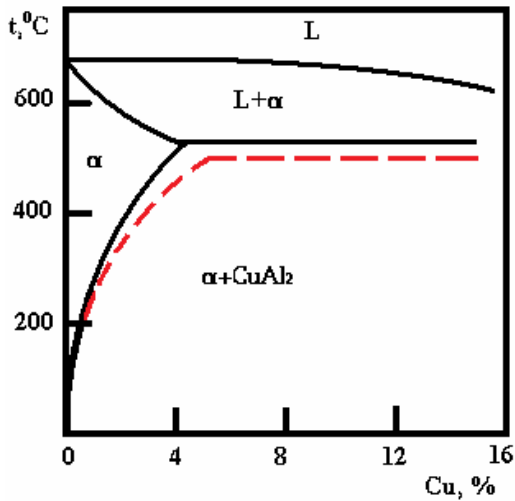
დაცვის ხერხების ძიება. მაგალითად, შესაძლებელია ფოლადის კვანძების რჩილვით შესაერთებელი უბნების დაფარვა საკმაოდ მაღალი ხარისხის სპილენძის ან ნიკელის ქვეშით; Sn-Zn სისტემის სარჩილის შეცვლა ვერცხლის სარჩილით; რჩილვის წინ ფოლადის დეტალების შეერთების ადგილებში დაძაბულობის მოხსნა; შესაძლებლობის ფარგლებში რჩილვის ჩატარება დაბალ ტემპერატურაზე.

თხევადი ლითონის თბოგადამტანების გამოყენების შემთხვევაში (ნატრიუმი, კალიუმი და მათი ევტექტიკური ნაღვლები) ნიკელის მხურვალმტკიცე შენადნობების საკონტაქტო ზედაპირზე დატანილი უნდა იყოს მოლიბდენის დამცავი დანაფარი. კონსტრუქციების ცხელ ზონასთან არ უნდა იყოს გამოყენებული ადვილდნობადი დანაფარით დაცული სამაგრი დეტალები, მაგალითად, კადმირებული ქანჩი და ჭანჭიკი.

9. ელექტრული და მაგნიტური ველი

ელექტრული და მაგნიტური ველის ზემოქმედება ლითონებში სუსტად მჟღავნდება, რადგან გარე ელექტრული ველი მასალის ზედაპირული შრეებით ეკრანირდება და შიგა ფენებში ვერ აღწევს. ნახევრად გამტარებსა და დიელექტრიკებში კი მათი ზემოქმედება მნიშვნელოვანია.

განსაკუთრებულია ელექტრული ველის გავლენა სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესზე, ანუ კრისტალიზაციაზე და ნაკეთობის თერმული დამუშავების რეჟიმზე. ამ შემთხვევაში ელექტრულმა ველმა შესაძლებელია ისეთი შეუქცევადი სტრუქტურული ცვლილებები გამოიწვიოს, რაც მასალათა თვისებებს გააუმჯობესებს. ასეთი ზემოქმედების ფიზიკური ბუნება მალეგირებელი ელემენტების ხსნადობის ზღვრის გაზრდასთან არის დაკავშირებული. ლეგირების ხარისხის გაზრდით მა-



სურ. №15. ელექტრული ველის გავლენა Al-Cu სისტემის მდგომარეობის დიაგრამაზე (პუნქტირი)

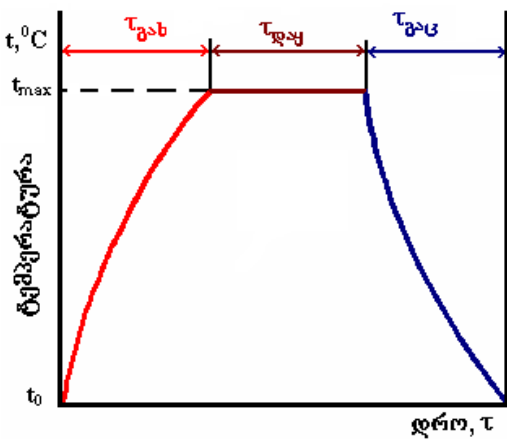
ტულობს მეარი ხსნარის სისალე, სიმტ-
 კიცე და მხურვალსიმტკიცის მახასიათებ-
 ლები, სათანადო თერმული დამუშავების
 შემდეგ. გარდა ამისა, მაგნიტური ველის
 ზემოქმედების ქვეშ თერმული დამუშავე-
 ბის ჩატარება სტრუქტურაში უფრო მეტი
 წვრილდისპერსიული ნაწილაკების მიღე-
 ბას უზრუნველყოფს. წონასწორული მდგო-
 მარეობის დიაგრამაზე შეინიშნება, აგრეთ-
 ვე, ხაზების წანაცვლება (სურ. №15). რო-
 გორც დიაგრამიდან ჩანს, ალუმინში სპი-
 ლენბის ზღვრული ხსნადობის აღმნიშვნე-

ლი ხაზი მარჯვნივ არის დაძრული, რაც ხსნადობის ზღვრის გაზრდაზე მიუთი-
 თებს. ამგვარად, წრთობის წინ ელექტრული ველის ზემოქმედებით შესაძლებელია
 გახურება უფრო დაბალ ტემპერატურამდე განხორციელდეს.

III თავი. თერმული და ქიმიურ-თერმული დამუშავების გავლენა ნაკეთობის თვისებებზე

თერმული დამუშავება არის ლითონური შენადნობების თვისებათა სასურველი მიმართულებით შეცვლის უმნიშვნელოვანესი საშუალება. თერმული დამუშავების დროს იცვლება ლითონის სტრუქტურა და, შესაბამისად, თვისებები მისი ქიმიური შედგენილობის შეუცვლელად.

თერმულ დამუშავებაზე ორი ძირითადი ფაქტორი მოქმედებს: ტემპერატურა და დრო. აქედან გამომდინარე, ნებისმიერი თერმული დამუშავების რეჟიმი შეიძლება გამოისახოს კოორდინატთა სისტემაში ტემპერატურა (t) – დრო (τ). №16 სურათზე წარმოდგენილია თერმული დამუშავების ზოგადი გრაფიკი.



სურ. №16. თერმული დამუშავების ზოგადი გრაფიკი

თერმული დამუშავების რეჟიმს შემდეგი ძირითადი პარამეტრები ახასიათებს: გახურების ტემპერატურა t_{max} . ეს არის ზედა ზღვრული ტემპერატურა, სადამდეც ხურდება ნაკეთობა, თერმული დამუშავების დროს; გახურების ტემპერატურაზე ნაკეთობის დაყოვნების დრო $\tau_{დაყ}$; გახურების სიჩქარე $V_{გახ}$ და გაციების სიჩქარე $V_{გაც}$. თერმული დამუშავების გრაფიკით შეიძლება ნებისმიერი სახის თერმული დამუშავების პროცესი გამოისახოს.

1. ფოლადის თერმული დამუშავების სახეების მიმოხილვა

თერმული დამუშავების ძირითადი სახეებია: მოწვა, წრთობა და მოშვება. თავის მხრივ, მოწვის პროცესი ორგვარია: პირველი გვარის და მეორე გვარის მოწვა.

პირველი გვარის მოწვა. პირველი გვარის მოწვა სხვადასხვა მიზანს ისახავს. პროცესი არ არის დაკავშირებული ფაზურ გადაკრისტალებასთან, ამიტომ ასეთ მოწვას ნებისმიერი შენადნობი ექვემდებარება. პირველი გვარის მოწვაში შედის სარეკრისტალიზაციო, საჰომოგენიზაციო და ძაბვების მოსახსნელი მოწვა.

როგორც ცნობილია, ცივჭედვას ლითონი სტრუქტურულად არაწონასწორულ მდგომარეობაში გადაჰყავს, რაც სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლების ზრდასა და პლასტიკურობის შემცირებას იწვევს. ხშირად ლითონი ცივჭედვას ტექნო-

ლოგიური პროცესის დროს დებულობს და აუცილებელი ხდება პლასტიკურობის მახასიათებლებზე მისი უარყოფითი გავლენის მოხსნა. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ნახშირბადიანი ფოლადის სარეკრისტალიზაციო მოწვის ტემპერატურა 600-700°C-ის ზღვრებშია, დაყოვნების დრო – 1-2 საათი.

შენადნობების, კერძოდ, მყარი ხსნარის გამყარების დროს, მიმდინარეობს შერჩევითი კრისტალიზაცია – ყოველ მომენტში გამოყოფილი ნაწილაკები თავისი კონცენტრაციით განსხვავდება როგორც ადრე, ისე შემდგომ პერიოდში გამოკრისტალებული ნაწილაკებისაგან. ეს იწვევს მარცვალთშია ქიმიურ არაერთგვაროვნებას, ანუ დენდრიტულ ლიკვაციას. დენდრიტული ლიკვაცია ნაკეთობას არაერთ უარყოფით თვისებას ანიჭებს. მაგალითად, გლინვის შემდეგ სტრიქონა სტრუქტურა მიიღება, რომელიც თვისებების მკვეთრი ანიზოტროპიით ხასიათდება. უმეტეს შემთხვევაში აუცილებელი ხდება დენდრიტული ლიკვაციის მოსპობა. პროცესი დიფუზური მოწვის გზით მიმდინარეობს, რომელსაც **ჰომოგენიზაციას** უწოდებენ.

ჰომოგენიზაციას, ჩვეულებრივ, უტარებენ ფოლადის ზოდებს და დიდი ზომის სხმულ დეტალებს. პროცესი საჭიროებს ელემენტების დიფუზიას, ამიტომ, მოწვის ტემპერატურა ფოლადებისათვის მაღალია და 1100-1200°C შეადგენს, ხოლო დაყოვნების დრო - 10-20 საათს. გაცივება ხდება ძალიან ნელა ისე, რომ მთელი პროცესი, ხშირად, 80-100 საათს გრძელდება. დიფუზური მოწვის შედეგად მარცვლები ინტენსიურად იზრდება, ამიტომ, ხშირად აუცილებელი ხდება სტრუქტურის გამოსწორება.

ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი შეიძლება ისეთი იყოს, რომ მსხვილ სხმულებში, ნაჭედებში, შენადნულ ნაწილებში ნარჩენი შიგა თერმული ძაბვები წარმოიქმნას. დაძაბულობა შეიძლება მოიხსნას ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე, რაც ნაკეთობის დაბრეცას ან დაბზარვას გამოიწვევს. ამ უარყოფითი მოვლენის თავიდან ასაცილებლად ნაკეთობას უტარებენ მოწვას ძაბვების მოსახსნელად: მას ახურებენ 550-680°C-მდე და აყოვნებენ დაახლოებით 2,5 წუთს ნაკეთობის განიკვეთის ყოველ 1 მილიმეტრზე. გაცივება ხდება ნელა.

მეორე გვარის მოწვა. მეორე გვარის მოწვა დაკავშირებულია ფაზურ გადაკრისტალებასთან, ამიტომ, იგი შეიძლება ისეთ შენადნობებში განხორციელდეს, რომლებიც გახურება-გაცივების დროს მეორეულ გარდაქმნებს განიცდის. ფოლადებში იგი აუსტენიტურ-პერლიტურ გარდაქმნასთან არის დაკავშირებული.

მეორე გვარის მოწვის სახეებია: **სრული მოწვა, არასრული მოწვა და ნორმალიზაცია.**

წონასწორულ მდგომარეობაში ფოლადს ფერიტო-პერლიტური სტრუქტურა აქვს, რომელიც შედარებით დაბალი სისაღითა და სიმტკიცით, მაგრამ გაზრდილი პლასტიკურობით, ხასიათდება. ფოლადის ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური პროცესები არ გამორიცხავს შედარებით აჩქარებულ გაცივებას, რის შედეგადაც შეიძლება გაზრდილი სისაღის მქონე გარდამავალი სტრუქტურები ჩამოყალიბდეს. ეს მნიშვნელოვნად აძნელებს ლითონის შემდგომ მექანიკურ დამუშავებას.

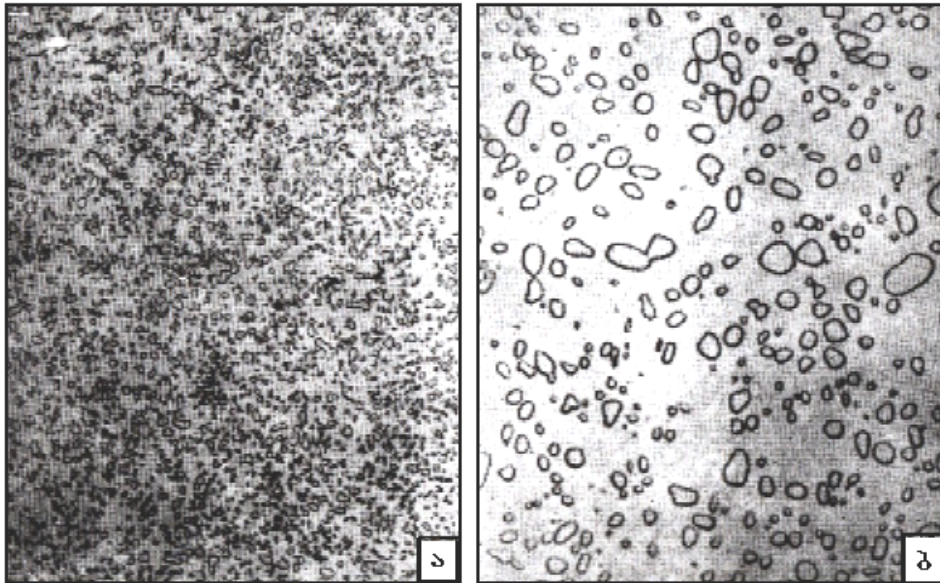
არასასურველი სტრუქტურის შესაცვლელად აუცილებელია ლითონის სრული გადაკრისტალება და ერთგვაროვანი აუსტენიტის მიღება. ამ მიზნით, ქვევებტოიდურ ფოლადს ახურებენ Ac_3 კრიტიკული წერტილის ზემოთ $(30-50)^{\circ}C$ -ით, აყოვნებენ ნაკეთობის განიკვეთში ტემპერატურის სრულ გათანაბრებამდე და შემდეგ, ძალიან ნელა აცივებენ. მოწვის შემდეგ არასასურველი სტრუქტურა წვრილმარცვლოვანი ფერიტოპერლიტური სტრუქტურით შეიცვლება, მისთვის დამახასიათებელი თვისებებით. ასეთი რეჟიმით მოწვას **სრული მოწვა** ეწოდება.

ზეევტექტოიდურ ფოლადს, ძირითადად, არასრული მოწვა უტარდება. ამ შემთხვევაში ნაკეთობას Ac_1 ტემპერატურის ზემოთ $(740-770)^{\circ}C$ -მდე ახურებენ და დაყოვნების შემდეგ ნელა აცივებენ. Ac_1 წერტილის ზემოთ გახურების შემდეგ ფოლადში ჩამოყალიბდება აუსტენიტურ-ცემენტიტური სტრუქტურა. მოწვის შემდეგ ცემენტიტი ფირფიტოვანის ნაცვლად მომრგვალებულ ფორმას ღებულობს, ანუ ყალიბდება მარცვლოვანი პერლიტი (სურ. №17). პროცესს **სფეროიდიზაციას** უწოდებენ. მარცვლოვანი პერლიტი ფირფიტოვანთან შედარებით უფრო ნაკლები სისაღითა და სიმტკიცით, მაგრამ გაზრდილი პლასტიკურობითა და სიბლანტით ხასიათდება. სფეროიდიზაციას განსაკუთრებით ხშირად საიარაღო ნახშირბადიან ფოლადებს უტარებენ.

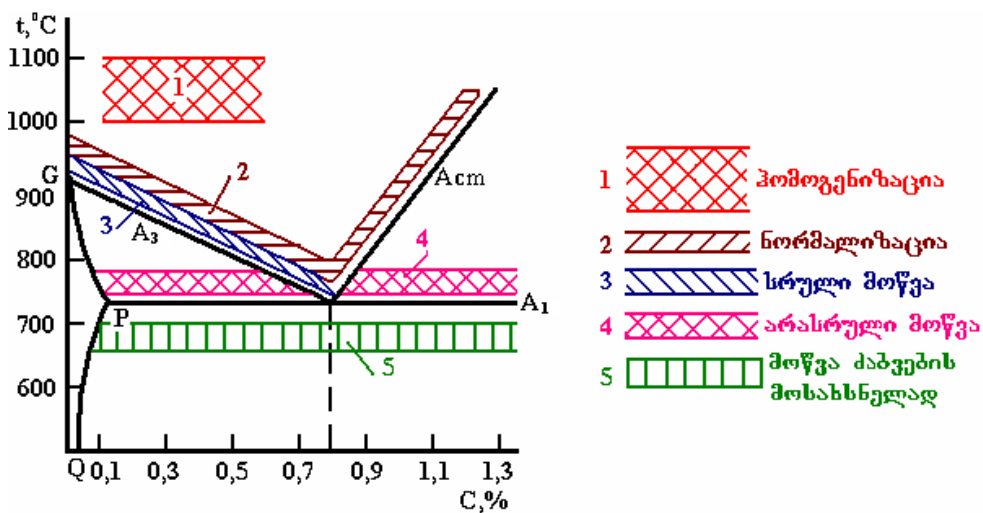
ნორმალიზაცია არსებითად სრული მოწვის სახესხვაობაა და იმაში მდგომარეობს, რომ Ac_3 (Ac_{cm} , SE ხაზი Fe-C დიაგრამაზე) $+(30-50)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე გახურებისა და დაყოვნების შემდეგ ნაკეთობას მშვიდ ჰაერზე აცივებენ. ნორმალიზაციის მიზანია სხმული, ნაჭედი ან ნატვიფრი ნაკეთობების მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის შეცვლა წვრილმარცვლოვანით. ამ ოპერაციისათვის გაცივების სიჩქარეს გადამწყვეტი მნიშვნელობა არ ენიჭება, ამიტომ, ჰაერზე გაცივებას მიმართავენ, რაც ღუმელში გაცივებასთან შედარებით უფრო ეკონომიურია.

№18 სურათზე წარმოდგენილია მოწვის ტემპერატურული არეები.

წრთობის მიზანი. ზოგადად, წრთობის მიზანს აუსტენიტურ მდგომარეობამდე გახურებული ფოლადის ნაკეთობის სწრაფი გაცივების გზით, არაწონასწორული



სურ. №17. მარცვლოვანი პერლიტი (სფეროდიტი). ა- $\times 500$; ბ-1500.

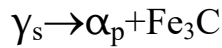


სურ. №18. მონწივეს ტემპერატურული არეები.

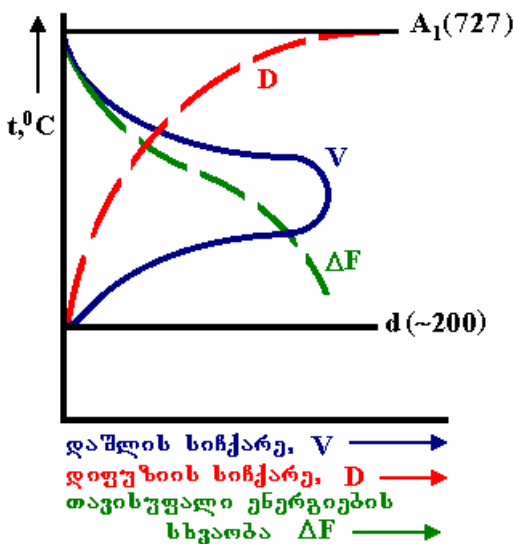
სტრუქტურის მიღება წარმოადგენს, რომელიც გადიდებული სისალითა და სიმტკიცით ხასიათდება.

ოთახის ტემპერატურაზე ფოლადის სტრუქტურასა და თვისებებს არსებითად იმ პირობების თავისებურებანი განსაზღვრავს, რომელშიც აუსტენიტის გარდაქმნა მიმდინარეობს. ამიტომ ეს საკითხი თერმული დამუშავების თეორიის ქვაკუთხედს წარმოადგენს.

როგორც ცნობილია, A_1 ($727^{\circ}C$) კრიტიკული წერტილი არის ევტექტოიდურ ფოლადში აუსტენიტისა და პერლიტის წონასწორობის ტემპერატურა. თუ სისტემის ტემპერატურა დაიწევს A_1 -ზე დაბლა, დაიწყება აუსტენიტის პერლიტური გარდაქმნა:



აუსტენიტის დაშლის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მისი გადაცივების ხარისხი. რაც უფრო დაბალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს გარდაქმნა, მით უფრო მეტია გადაცივების ხარისხი; აუსტენიტისა და პერლიტის თავისუფალ ენერგიებს შორის სხვაობა ($\Delta F = F_s - F_p$), რაც აჩქარებს გარდაქმნის მიმდინარეობას. მეორე მხრივ, აუსტენიტის პერლიტური გარდაქმნის შედეგად წარმოიქმნება საწყის ფაზასთან მკვეთრად განსხვავებული სტრუქტურები – ფერიტი, რომელიც თითქმის არ შეიცავს ნახშირბადს და ცემენტიტი, რომელშიც ნახშირბადის შემცველობა 6,67%-ს შეადგენს. ამიტომ, აუსტენიტის პერლიტური გარდაქმნა დიფუზური პროცესია და მოითხოვს ნახშირბადის ატომების გადანაწილებას ფაზებს შორის. გარდაქმნის ტემპერატურის შემცირებით კი დიფუზიის სიჩქარე (D) მკვეთრად მცირდება და, ამ თვალსაზრისით, იგი უნდა ამუხრუჭებდეს გარდაქმნის მიმდინარეობას.



დაშლის სიჩქარე, V —
 დიფუზიის სიჩქარე, D —
 თავისუფალი ენერგიების
 სხვაობა ΔF —

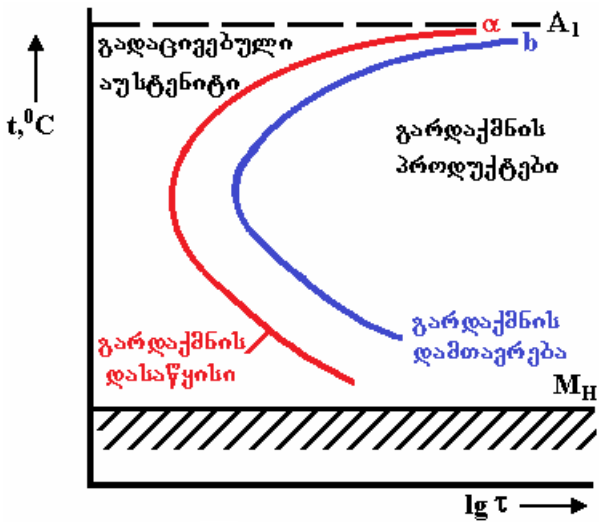
სურ. №19. აუსტენიტის დაშლის სიჩქარის გრაფიკი გადაცივების ხარისხზე დამოკიდებულებით.

ამდენად, გადაცივების ხარისხის გაზრდასთან ერთად მოქმედებაში მოდის ორი ფაქტორი, რომელიც აუსტენიტის პერლიტური გარდაქმნის სიჩქარეზე ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მოქმედებს. მათი ერთობლივი მოქმედების შედეგად გადაცივების ხარისხის გაზრდასთან ერთად თავდაპირველად იზრდება აუსტენიტის გარდაქმნის სიჩქარე (V), აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას და შემდეგ იწყებს კლებას (სურ. №19). როგორც გრაფიკიდან გამომდინარეობს, 727°C-ზე (A_1) და 200°C-ის ქვემოთ (d) გარდაქმნის სიჩქარე ნულის ტოლია, რადგან პირველ შემთხვევაში აუსტენიტისა და პერლიტის თავისუფალ ენერგიებს შორის

სხვაობა $\Delta F = 0$, ხოლო მეორე შემთხვევაში პროცესის მიმდინარეობისათვის საკმარისი არ არის ნახშირბადის დიფუზიის სიჩქარე.

აუსტენიტის დაშლის პროცესს განიხილავენ აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის დიაგრამასთან კავშირში, რომელსაც №20 სურათზე წარმოდგენილი სახე აქვს. a მრუდი არის აუსტენიტის გარდაქმნის დაწყების, ხოლო b – გარდაქმნის დამთავრების მრუდი. აქედან გამომდინარე, a მრუდის მარცხნივ შენარჩუნებულია

გადაცივებული აუსტენიტი, ხოლო b მრუდის მარჯვნივ მიიღება გარდაქმნის პროდუქტები. აუსტენიტის გარდაქმნა ამ ორ მრუდს შორის მიმდინარეობს.



სურ. №20. აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის დიაგრამა.

ჰორიზონტალური M_H ხაზი მიუთითებს აუსტენიტის არადიფუზური, მარტენსიტული მექანიზმით გარდაქმნის საწყის ტემპერატურას.

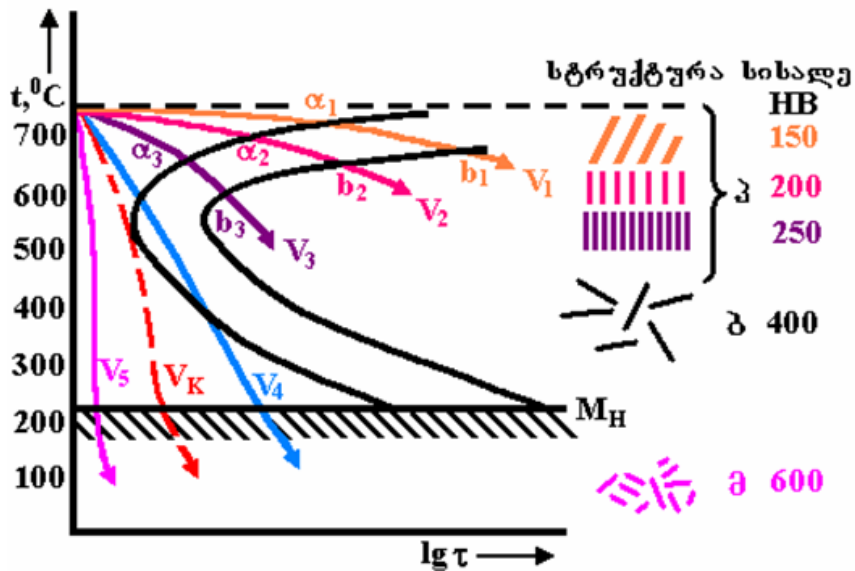
აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის პროცესის ძირითადი პარამეტრი, რომელიც ჩამოყალიბებული სტრუქტურის თავისებურებას განსაზღვრავს, არის გარდაქმნის ფაქტიური ტემპერატურა. რადგან, უმრავლეს შემთხვევაში, ფოლადის სტრუქტურის ფორმირება განუწყვეტელი გაცივების პირობებში მიმდინარეობს, ძირითადი ფაქტორი გაცივების სიჩქარე ხდება.

განუწყვეტელი გაცივების პირობებში ფოლადში მიმდინარე გარდაქმნების ასახსნელად აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის დიაგრამაზე გაცივების სიჩქარის მრუდებს ატარებენ (სურ. №21). სურათზე გაცივების სიჩქარეები $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_5$.

V_1 მრუდი, რომელიც ნელი გაცივების სიჩქარეს შეესაბამება, დიაგრამის ხაზებს a_1 და b_1 წერტილებში კვეთს. აღნიშნული წერტილების შესაბამის ტემპერატურაზე ($\sim 700-650^\circ\text{C}$) დაიწყება და დამთავრდება აუსტენიტის გარდაქმნა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ფერიტისა და ცემენტიტის უხეში აგებულების მიკრომექანიკური ნარევი, რომელსაც პერლიტი ეწოდება. იგი დაბალი სისხალით ხასიათდება, აუსტენიტის დაშლის სხვა პროდუქტებთან შედარებით. კოლონიების ორფაზა აგებულება კარგად ჩანს №22 ა სურათზე წარმოდგენილი მიკროსტრუქტურიდან.

უფრო მაღალი სიჩქარით გაცივებისას (V_2, V_3) მრუდები აუსტენიტის დაშლის დიაგრამის ხაზებს შედარებით უფრო დაბალ ტემპერატურაზე გადაკვეთს ($a_2, b_2, \sim 650-600^\circ\text{C}; a_3, b_3, \sim 600-500^\circ\text{C}$). შესაბამისად წარმოიქმნება სულ უფრო წვრილფორფიტოვანი დაშლის პროდუქტები – სორბიტი და ტროსტიტი, რომლებიც პერლიტთან შედარებით უფრო გაზრდილი სისხალით ხასიათდება (ნახ. №22 ბ, გ). პერლიტს, სორბიტსა და ტროსტიტს პერლიტური ოჯახის სტრუქტურებს უწოდებენ.

თუ ფოლადის გაცივება დიდი სიჩქარით მიმდინარეობს (V_5 , სურ. №21), მისი



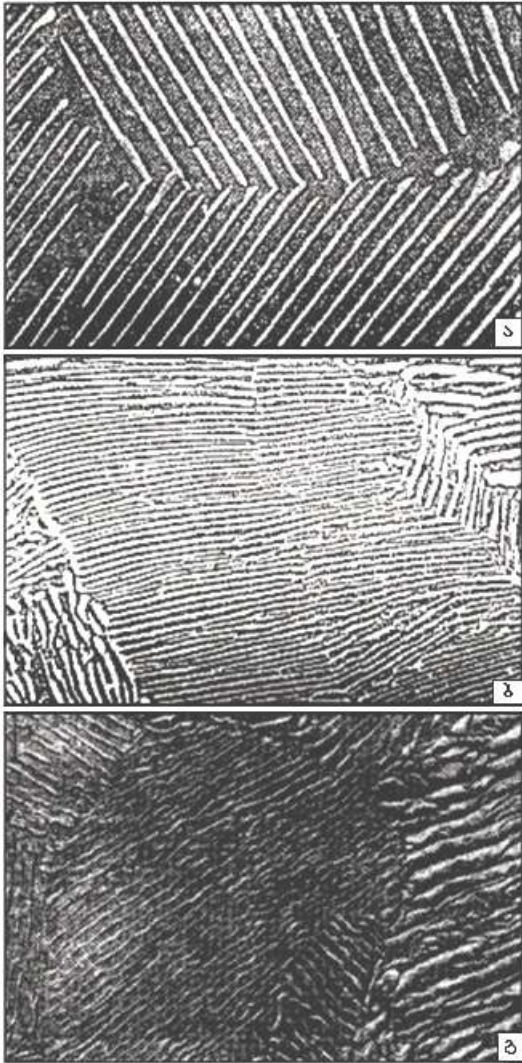
სურ. №21. აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის დიაგრამა განუწყვეტელი გაცივების სიჩქარის მრუდებით.

მრუდი იზოთერმული დიაგრამის საზებს არ გადაკვეთს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ასეთი სიჩქარით გაცივების დროს აუსტენიტის გარდაქმნა დიფუზური მექანიზმით (პერლიტური ოჯახის სტრუქტურების წარმოქმნით) არ ხდება. გადაცივებული აუსტენიტი მთლიანად აღმოჩნდება შენარჩუნებული M_H ტემპერატურამდე, რომლის მიღწევის შემდეგ დაიწყება აუსტენიტის უშუალო გარდაქმნა არადიფუზური, მარტენსიტული მექანიზმით. გარდაქმნის პროდუქტს მარტენსიტი წარმოადგენს.

გაცივების მინიმალურ სიჩქარეს, რომლის დროსაც არ ხდება აუსტენიტის დაშლა პერლიტური ოჯახის სტრუქტურების წარმოქმნით და აუსტენიტიდან მარტენსიტი მიიღება, წრთობის კრიტიკული სიჩქარე ეწოდება. იგი წარმოადგენს მხებს აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამის a მრუდთან (V_K , სურ. №21).

თუ გაცივების სიჩქარე რამდენადმე ნაკლებია კრიტიკულთან შედარებით (მაგალითად, V_4 , სურ. №21), მაშინ ზედა ტემპერატურულ ინტერვალში, a მრუდის გადაკვეთის შემდეგ, დაიწყება აუსტენიტის ნაწილობრივი დაშლა ტროსტიტის წარმოქმნით. რადგან გაცივების სიჩქარის მრუდი V_4 ხ მრუდს არ კვეთს, პროცესი ბოლომდე არ მიმდინარეობს, დარჩენილი აუსტენიტი გადაცივებული აღმოჩნდება M_H ტემპერატურამდე და გარდაქმნა მარტენსიტული სტრუქტურის წარმოქმნით დამთავრდება. საბოლოოდ ჩამოყალიბდება ტროსტიტულ-მარტენსიტული სტრუქტურა (სურ. №23). სტრუქტურაში მუქი არეები ტროსტიტია.

დაბოლოს, თუ აუსტენიტის დაშლა აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამის მუხლს ქვემოთ, მაგრამ მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალის ზემოთ იზოთერ-



სურ. №22. პერლიტური ოჯახის სტრუქტურები:
 ა – პერლიტი, x5000, ბ – სორბიტი, x5000,
 გ – ტროსტიტი, x15000.



სურ. № 23. ტროსტიტულ-მარტენსიტული
 სტრუქტურა. x 350.

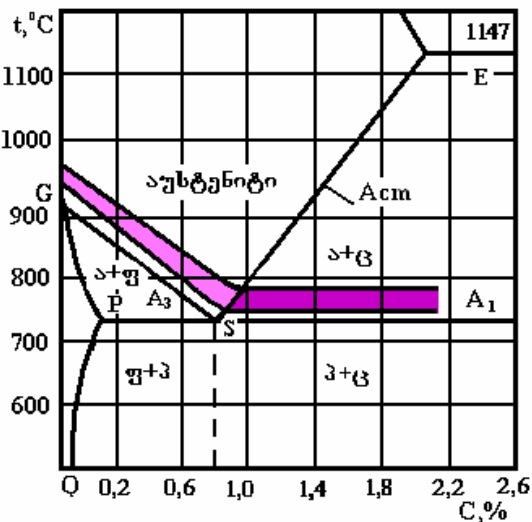
მულ პირობებში მოხდა, ბენიტური სტრუქტურა ჩამოყალიბდება.

წრობის მიზანს, უმეტეს შემთხვევაში, მარტენსიტული სტრუქტურის მიღება წარმოადგენს. მმ ტემპერატურის (იხ. სურ. №21) ქვემოთ ფოლადის გადაცივების შემთხვევაში ნახშირბადის დიფუზია პრაქტიკულად წყდება, ამიტომ, აუსტენიტის დიფუზური დაშლა ფერიტო-პერლიტური სტრუქტურის წარმოქმნით შეუძლებელი ხდება, მაგრამ, რკინის $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნის მიმდინარეობა ჯერ კიდევ შესაძლებელია, რადგან იგი ატომების უმნიშვნელო გადაადგილებას მოითხოვს. შედეგად ყალიბდება α რკინის სივრცითი კრისტალური გისოსი, რომელშიც ნახშირბადის ატომები იძულებით აღმოჩნდება ჩანერგილი იმავე რაოდენობით, რამდენსაც შენადნობი შეიცავს. რადგან ოთახის ტემპერატურაზე α რკინაში ნახშირბადის ხსნადობის ზღვარი უმნიშვნელოა (0,01%), α რკინა ნახშირბადით გადაჯერებული აღმოჩნდება.

ამგვარად, მარტენსიტი წარმოადგენს ნახშირბადის გადაჯერებულ მყარ ხსნარს α რკინაში. ნახშირბადის ატომების იძულებითი ჩანერგვის გამო α რკინის კუბური კრისტალური გისოსი სივრცით დაცენტრებულ ტეტრაგონურ გისოსში გადადის. მარტენსიტი ხასიათ-

დება მაქსიმალური სისაღით განხილულ სტრუქტურებთან შედარებით, მაგრამ საგრძნობლად არის შემცირებული პლასტიკურობის მახასიათებლები.

ფოლადის წრთობის რეჟიმი. წრთობისათვის გახურების ტემპერატურა რკინა-ნახშირბადის დიაგრამის მიხედვით (სურ. №24) შემდეგი მოსაზრებიდან გამომდინარე, შეირჩევა: წრთობის წინ გახურების მიზანი არის არსებული, ფერიტო-პერლიტური (ქვევტექტოიდური ფოლადებისათვის) სტრუქტურის გადაყვანა აუსტენიტში. ამისათვის, ქვევტექტოიდურ ფოლადს $Ac_3+(30-50)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე ახურებენ და წინასწარ შერჩეული დროის განმავლობაში აყოფნებენ. მიღებული აუსტენიტის კრიტიკული სიჩქარით გაცივება მარტენსიტის ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს. ნაკეთობის წრთობას ერთფაზა აუსტენიტური მდგომარეობიდან **სრული წრთობა** ეწოდება.



სურ. №24. ნახშირბადიანი ფოლადების წრთობის ტემპერატურული ინტერვალი

ბუნებრივია, ზეევტექტოიდური ფოლადის სრული წრთობა (გახურება A_{cm} ტემპერატურის ზემოთ) ასევე, მარტენსიტის მიღებას განაპირობებს, მაგრამ, თუ ფოლადს წრთობის წინ მხოლოდ Ac_1 ტემპერატურის ზემოთ $(30-50)^{\circ}C$ -ით გავახურებთ, სტრუქტურაში აუსტენიტთან ერთად შემონახული აღმოჩნდება მეორეული ცემენტიტი. წრთობის შემდეგ აუსტენიტი მოგვცემს მარტენსიტს. ამდენად ოთახის ტემპერატურაზე ფიქსირებული სტრუქტურა შედგენილი იქნება მარტენსიტისა და ცემენტიტისაგან. რადგან ცე-

მენტიტის თანხლება (მისი სისაღეა 800 HB) არა თუ აუარესებს ფოლადის თვისებებს, არამედ ზრდის კიდევ მის სისაღესა და ცვეთამედეგობას მჭრელ იარაღებში, ზეევტექტოიდურ ფოლადს ყოველთვის **არასრულ წრთობას** უტარებენ.

წრთობის ტემპერატურამდე გახურებისათვის საჭირო დროის მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის სხვადასხვა ემპირიული ფორმულით სარგებლობენ, ხოლო დაყოვნების დრო, რაც აუცილებელია ნაკეთობის განივ კვეთში სტრუქტურის გათანაბრებისათვის, გახურების დროის მეოთხედი აიღება.

წრთობის პროცესში გადამწყვეტი ეტაპია გაცივება, რომლის სიჩქარეც, ძირითადად განაპირობებს წრთობის ეფექტს. გაცივების სიჩქარის რეგულირება ხდება გამაცივებელი არის შერჩევით. ამჟამად ყველაზე ფართოდ გავრცელებული

გამაცივებელი არეგია წყალი და ზეთი. ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადებს წყალში აწრობენ, ხოლო ლეგირებულ ფოლადებს – ზეთში. წყალში წროთობა ყოველთვის ძალიან დიდ ნარჩენ ძაბვებს აღძრავს ნაკეთობაში, მაგრამ, სხვა ცნობილი გამაცივებლები ნახშირბადიანი ფოლადების საწროთობად უვარგისია.

მოშვება. მოშვება თერმული დამუშავების საბოლოო სახეა და ყოველთვის წროთობის შემდეგ ტარდება. ნაწროთობი ნაკეთობის საბოლოო თვისებებს, მნიშვნელოვან წილად, სწორედ მოშვების ტემპერატურა აყალიბებს.

ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ მოშვების დროს ხდება გახურება A_1 კრიტიკული ტემპერატურის ქვემოთ, დაყოვნება გარკვეული დროის განმავლობაში და გაცივება. მოშვების მიზანი სხვადასხვა შეიძლება იყოს. პრაქტიკულად მოშვების სამ სახეობას იყენებენ:

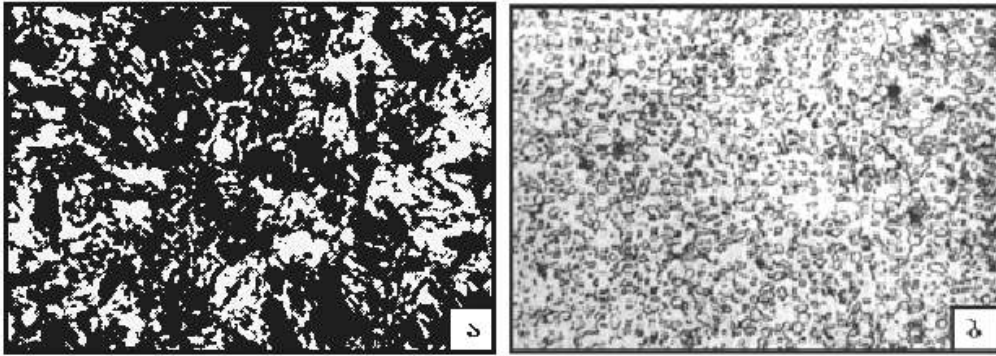
- ა. დაბალ მოშვებას – გახურება $150-200^{\circ}\text{C}$ -მდე;
- ბ. საშუალო მოშვებას – გახურება $300-500^{\circ}\text{C}$ -მდე;
- გ. მაღალ მოშვებას – გახურება $500-700^{\circ}\text{C}$ -მდე.

დაბალი მოშვების მიზანია მხოლოდ ნარჩენი ძაბვების მოხსნა, რაიმე სტრუქტურული გარდაქმნების გარეშე. ამ დროს ტეტრაგონური მარტენსიტი მოშვებულ, კუბურ მარტენსიტში გადადის. სისაღე თითქმის უცვლელი რჩება, ძაბვები კი მოიხსნება.

დაბალ მოშვებას, ძირითადად, უტარებენ მჭრელ და საზომ იარაღებს, აგრეთვე, ისეთ ნაკეთობას, სადაც აუცილებელია მაღალი სისაღე, სიმტკიცე და ცვეთადეგობა.

საშუალო მოშვება ძირითადად ზამბარებსა და რესორებს უტარდება. მარტენსიტი იშლება მაღალდისპერსიული ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევის – ტროსტიტის წარმოქმნით (სურ. №25 ა). ფოლადი საკმაოდ მაღალ დრეკად თვისებებს ღებულობს. მოშვების შემდეგ გაცივება შეიძლება წყალში განხორციელდეს. ასეთ შემთხვევაში ზედაპირულ შრეებში მკუმშავი ნარჩენი ძაბვები წარმოიქმნება, რაც ზრდის ზამბარის გამძლეობას დაღლილობისადმი.

მაღალი მოშვების მიზანია წროთობით მიღებული სტრუქტურის ისეთნაირი შეცვლა, რომ სისაღე და სიმტკიცე რამდენადმე შემცირდეს, მაგრამ, სიბლანტე და პლასტიკურობა გაიზარდოს. გახურების პროცესში ჯერ წვრილდისპერსიული ფერიტო-ცემენტიტური ნარევი წარმოიქმნება, ხოლო შემდგომი გახურება ცემენტიტის მარცვლების გამსხვილებას და ფერიტის რეკრისტალიზაციას იწვევს. ფოლადი ღებულობს სობიტულ სტრუქტურას (სურ. №25, ბ).



სურ. №25. მოშვების ტროსტიტი (ა) და მოშვების სორბიტი (ბ). x1000.

მოშვების პროდუქტები - ტროსტიტი და სორბიტი ერთნაირი ბუნების სტრუქტურას წარმოადგენს; ისინი შედგებიან ფერიტისა და ცემენტის ნარევისაგან, მაგრამ, ერთმანეთისგან ცემენტის დისპერსიულობითა და ფერიტის რეკრისტალიზაციის ხარისხით განსხვავდებიან, რაც ძირითადად ფოლადის მექანიკურ მახასიათებლებზე ახდენს გავლენას. მოშვების ტემპერატურის გაზრდით სისაღე და სიმტკიცე მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა და სიბლანტე – მატულობს. წრთობას მარტენსიტზე და მაღალ მოშვებას **გაუმჯობესება** ეწოდება.

A₁ ტემპერატურის მახლობლობაში მოშვების დროს, უხეში ფერიტო-ცემენტიტური ნარევი – მარცვლოვანი პერლიტი წარმოიქმნება.

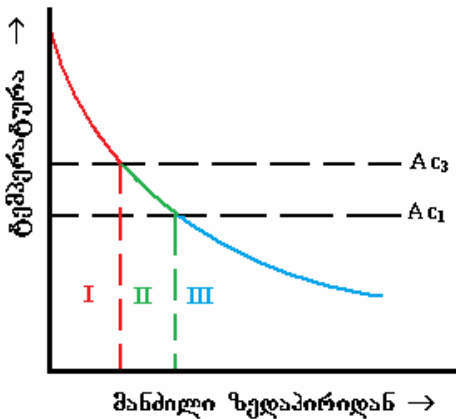
მოშვების სტრუქტურები, აუსტენიტის დაშლის შედეგად მიღებული ფირფიტოვანი სტრუქტურებისგან განსხვავებით, მარცვლოვანი აგებულებით ხასიათდება, რაც თვისებების კომპლექსის თვალსაზრისით მათ დიდ უპირატესობას ანიჭებს (განსაკუთრებით დარტყმითი სიბლანტის მაჩვენებლებით) წრთობის ანალოგიურ სტრუქტურებთან შედარებით.

ზედაპირული წრთობა. საექსპლუატაციო თვისებებიდან გამომდინარე, ხშირად საჭიროა ნაკეთობათა ზედაპირი იყოს სალი და ცვეთამედეგი, ხოლო გული ინარჩუნებდეს გარკვეულ სიბლანტეს. თვისებათა ასეთი შეხამების მიღება შესაძლებელია, თუ ნაცვლად მოცულობითი წრთობისა, ზედაპირულ წრთობას ჩავატარებთ. ამ დროს სტრუქტურა და თვისებები მხოლოდ ნაკეთობის ზედაპირზე იცვლება, გული კი უცვლელი რჩება.

ზედაპირული წრთობის დროს ნაკეთობას დიდი სიჩქარით ახურებენ (მაღალი სიხშირის დენით ან ალით), ამიტომ, ზედაპირული ფენები სრული წრთობის ტემპერატურამდე ხურდება (I ზონა, სურ. №26), მომდევნო ფენები – არასრული წრთობის ტემპერატურამდე (II ზონა), გარკვეული სიღრმის ქვემოთ კი ტემპერატურა არ

იწვევს სტრუქტურულ ცვლილებებს (III ზონა). აქედან გამომდინარე, წრთობის შემდეგ ზედაპირზე მარტენსიტული სტრუქტურა მიიღება, მომდევნო ფენებში – გარდამავალი სტრუქტურები, გულში კი შენარჩუნდება საწყისი სტრუქტურა მისთვის დამახასიათებელი თვისებებით.

ზედაპირული წრთობის შემდეგ, როგორც წესი, მიმართავენ მოშვებას 150-180°C ტემპერატურაზე. ნაკეთობას, რომელსაც ზედაპირული წრთობა უტარდება,



სპეციალური, შემცირებული შეწრთობადობის ფოლადებისგან ამზადებენ, როგორცაა 55Mn, 60Mn და ა.შ. ზედაპირულ წრთობას ექვემდებარება აგრეთვე ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი ფოლადიც ნახშირბადის შემცველობით 0,4% და მეტი.

სურ. №26. ნაკეთობაში ტემპერატურის განაწილების ხასიათი ზედაპირული წრთობის დროს.

2. ფოლადის ქიმიურ-თერმული დამუშავება

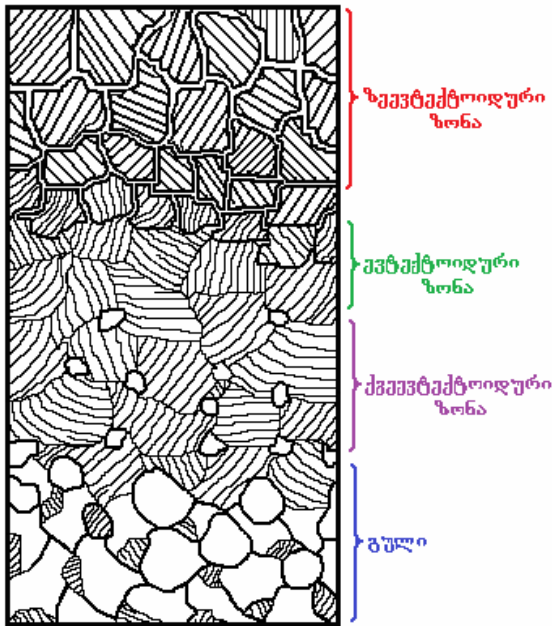
ქიმიურ-თერმული დამუშავება თვისებათა შეცვლის ფართო დიაპაზონს იძლევა. ამ დროს ნაკეთობის ზედაპირულ შრეებში ერთდროულად იცვლება როგორც შენადნობის ქიმიური შედგენილობა, ისე სტრუქტურა. დამუშავების ეს ხერხი იმ შემთხვევაში გამოყენება, როდესაც მიზანშეწონილია ნაკეთობის ზედაპირისა და გულის თვისებებში მკვეთრი განსხვავება. უმეტეს შემთხვევაში ქიმიურ-თერმული დამუშავების მიზანია ნაკეთობის ზედაპირის განმტკიცება, გულის სიბლანტის შენარჩუნებით. გარდა მექანიკური თვისებების ამაღლებისა, მეთოდი ნაკეთობათა კოროზიამდებლობის გაზრდის შესაძლებლობასაც იძლევა.

ქიმიურ-თერმული დამუშავება თვისებათა შეცვლის ფართო დიაპაზონს იძლევა.

ქიმიურ-თერმული დამუშავების ძირითადი სახეებია: ცემენტაცია, დააზოტება, დაციანება და დიფუზური მეტალიზაცია.

ცემენტაცია. ცემენტაცია არის ფოლადის ზედაპირის გამდიდრება ნახშირბადით. მისი მიზანია ზედაპირული სისაღის, ცვეთამდებობისა და დაღლილობისადმი გამძლეობის ამაღლება, გულში სიბლანტის შენარჩუნებით, რაც ნაკეთობის მაღალ საკონსტრუქციო სიმტკიცეს განაპირობებს. ცემენტაცია უტარდება კბილანებს, თითებს, ლილვებს, ღერძებს, სხვადასხვა სახის ბერკეტებს, საკისრების ცალკეულ ნაწილებს და ა.შ., რომელთა საექსპლუატაციო ტემპერატურა არ აღემატება

150-200°C. საცემენტაციოდ იღებენ 10, 15, 20 და 25 ნახშირბადმცირე ფოლადებს, უფრო მაღალი სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად – ნახშირბადუხვ ფოლადებს ფოლად 40-მდე.



სურ. №27. ცემენტირებული შრის მიკროსტრუქტურის სქემა წონასწორულ მდგომარეობაში.

ცემენტაციის ტემპერატურაა 900-950°C. ცემენტაციის შემდეგ ნახშირბადის რაოდენობა ზედაპირზე 1,0-1,1%-შეადგენს. გულისკენ მისი შემცველობა თანდათან კლებულობს და ფოლადში არსებულ მნიშვნელობას აღწევს. შესაბამისად იცვლება ლითონის სტრუქტურაც (სურ. №27). ცემენტირებული შრის სისქე შეიძლება 0,1-10 მმ-ის ზღვრებში იცვლებოდეს, უმეტეს შემთხვევაში კი 0,5-3,0მმ-ია მიღებული.

სასურველი თვისებები უშუალოდ ცემენტაციის შემდეგ არ მიიღება. ცემენტირებული ნაკეთობის

შემდგომი აუცილებელი ოპერაციაა წრთობა და დაბალი მოშვება, რის შედეგადაც ზედაპირზე მაღალი სისაღე (58-60 HRC) მიიღება, ხოლო გული რბილი (20-30 HRC) რჩება.

დააზოტება. დააზოტება არის ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირის დიფუზური გამდიდრება აზოტით. მისი მიზანია მაღალი ზედაპირული სისაღის, ცვეთამედეგობის და დაღლილობისადმი გამძლეობის გადიდება. ერთდროულად იზრდება ნაკეთობის კოროზიამედეგობა, ატმოსფერულ პირობებში. გარდა ამისა, დააზოტებული ზედაპირი კარგად პრიალდება და ლამაზად ბზინავს, ამიტომ, დააზოტებას დეკორატიული მნიშვნელობაც გააჩნია.

დააზოტება ისეთ დეტალებს უტარდება, როგორცაა კბილანები, შპინდელეები, ლილვები, კარდანის ჯვარედი, ზუსტი მანქანათმშენებლობის დეტალები, ხელსაწყოთა ნაწილები, ნაირგვარი თარგები და სხვა, რომლებიც შედარებით მცირე ხვედრითი წნევის პირობებში, მაგრამ, გაზრდილ ტემპერატურაზე (500-600°C) მუშაობს.

აზოტის დადებითი გავლენა ფოლადის თვისებებზე უშუალოდ, თერმული დამუშავების გარეშე მულაგნდება. ამიტომ, დააზოტებას საბოლოოდ დამუშავებულ დეტალებს (ჭრით, ხეხვით და თერმული დამუშავების შემდეგ) უტარებენ.

დააზოტებული შრის სტრუქტურა, თვისებები და სისქე დააზოტების ტემპერატურასა და დაყოვნების დროზეა დამოკიდებული. ტემპერატურა არ აღემატება 590°C , დაყოვნების დრო – 2-დან 60 საათამდე. დააზოტებული შრის სისქე 0,1-0,8მმ-ს შეადგენს. რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა (500°C -დან 600°C -მდე ინტერვალში), მით უფრო მეტია დააზოტებული შრის სისქე, მაგრამ, ზედაპირის სისაღე დაბალი მიიღება: 500°C -ზე 1150 HV, 550°C -ზე 1000 HV, ხოლო 600°C -ზე – 900 HV.

დააზოტების პროცესს, პრაქტიკულად, ნებისმიერი ქიმიური შედგენილობის ფოლადი ექვემდებარება.

დაციანება. დაციანება არის ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირის დიფუზური გამდიდრება, ერთდროულად, ნახშირბადით და აზოტით. დაციანების მიზანია სისაღისა და ცვეთამედეგობის გაზრდა საკონსტრუქციო ფოლადში და სისაღისა და თბომედეგობის გადიდება სწრაფმჭრელ ფოლადში.

პროცესს ტემპერატურული რეჟიმების მიხედვით არჩევენ:

- **მაღალტემპერატურულ დაციანებას.** მას საკონსტრუქციო ფოლადის სისაღის, ცვეთამედეგობისა და დაღლილობისადმი გამძლეობის გასაზრდელად მიმართავენ. დაციანებას $850-900^{\circ}\text{C}$ -ზე აწარმოებენ, რა დროსაც ფოლადში უპირატესად ნახშირბადი იხსნება. ზედაპირულ შრეებში მიიღება 0,8-1,1%C და 0,2-0,3%N. პროცესი ნახშირბადმცირე საცემენტაციო და საშუალონახშირბადიან ფოლადებს უტარდება. 1-6 საათის განმავლობაში შეიძლება $0,5-1,0$ მმ დაციანებული შრის მიღება.

მაღალტემპერატურული დაციანების შემდეგ აუცილებელია წრთობისა და მაღალი მოშვების ჩატარება.

- **საშუალოტემპერატურულ დაციანებას.** მისი მიზანი იგივეა, რაც მაღალტემპერატურული დაციანების შემთხვევაში. დაციანების ტემპერატურა $820-850^{\circ}\text{C}$ შეადგენს. წინა რეჟიმთან შედარებით, ნახშირბადის რაოდენობა 0,2-0,7%-მდე კლებულობს, აზოტისა კი 0,8-1,2%-მდე მატულობს. ნაკეთობას წრთობა უშუალოდ დაციანების ტემპერატურიდან უტარდება. დამამთავრებელი ოპერაციაა დაბალი მოშვება.

- **დაბალტემპერატურულ დაციანებას.** პროცესი ძირითადად სწრაფმჭრელი ფოლადისაგან დამზადებული იარაღის სისაღისა და წითელმედეგობის (თბომედეგობის) გასაზრდელად გამოიყენება. დაციანების ტემპერატურა $540-560^{\circ}\text{C}$ შეადგენს,

ამიტომ, ზედაპირი უპირატესად მდიდრდება აზოტით, ნაკლებად – ნახშირბადით. დაბალტემპერატურული დაციანება საბოლოო თერმული დამუშავების შემდეგ ტარდება. დაციანებული შრე მეტად მცირეა – 0,02-0,08მმ, ზედაპირული სისაღე – 1000-1100HV (66-70HRC).

დიფუზური მეტალიზაცია. დიფუზური მეტალიზაციის დროს ხდება ნაკეთობათა ზედაპირის გამდიდრება სხვადასხვა ლითონით. ამჟამად გავრცელებულია **დაალუმინება, დაქრომვა და დასილიცირება.**

დაალუმინების შემდეგ ფოლადის ნაკეთობა იძენს კოროზიულ მედეგობას ჩვეულებრივ ატმოსფერულ პირობებში, ზოგიერთ აგრესიულ არეში და მაღალ ტემპერატურაზე. დაალუმინებას ძირითადად უტარებენ ნახშირბადმცირე ფოლადისაგან დამზადებულ ნაკეთობებს, რომლებიც მაღალ ტემპერატურაზე განიცდის ექსპლუატაციას. ასეთებია: ღუმელის მოწყობილობა, სახურებელი ელემენტები და ა.შ. დაალუმინებულ ნაკეთობათა სამუშაო ტემპერატურაა 900°C. დაალუმინებას ექვემდებარება, აგრეთვე, საავიაციო ძრავის ზოგიერთი დეტალი, მაგალითად, სარაკეტო საქშენის, ტურბინის თათის და სხვა დეტალები.

ნახშირბადმცირე ფოლადის დაქრომვის შემდეგ ნაკეთობა ასევე იძენს კოროზიულ მედეგობას ატმოსფერულ პირობებში, ზოგიერთ აგრესიულ არეში და მაღალ ტემპერატურაზე. ქრომი ნახშირბადთან წარმოქმნის კარბიდს, რომელიც ფოლადს მაღალ სისაღეს ანიჭებს, ამიტომ, ნახშირბადუსვ ფოლადებში სისაღე ზედაპირზე 1500 HV-ს აღწევს, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება ცემენტირებული შრის სისაღეს.

დასილიცირების პროცესი გამოიხსნება ფოლადის კოროზიული მედეგობის ასამაღლებლად, ატმოსფერულ პირობებში, ზოგიერთ აგრესიულ არეში (ზღვის წყალში, აზოტის, გოგირდის, მარილის მჟავებში) და მაღალ ტემპერატურაზე (1000°C-მდე). დასილიცირებული ზედაპირის სისაღე არ აღემატება 300 HB. მიუხედავად ამისა, ნაკეთობის ცვეთამედეგობა გარკვეული ხარისხით იზრდება. დასილიცირებული შრის სისქე 0,3-1,0 მმ შეადგენს.

ზემოაღნიშნული მეთოდებით ნაკეთობის ზედაპირის კომპლექსური დამუშავება საშუალებას იძლევა, ზოგიერთ შემთხვევაში, მხურვალმედეგობის უფრო მაღალი მნიშვნელობები იქნეს მიღწეული. მაგალითად, ქრომითა და ალუმინით ზედაპირის ერთდროული გამდიდრება (ქრომალიტირება) წარმატებით გამოიყენება საავიაციო ძრავის ზოგიერთი ისეთი დეტალის მხურვალმედეგობისა და მხურვალ-

მტკიცობის გასაზრდელად, როგორცაა ტურბინის თათები და საქშენის აპარატის დეტალები.

ქვემოთ წარმოდგენილია ქიმიურ-თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის გამოყენების ზედა ტემპერატურული ზღვარი:

დაქრომილი. 800°C;

დასილიცირებული. . . 900°C;

ქრომსილიცირებული. . 1000°C;

ქრომალიტირებული. . . 1050°C;

დააალუმინებული. . . . 1150°C;

IV თავი. თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის დეფექტები და მათი წარმოშობის მიზეზები

ლითონებისა და შენადნობების თერმული დამუშავება წარმოადგენს ტექნოლოგიური ოპერაციების ერთობლიობას, რომელიც ნაკეთობის გახურებასთან, დაყოვნებასთან და გაცივებასთან არის დაკავშირებული. იგი თანმიმდევრულად ან ერთდროულად მიმდინარე (დამხმარე, ძირითადი, დამატებითი) ოპერაციებს გულისხმობს.

თერმული დამუშავების მიზანია მექანიკური, ფიზიკურ-ქიმიური და ტექნოლოგიური თვისებების სასურველი მიმართულებით შეცვლა, დეტალის ან ნამზადის ძირითადი ზომებისა და ფორმის შეუცვლელად. თერმული დამუშავებით ფართო დიაპაზონში შეიძლება შეიცვალოს ლითონის სიმტკიცე, მხურვალსიმტკიცე, პლასტიკურობა, სიბლანტე, ტექნოლოგიური თვისებები (ჭედადობა, ჭრით დამუშავებადობა, შეღუღებადობა, შეწრობადობა, თბომდეგობა), აგრეთვე, მაგნიტური, კოროზიული, თბური და ოპტიკური თვისებები.

თერმული დამუშავება ამაღლებს საკონსტრუქციო სიმტკიცეს – საკონსტრუქციო მასალის, კვანძის ან დეტალის საიმედოობას და ხანმდეგობას ექსპლუატაციის პროცესში. იმ დეტალების ნომენკლატურა, რომლებიც თერმულ დამუშავებას განიცდიან, მეტად დიდია – პრეციზიული ხელსაწყოების მინიატურული დეტალებიდან მსხვილ სხმულებამდე და ნაჭედებამდე. თერმული დამუშავება არსებით გავლენას ახდენს წარმოების მომიჯნავე ოპერაციების თვითღირებულებასა და შრომატევადობაზე. ამასთანავე, თვით თერმული დამუშავების თვითღირებულება სრული თვითღირებულების 2-4%-ს არ აღემატება.

პროდუქციის ხარისხს წარმოების მთელი ციკლი განაპირობებს. ამიტომ, ტექნოლოგიური პროცესის ყველა საფეხურზე, ხარისხის კონტროლი და მისი მიზანმიმართული მართვა, პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების ერთ-ერთ აუცილებელ წინაპირობას წარმოადგენს. იგი ტექნოლოგიური პროცესების, მათ შორის თერმული დამუშავების, დახვეწისა და სრულყოფის მძლავრი საშუალებაა.

ამგვარად, თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის ხარისხის კონტროლი, წუნის გამოვლენისა და მისი შემცირების გზების ძიება, ნაკეთობათა ხანგამძლეობის ამაღლების, პროდუქციის თვითღირებულების შემცირებისა და წარმოების შემდგომი განვითარების ქვაკუთხედს წარმოადგენს.

1. წუნის სახეები თერმულად დამუშავებულ ნაკეთობაში

არასწორად ჩატარებული თერმული დამუშავების შედეგად, ნაკეთობაში შეიძლება სხვადასხვა სახის დეფექტი ჩამოყალიბდეს. მათგან ყველაზე გავრცელებულია დაბრეცა, დეფორმაცია და ბზარები, არასაკმარისი სისალე, გაზრდილი სიმყიფე, გაუნახშირბადოება და ზედაპირის ჟანგვა.

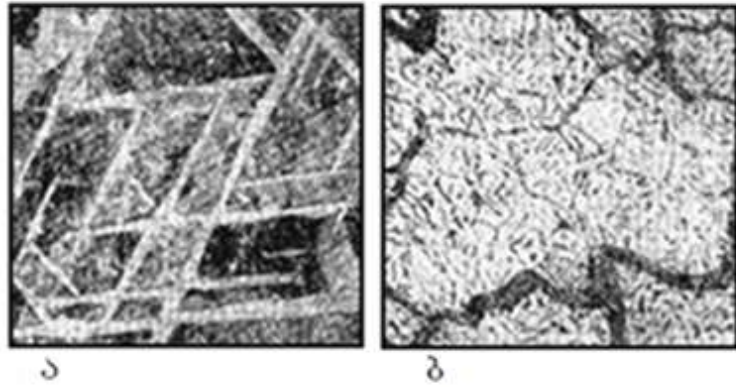
მოწვისა და ნორმალიზაციის დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს უკმარხურებას, გადახურებას და ფოლადის გადაწვას.

უკმარხურებას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც მოწვის ან ნორმალიზაციის ტემპერატურა ნაკლებია ტექნოლოგიური პირობებით მოთხოვნილ ტემპერატურასთან შედარებით ან არასაკმარისია დაყოვნების დრო. უკმარხურების შედეგად დაბალი პლასტიკური მახასიათებლები მიიღება. უკმარხურებული ფოლადის გამოსწორება განმეორებითი მოწვით ან ოპტიმალურ ტემპერატურაზე ნორმალიზაციით არის შესაძლებელი.

გადახურება მიიღება იმ შემთხვევაში, როდესაც ღუმელის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად აღემატება ოპტიმალურს ან დაყოვნების დრო გადაჭარბებულია. გადახურება მოწვის დროს მარცვლის ზრდას განაპირობებს, ხოლო ძლიერი გადახურების შემთხვევაში ე.წ. ვიდმანშტეტური სტრუქტურა წარმოიქმნება, რომელიც ფერიტული უბნების ფირფიტოვანი აგებულებით ხასიათდება. ფირფიტები ერთმანეთის მიმართ გარკვეული კუთხით არის განლაგებული (სურ. №28 ა). ასეთი სტრუქტურის მქონე ფოლადი დაბალი პლასტიკური თვისებებით გამოირჩევა. მნიშვნელოვნად არის შემცირებული დარტყმითი სიბლანტე. გადახურებული ფოლადის სტრუქტურის გამოსწორება, ოპტიმალურ ტემპერატურაზე, განმეორებითი მოწვით ან ნორმალიზაციით არის შესაძლებელი. მნიშვნელოვანი გადახურების შემთხვევაში რეკომენდებულია ორჯერადი მოწვა. ამასთანავე, პირველ მოწვას ოპტიმალურთან შედარებით 50-150°C-ით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე აწარმოებენ.

ფოლადის გადაწვა მიმდინარეობს მაღალ ტემპერატურაზე, დამუხანგველ ატმოსფეროში მისი გახურებისას, როდესაც ტემპერატურა ახლოს დგას ლითონის დნობის ტემპერატურასთან. ლითონის ჟანგვა მარცვლის საზღვრებში მიმდინარეობს (სურ. №28 ბ). გადამწვარი ფოლადი მაღალი სიმყიფით ხასიათდება და იგი გამოუსწორებელ წუნს მიეკუთვნება.

წუნის დანარჩენი სახეები, ძირითადად, ფოლადის წრთობის პროცესში წარმოიქმნება.



სურ. №28. ფოლადის მაკროსტრუქტურა
 ა – ქლიერად გადახურებული, ბ - გადამწვარი.

2. თერმულად დამუშავებულ ნაკეთობაში დეფექტების წარმოქმნის წყაროები

თერმული დამუშავების პროცესში დეფექტების წარმოქმნის ძირითად წყაროს შინაგანი და ნარჩენი დაძაბულობა წარმოადგენს.

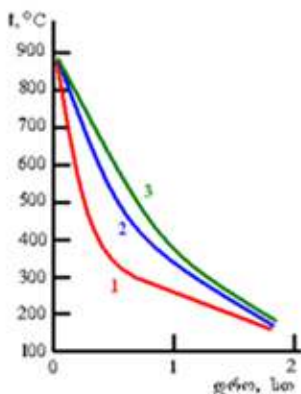
შინაგანი დაძაბულობის განვითარებას ორი ძირითადი ფაქტორი განაპირობებს: ტემპერატურის არათანაბარი ცვლილება ნაკეთობის განივ კვეთში და ფაზური გარდაქმნების არაერთდროულად მიმდინარეობა, რასაც თან სდევს კუთრი მოცულობის ცვლილება. აქედან გამომდინარე, ასხვავებენ დროებით და ნარჩენ შინაგან დაძაბულობას. დაძაბულობას, რომელიც არათანაბარი თბური დეფორმაციის შედეგად წარმოიქმნება, თბურ ან **თერმულ დაძაბულობას** უწოდებენ, ხოლო დაძაბულობას, რომელიც არაერთდროულად მიმდინარე ფაზური გარდაქმნების და კუთრი მოცულობის ცვლილების გზით ვითარდება – **სტრუქტურულს**.

დაძაბულობები ერთმანეთისგან იმ არის (ფართობის) სიდიდით განსხვავდება, რომელშიც ისინი წონასწორულ მდგომარეობას აღწევენ. ამასთან დაკავშირებით ასხვავებენ I, II და III გვარის დაძაბულობას. ლითონური მასალების რეალური აგებულებიდან გამომდინარე, გარკვეული მსჯელობა მხოლოდ I გვარის, ანუ ზონურ დაძაბულობაზეა შესაძლებელი, რომელიც მაკროსკოპულ არეში წონასწორდება. II და III გვარის დაძაბულობა კი დისლოკაციების არსებობასთან არის დაკავშირებული. კერძოდ, დისლოკაციების თავმოყრის უბნებში II გვარის დაძაბულობა წარმოიქმნება, ხოლო ცალკეული დისლოკაციებით აღძრული დაძაბულობა III გვარის დაძაბულობას მიეკუთვნება. გარკვეული ალბათობით შეიძლება ითქვას, რომ II გვარის დაძაბულობა ერთი კრისტალის (მარცვლის) ფარგლებში წონასწორდება, ხოლო III გვარისა – რამდენიმე ატომთშორისი მანძილის დაშორებით.

თერმულ დამუშავებაში მნიშვნელოვანია I გვარის დაძაბულობა, ამიტომ, ჩვენ ყურადღებას სწორედ ამ მიმართულებით გავამახვილებთ.

ნარჩენმა ძაბვებმა შეიძლება ლითონის კონსტრუქციული სიმტკიცე ან შეამციროს, ან გაზარდოს. მაგალითად, ნარჩენი ძაბვები დადებითად იმ შემთხვევაში მოქმედებს, როდესაც მათი მიმართულება ექსპლუატაციის დროს ნაკეთობაში აღძრული ძაბვების მიმართულების საპირისპიროა. ცნობილია, რომ დეტალის ზედაპირზე მკუმშავი ძაბვების არსებობა დაღლილობისადმი სიმტკიცეს ზრდის, ხოლო გამჭიმავი ძაბვები – ამცირებს. აქედან გამომდინარე, ისეთ დეტალებს, რომლებიც ნიშანცვლად დატვირთვებს განიცდის, შეგნებულად უტარებენ ისეთ დამუშავებას, რომელიც ხელს უწყობს მის ზედაპირზე მკუმშავი ძაბვების წარმოქმნას. დამუშავების ასეთ ხერხს ზედაპირული წრთობა, დააზოტება ან ზედაპირული პლასტიკური დეფორმაცია შეიძლება მივაკუთვნოთ. ამასთანავე, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული არა მარტო ნარჩენი ძაბვების სიდიდე ზედაპირზე, არამედ, უმთავრესად, მათი ცვლილების ხასიათი ნაკეთობის განივ კვეთში.

შინაგანი ძაბვების წყაროები. წრთობის პროცესში ინტენსიური გაცივება, ნაკეთობის განივ კვეთში, ტემპერატურული გრადიენტის წარმოქმნას განაპირობებს. მის სიდიდეს, წრთობის წინ გახურების ტემპერატურა, დეტალის ფორმა და ზომები, ფოლადის ტემპერატურული გამტარობა და, ბოლოს, საწრთობი არის მაცივებელი უნარი და ცირკულაციის ხარისხი განსაზღვრავს. მაგალითის სახით №29 სურათზე წარმოდგენილია 330მმ დიამეტრის მქონე ნაკეთობის განივ კვეთში ტემპერატურული არეების ცვლილების ხასიათი, 880°C-დან ზეთში გაცივების პროცესში. როგორც მრუდების ხასიათიდან გამომდინარეობს, გაცივების საწყის მომენტში ტემპერატურა ზედაპირზე მნიშვნელოვნად უფრო სწრაფად ვარდება, ვიდრე ცენტრში, ე.ი. $dt_s/dt > dt_c/dt$, სადაც t_s , t_c შესაბამისად არის ზედაპირის და ცენტრის ტემპერატურა, ხოლო τ - გაცივების დრო.



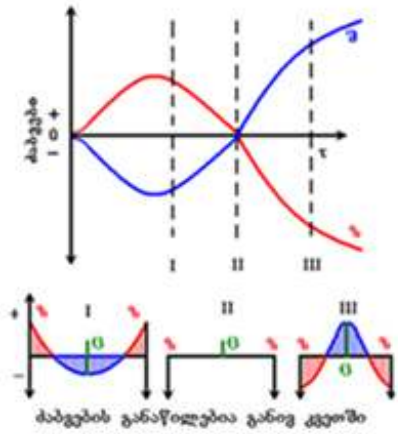
სურ. №29. ტემპერატურის ცვლილების ხასიათი 330 მმ-ის დიამეტრის ნაჭედის განივ კვეთში 880 °C-დან ზეთში გაცივებისას.
მანძილი ზედაპირიდან: 1 – 30 მმ; 2 – 1/2 R; 3 – R

ზედაპირსა და ცენტრს შორის ტემპერატურათა სხვაობა Δt თავდაპირველად იზრდება, ხოლო შემდეგ შემცირებას იწყებს. ტემპერატურული ვარდნის მაქსიმალური მნიშვნელობა საწრთობი ნაკეთობის საწყისი ტემპერატურით, მისი ფორმით, ზომებით, ფიზიკური თვისებებით, საწრთობი არის გამაცივებელი უნარით და მისი ცირკულაციის ხარისხით განისაზღვრება. ნაკეთობის ზედაპირისა და ცენტრალური ფენების სხვადასხვა სიჩქარით გაცივებას თან სდევს არაერთგვაროვანი თბური კუმშვა და, აქედან გამომდინარე, თერმული დეფორმაციებისა და დაძაბულობების წარმოქმნა. №30 სურათზე წარმოდგენილია სწრაფი გაცივების დროს ნაკეთობის ზედაპირზე და ცენტრში, დერძული თერმული დაბეჭდვის ცვლილების სქემა. ფოლადის მაღალი პლასტიკურობის გამო დეფორმაცია მაღალ ტემპერატურაზე დრეკად-პლასტიკური ხასიათისაა, ამიტომ, ზედაპირული ფენები ცენტრალურ ზონებთან შედარებით უფრო გაჭიმული აღმოჩნდება. რადგან საწრთობი სხეულის მთლიანობა შენარჩუნებულია, გაცივების ბოლოს ზედაპირზე მკუმშავი, ხოლო ცენტრში – გამჭიმავი დაბეჭდვები შეინიშნება. ამგვარად, გაცივების პროცესში თავდაპირველად დროებითი, ხოლო შემდეგ – განსხვავებული მიმართულების ნარჩენი დაბეჭდვები წარმოიქმნება.

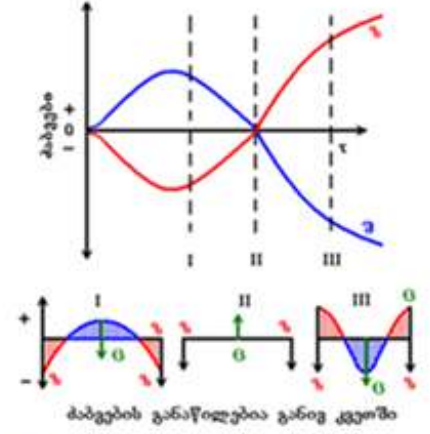
თუ გაცივებისას სხეულში გამჭოლი წრთობა განვითარდა, რომელსაც თან სდევს სტრუქტურული ცვლილებებით განპირობებული მოცულობის ზრდა, მაშინ დროებითი და ნარჩენი დაბეჭდვის ცვლილების ხასიათს №31 სურათზე წარმოდგენილი სახე ექნება. №30 და №31 სურათის ურთიერთ შედარებით ადვილად დგინდება, რომ სტრუქტურული დაძაბულობები თერმული დაძაბულობების საწინააღმდეგო მიმართულებით იცვლება – გაცივების დასასრულს ზედაპირულ ფენებში გამჭიმავი, ხოლო ცენტრში – მკუმშავი დაბეჭდვები აღიძვრება. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია სტრუქტურული არაერთგვაროვნების გამო დამატებითი დაძაბულობებიც აღიძვრას.

შედარებით მარტივ ამოცანას წარმოადგენს ტექნოლოგიურ ფაქტორებსა და თერმულ დაძაბულობებს შორის კავშირის დადგენა ისეთი ლითონური მასალების გახურებისა და გაცივების შემთხვევაში, რომელშიც ფაზური გადაკრისტალაცია ან არ მიმდინარეობს, ან ქვედა კრიტიკული წერტილის ქვემოთ გახურებული ფოლადის გაცივება წონასწორულ მდგომარეობასთან მიახლოებულ პირობებში ხდება. რაც უფრო მაღალია გახურების ტემპერატურა და ინტენსიურია გაცივების პროცესი, მით უფრო მაღალია თერმული დაძაბულობების დონე. იგივე ეფექტს იწვევს ნაკეთობის ფორმის გართულება და ზომების გაზრდა.

უფრო რთულია სტრუქტურული დაძაბულობების შეფასება, რადგან მათი განსაზღვრა ჯამური სტრუქტურული და ტემპერატურული დეფორმაციით ხორციელ-



სურ. №30. ცილინდრული სხეულის სწრაფი გაცივების დროს წარმოქმნილი თერმული დაბეგების ცვლილებების სქემა
 შ-შუაგული; ზ-ზედაპირი; ც-ცენტრი



სურ. №31. ცილინდრული სხეულის გამჭოლი წრთობის პირობებში წარმოქმნილი სტრუქტურულ დაბეგების ცვლილებების სქემა
 შ-შუაგული; ზ-ზედაპირი; ც-ცენტრი

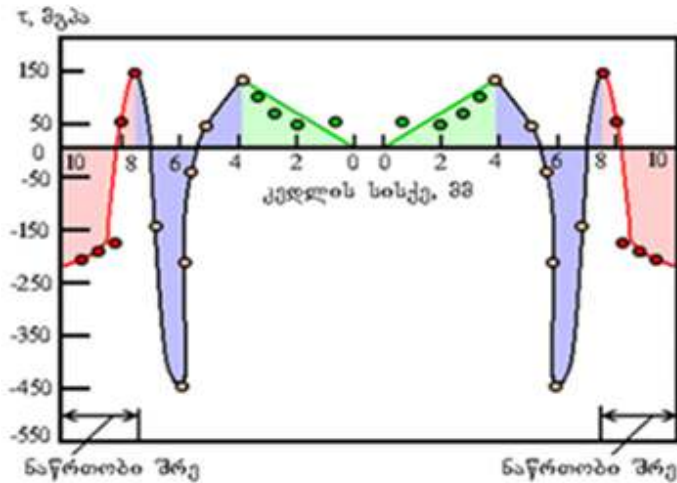
დება. მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ ნარჩენი დაბეგების სიდიდე მასალის მექანიკური, ფიზიკური და ტექნოლოგიური თვისებებით განისაზღვრება. სხვა თანაბარ პირობებში ნარჩენი დაბეგების შემცირებას ხელს უწყობს დენადობის ზღვრის, თერმული გაფართოების კოეფიციენტისა და რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის დაბლობა, ტემპერატურის ერთგვაროვნების ხარისხის ამაღლება, რელაქსაციური მდგრადობის შემცირება, დაბოლოს, მატრიცის, მისგან გამოყოფილი მეორეული ფაზის ან წარმოქმნილი ნაწილაკების კუთრ მოცულობებს შორის სხვაობის შემცირება.

დადგენილია, რომ მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში გაცივების სიჩქარის შემცირება მნიშვნელოვნად ამცირებს ნარჩენ დაბეგებს. მაგალითად, წყალში წრთობიდან ზეთში წრთობაზე გადასვლა ნარჩენ დაბეგებს 4-6-ჯერ ამცირებს, ჰაერზე წრთობა – დაახლოებით 10-ჯერ; ზეთში წრთობის ნაცვლად ცხელ გამაცივებელ არეში წრთობა განაპირობებს ნარჩენი დაბეგების შემცირებას 3-4-ჯერ. ნარჩენ დაბეგებს ეფექტურად ამცირებს აგრეთვე ნაწრთობი ფოლადის მოშვების ტემპერატურის ამაღლება.

განსაკუთრებით საყურადღებოა წრთობის წინ ზედაპირული ფენების გახურების გავლენა ნაკეთობის განივ კვეთში, ნარჩენი დაბეგების ცვლილების ხასიათზე. ზედაპირული ფენების გახურება დროებითი მკუმშავი დაბეგების აღძვრას გამოიწვევს. გაცივების პროცესში, რადგან ზედაპირის შეკუმშვას წინააღმდეგობას ცივი შუაგული გაუწევს, საპირისპირო, გამჭიმავი დაბეგები წარმოიქმნება. ასეთი სურათი შეინიშნება იმ შემთხვევაში, როდესაც ზედაპირულ ფენებში მარტენსიტული გარდაქმნა არ მიმდინარეობს.

თუ გაცივებისას ზედაპირული ფენები მარტენსიტულ გარდაქმნას განიცდის,

მათში მკუმშავი ძაბვები აღიძვრება, რომლებიც ზედაპირიდან გარკვეულ სიღრმეში გამჭიმავ ძაბვებში გადადის. გამჭიმავი ძაბვები მაქსიმალურ მნიშვნელობას გარდამავალ ზონაში აღწევს და შემდეგ ისევ მკუმშავი ძაბვებით იცვლება. ძაბვების ასეთი ცვლილების ხასიათი სქემატურად №32 სურათზეა წარმოდგენილი.



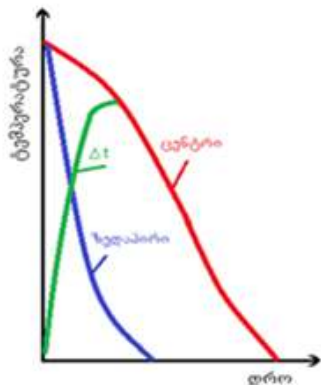
სურ. №32. ნარჩენი ძაბვები ფოლად 45-ში ზედაპირული წრთობის შემდეგ.

თერმული დამუშავების პრაქტიკაში, გარდა I გვარის ნარჩენი ძაბვებისა, შეიძლება ე.წ. ადგილობრივი (ლოკალური) ნარჩენი ძაბვებიც აღიძვრას, რომლებიც გასაცვივებელი დეტალის ზედაპირზე თბოგადაცემის პირობების მნიშვნელოვანი ცვლილების შედეგს წარმოადგენს. როგორც წესი, ასეთი დაძაბულობები მასვილ კუთხეებთან, მკვეთრი გადასვლის უბნებში, ჩაღრმავებებთან და ხერხელებთან აღიძვრება. ლოკალური დაძაბულობების წყაროს შეიძლება, ასევე, ხენჯის არათანაბარი შრე წარმოადგენდეს.

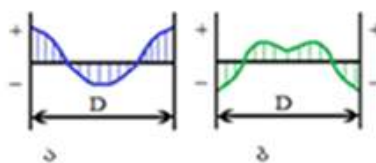
წრთობის დროს წარმოქმნილი დეფექტები და მათი შემცირების გზები. ძირითად დეფექტებს, რომლებიც ფოლადის თერმული დამუშავების დროს შეიძლება წარმოიქმნას, დეფორმაცია, დაბრეცა და შიგა ან გარე ბზარები მიეკუთვნება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, წრთობის პროცესში, გაცივებისას, ნაკეთობის განივკვეთში ტემპერატურის ვარდნილი წარმოიქმნება, რომელიც კუთრი მოცულობების ცვლილების გამო თერმულ ძაბვებს აღძრავს.

როგორც №33 სურათზე წარმოდგენილი მრუდების ხასიათიდან გამომდინარეობს, ზედაპირთან შედარებით, ნაკეთობის გული მნიშვნელოვნად უფრო ნელი სიჩქარით ცივდება. ამასთანავე, ტემპერატურათა სხვაობა Δt მით უფრო მეტია, რაც



სურ. №33. ტემპერატურის ცვლილების ხასიათი ნიმუშის ცენტრში და ზედაპირზე.



სურ. №34. ნარჩენი თერმული ძაბვების ცვლილების ხასიათი, რომლებიც წარმოიქმნება ზედაპირსა და გულს შორის უდიდესი ტემპერატურათა სხვაობის მომენტში (ა) და საბოლოო გაცივების შემდეგ (ბ).

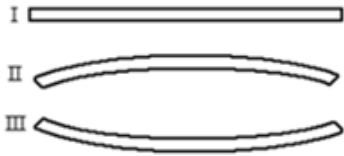
უფრო მცირეა ზედაპირის ტემპერატურა. ძაბვების წარმოქმნის თვალსაზრისით გაცივების ის პერიოდი ყველაზე საშიშია, როდესაც ტემპერატურათა სხვაობა მაქსიმუმს აღწევს. გაცივების ამ პერიოდში ზედაპირულ ფენებში გამჭიმავი, ხოლო გულში – მკუმშავი ძაბვები წარმოიქმნება (სურ. №34 ა). ბზარწარმოქმნისათვის საშიშროებას გამჭიმავი ძაბვები წარმოადგენს. შემდგომი გაცივების პროცესში ძაბვების გადანაწილება მიმდინარეობს და სრული გაცივების შემდეგ, ნორმალურ ტემპერატურაზე, ნაკეთობის ზედაპირული ფენები მკუმშავი, ხოლო გული – გამჭიმავი ძაბვების ზემოქმედებას განიცდის (სურ. №34 ბ). ამ ძაბვებს ნარჩენი ძაბვები ეწოდება.

სტრუქტურული ძაბვები აუსტენიტის მარტენსიტული გარდაქმნის პროცესში წარმოიქმნება. ამის მიზეზი საწყისი აუსტენიტისა და გარდაქმნის პროდუქტის, მარტენსიტის, მოცულობებს შორის განსხვავებაა. კერძოდ, ატომების შედარებით უფრო მჭიდრო წყობის გამო აუსტენიტი ნაკლები მოცულობით და მეტი სიმკვრივით ხასიათდება, მარტენსიტი კი ფოლადის სტრუქტურული შემდგენებიდან ყველაზე მაღალი ხვედრითი მოცულობით გამოირჩევა. ამიტომ, მარტენსიტზე წრთობას თან სდევს ხაზობრივი ზომების ზრდა. გასათვალისწინებელია, აგრეთვე, რომ მარტენსიტული გარდაქმნა ნაკეთობის სხვადასხვა უბანში განსხვავებულ პერიოდებში მიმდინარეობს.

წრთობის დროს აღძრული თერმული და სტრუქტურული დაძაბულობები ჯამდება. ჯამური ნარჩენი დაძაბულობები გაცივების პირობებზე, ნაკეთობის განივ კვეთზე, შეწრთობადობის სიღრმეზე და სხვა ფაქტორებზე დამოკიდებულებით, შეიძლება სხვადასხვა აღმოჩნდეს. მაგალითად, ზედაპირულ ფენებში მოსალოდნელია როგორც მკუმშავი, ისე გამჭიმავი ძაბვების წარმოქმნა.

დეფორმაცია (დაბრეცა). აღძრული თერმული ძაბვები, თავის მხრივ, ნაკეთობის ზომების, ფორმისა და მოცულობის ცვლილებას, ანუ მის დეფორმაციას განაპი-

რობებს. მაგალითის სახით №35 სურათზე წარმოდგენილია I ფირფიტის დეფორმაცია ერთი მხრიდან მისი გაცივების პირობებში. თუ ფირფიტა ქვემოდან ცივდება, პირველ რიგში ზომებში ფირფიტის ქვედა ფენები მოიკლებს და იგი II მდგომარეობაში წარმოდგენილ სახეს მიიღებს. ფირფიტის ზედა მხარის გაცივება მოგვიანებით იწყება, რაც მის ფორმას საპირისპიროდ შეცვლის (III პოზიცია №35 სურათზე).



სურ. №35. თერმული ძაბვებით განპირობებული ფირფიტის დეფორმაცია ცალი მხრიდან გაცივების პირობებში.

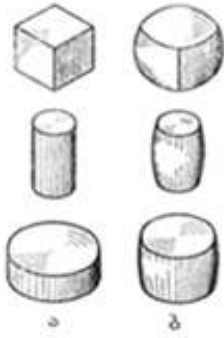
წარმოდგენილი მაგალითიდან პრაქტიკისათვის მეტად სასარგებლო ზოგადი დასკვნის გაკეთება შესაძლებელია: თერმული ძაბვებით განპირობებული ზომების შემცირება სხეულის იმ ადგილებშია მოსალოდნელი, რომლებიც უკანასკნელად ცივდება. თვალსაჩინოებისათვის №36 სურათზე ნაჩვენებია მარტივი გეომეტრიის მქონე სხეულის (ა) ფორმის

ცვლილების ხასიათი კრიტიკული წერტილის ქვემოთ მრავალჯერადი გახურებისა და გაცივების შედეგად წარმოქმნილი თერმული დაძაბულობების ზეგავლენით (ბ). როგორც წარმოდგენილი სქემებიდან გამომდინარეობს, დიაგონალების შემცირებისა და წახნაგების ამოხნეკის გამო, კუბის ფორმა სფეროს უახლოვდება. ცილინდრული ფორმის სხეულის გაცივებისას კი მისი სიმაღლე მცირდება იმ შემთხვევაში, თუ ეს ზომა ცილინდრის დიამეტრს აღემატება და პირიქით, იზრდება, თუ სიმაღლე დიამეტრზე ნაკლებია.

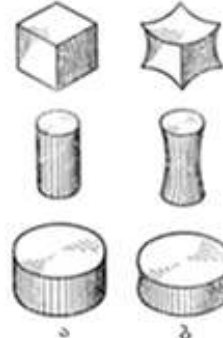
სტრუქტურული დაძაბულობებით განპირობებული დეფორმაცია ზემოთ აღნიშნულის საპირისპიროდ მიმდინარეობს (სურ. 37). კერძოდ, კუბის დიაგონალების სიგრძე იზრდება, ხოლო წახნაგები ცენტრისკენ იხნიჭება. ცილინდრული ნაკეთობა სიმაღლეში მატულობს, ხოლო დისკოსებრისა – მცირდება. აქედან გამომდინარე, სტრუქტურული ძაბვებით განპირობებული სხვადასხვა ნაკეთობის ფორმის შეცვლის მიმართულება, თერმული ძაბვებით გამოწვეული მიმართულებების შებრუნებულია.

ამგვარად, სტრუქტურული ძაბვების ზეგავლენით იმ ადგილების (მიმართულებების) ზომების გაზრდა შეინიშნება, რომელთა გაცივება ყველაზე ბოლოს მთავრდება.

ნაკეთობის არასიმეტრიული დეფორმაცია (დაბრეცა) ვლინდება, აგრეთვე, არათანაბარი და ზედმეტად მაღალ ტემპერატურამდე გახურებისას, საწრთობ არეში დეტალის არასწორი მდგომარეობით ჩატვირთვისა და მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში მაღალი სიჩქარით გაცივების შემთხვევაში. აღნიშნუ-



სურ. №36. მარტივი ფორმის სხეულები
თბური ძაბვების ზემოქმედებით
დეფორმაციის შემდეგ.
ა - საწყისი ფორმა; ბ - მრავალჯერადი
გახურებისა და გაცივების შემდეგ.



სურ. №37. მარტივი ფორმის სხეულები
სტრუქტურული ძაბვების ზემოქმედებით
დეფორმაციის შემდეგ.
ა - საწყისი ფორმა; ბ - მრავალჯერადი
გახურებისა და გაცივების შემდეგ.

ლი მიზეზების გამორიცხვა მნიშვნელოვნად შეამცირებს ნაკეთობის დაბრეცის ალბათობას.

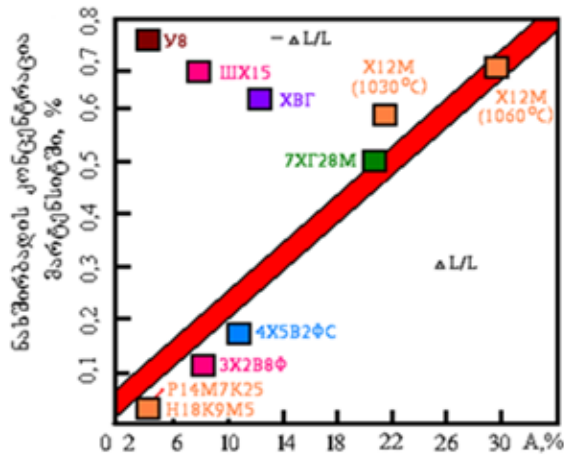
დაბრეცის არიდება უფრო ძნელია თხელ და გრძელ ნაკეთობაში. დაბრეცის შესამცირებლად ასეთ დეტალებს წრთობის დროს შტამპში, წნეხში ან სპეციალურ სამარჯვებში ჩამაგრებულ მდგომარეობაში აცივებენ. მარტენსიტული გარდაქმნის მიმდინარეობისას ფოლადი სიმტკიცეს კარგავს, ამიტომ ჩამაგრებულ მდგომარეობაში ლითონი ადვილად სწორდება.

№38 სურათზე წარმოდგენილია სხვადასხვა ფოლადის ხაზობრივი ზომების ცვლილების (შემცირების ან გაზრდის) ხასიათი პრაქტიკაში მიღებული ტემპერატურიდან წრთობის შემდეგ. ფოლადებში კარბიდების (ზომით 2-3 ბალი) განაწილება ერთგვაროვანია.

ნაკეთობის დეფორმაციის ხარისხი ნახშირბადისა და მალეგირებული ელემენტების შემცველობაზე, საწყისი სტრუქტურის ხასიათზე, მარტენსიტის, ნარჩენი აუსტენიტისა და ნაწრთობი ფოლადის სტრუქტურაში გაუხსნელი კარბიდების რაოდენობაზე, ნაკეთობის ფორმასა და ზომებზე, წრთობის წინ გახურების ტემპერატურაზე, გაუნახშირბადიანების ხარისხზე და გაცივების პირობებზეა დამოკიდებული.

ამგვარად, თერმული დამუშავების დროს ნამზადისა თუ ნაკეთობის დეფორმაცია მრავალი ფაქტორის ერთდროული ზემოქმედების შედეგს წარმოადგენს, ამიტომ, დეფორმაციის შემცირების გზების ცალსახად ფორმულირება მეტად გართულებულია.

ფორმის შეცვლა წარმოადგენს I გვარის ძაბვების წარმოქმნის შედეგს. თერმული და ფაზური დაძაბულობა ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას, ანუ ფორმის



სურ. №38. წვრილ მარცვალზე წრთობის დროს ხაზობრივი ზომების ცვლილების ხასიათი მარტენსიტში ნახშირბადის კონცენტრაცია და ნარჩენი აუსტენიტის შემცველობაზე დამოკიდებულებით. D:L=1:10.

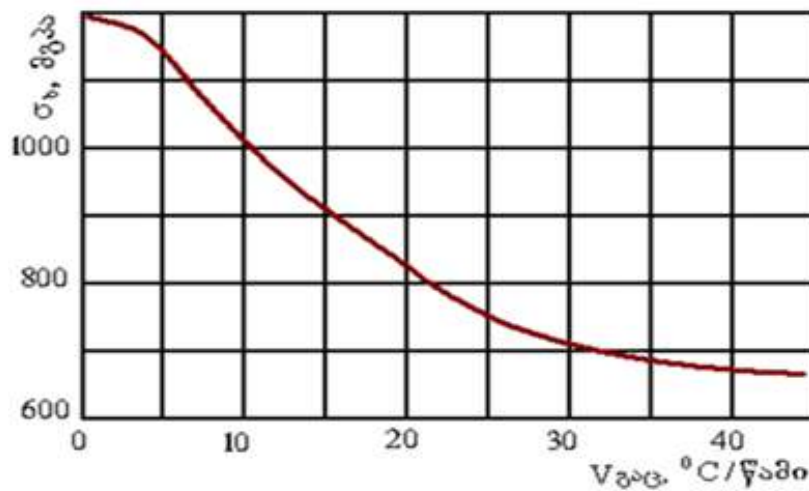
შეუქცევად ცვლილებას განაპირობებს. I გვარის ნარჩენი ძაბვები დამატებით დრეკად დეფორმაციას იწვევს. დრეკადი დეფორმაციის მოხსნა გახურების გზით, მაგალითად, მოწვით ან მოშვებით, არის შესაძლებელი.

მოშვების დროს შინაგანი დაძაბულობის მოხსნის ხარისხი ტემპერატურისა და მოშვების ხანგრძლივობის გაზრდით მატულობს. მაგალითად, როდესაც საწყისი შინაგანი დაძაბულობა $\sigma_1=600$ მგპა, ერთი საათის განმავლობაში 150, 300, 450 და 500°C-ზე მოწვის შემდეგ დაძაბულობა მცირდება 500, 450, 300 და 120 მგპა-მდე შესაბამისად. იზოთერმულ პირობებში, 550°C-ზე სხვადასხვა ხანგრძლივობით მოწვის შედეგად კი შემდეგი მონაცემებია მიღებული: 1,5 საათის შემდეგ საწყისი ძაბვა 600 მგპა-დან 100 მგპა-მდე მცირდება, ხოლო 4 საათის შემდეგ – 40 მგპა-მდე. ნახშირბადის შემცველობა გამოსაცდელ ფოლადში 0,3%-ს შეადგენს.

დეფორმაციისა და დაბრუნების ასაცილებლად ისეთ საშუალებებს მიმართავენ, რომლებიც მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში შენელებულ გაცივებას უზრუნველყოფს – საფეხურებიან და იზოთერმულ წრთობას, წრთობას ორ მაცივებელში, ნახშირბადიანი ფოლადების შეცვლას ლეგირებულით, რომლის წრთობაც წყლის ნაცვლად ზეთშია შესაძლებელი.

მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში გაცივების სიჩქარე არა მარტო ნაკეთობის დეფორმაციის ხარისხს განსაზღვრავს, არამედ ფოლადის თვისებებსაც. მაგალითად, ფოლად Y10-ის წრთობის პროცესში, მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში გაცივების სიჩქარის გაზრდა იწვევს სიმტკიცის ზღვრის შემცირებას 1200 მგპა-დან 670 მგპა-მდე, ანუ თითქმის ორჯერ (სურ. №39). სიმტკი-

ცის შემცირება განპირობებულია წრთობის დროს აღძრული შიგა გამჭიმავი ძაბვებით, რომლის სიდიდე 500 მგპა-ს აღწევს. ამასთანავე, გაცივების სიჩქარის შემცირების ხარისხი წრთობის კრიტიკული სიჩქარით არის შეზღუდული. ამიტომ, ფოლადების უმრავლესობა წყალში ან ზეთში იწრთობა, რაც გაცივების აუცილებელ სიჩქარეს უზრუნველყოფს. ასეთ პირობებში წრთობის შედეგად მცირე განივკვეთის ან დიდი სიგრძის დეტალების დაბრეცის აცილება პრაქტიკულად შეუძლებელი ხდება.



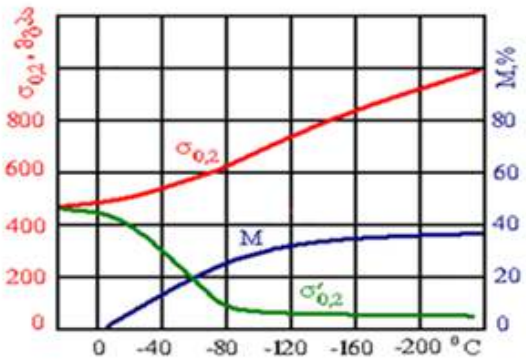
სურ. №39. Y10 ფოლადის სიმტკიცის ზღვრის დამოკიდებულება მარტენსიტულ ინტერვალში გაცივების სიჩქარეზე

დაბრეცის ხარისხის შესამცირებლად აუცილებელია გამაცივებელ სითხეში დეტალის წინასწარ შერჩეული, სწორი ხერხით ჩატვირთვა. მაგალითად, გრძელი, დეროსებრი დეტალები მკაცრად ვერტიკალურ მდგომარეობაში უნდა ჩაიტვირთოს; სასურველია წრთობა საწრთობ მანქანა-დანადგარებში და შტამპებში ტარდებოდეს, რომლებიც ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობისას ნაკეთობის ფორმას დააფიქსირებს. თერმული დამუშავების პრაქტიკაში ამ სამარჯვებს **საწრთობ წნეხებს** უწოდებენ.

გარედან მიყენებული დატვირთვის ზემოქმედებით დეფორმაციის აცილება იმ შემთხვევაში მიმდინარეობს, თუ გარე დატვირთვით აღძრული ძაბვა ლითონის დენადობის ზღვარს აღემატება.

წრთობის დროს მარტენსიტის რაოდენობა განუხრელად იზრდება, ამიტომ აუსტენიტ-მარტენსიტის ნარევის დენადობის ზღვარი $\sigma_{0.2}$ იზრდება, როგორც ეს №40 სურათზეა წარმოდგენილი. აუსტენიტ-მარტენსიტული გარდაქმნის პროცესში დენადობის პირობითი ზღვარი (ანუ ე.წ. გარდაქმნის დენადობის ზღვარი $\sigma'_{0.2}$) მარ-

ტენსიის რაოდენობის ზრდასთან და ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად მკვეთრად (13-14-ჯერ) იწეებს შემცირებას. აქედან გამომდინარე, ფაზური გარდაქმნის მიმდინარეობის პროცესში პლასტიკური დეფორმაციისათვის საკმარისია 50-100 მგპა ძაბვა, ნაცვლად 600-800 მგპა-ისა, იგივე სტრუქტურის მქონე ფოლადისათვის.



სურ. №40. დენადობის ზღვრის $\sigma_{0.2}$, გარდაქმნის დენადობის ზღვრისა $\sigma'_{0.2}$ და მარტენსიტის M შემცველობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ფოლადი შეიცავს 22%Ni, 2,5%Mn.

ასევე დადგენილია, რომ ფოლადის პლასტიკურობა მოშვების პროცესში, მარტენსიტის გარდაქმნის დროს, მნიშვნელოვნად აღემატება მაღალ ტემპერატურაზე მოშვებული ფოლადის პლასტიკურობას.

ზემოთ აღწერილი ფაქტი დაედო საფუძვლად თერმული დამუშავების ხერხს, რომელიც დეტალის

ფორმის უცვლელად შენარჩუნებას უზრუნველყოფს. ამ შემთხვევაში გეომეტრიული ფორმის შეცვლის ასაცილებლად ნაკეთობას ამაგრებენ დამაფიქსირებელ სამარჯვში ისეთნაირად, რომ წრთობისა თუ მოშვების პროცესი გარე ძალების ზემოქმედების პირობებში მიმდინარეობდეს. მინიჭებული გეომეტრიული ფორმის უცვლელად შენარჩუნება განპირობებულია გარდაქმნის დროს $\sigma'_{0.2}$ დენადობის ზღვრის მკვეთრი შემცირებისა და ტექნოლოგიური პლასტიკურობის განვითარების გამო. ამასთან ერთად მიმდინარეობს ნარჩენი შიგა ძაბვების რელაქსაცია, რაც ფოლადის მექანიკური თვისებების კომპლექსის ამაღლებას განაპირობებს.

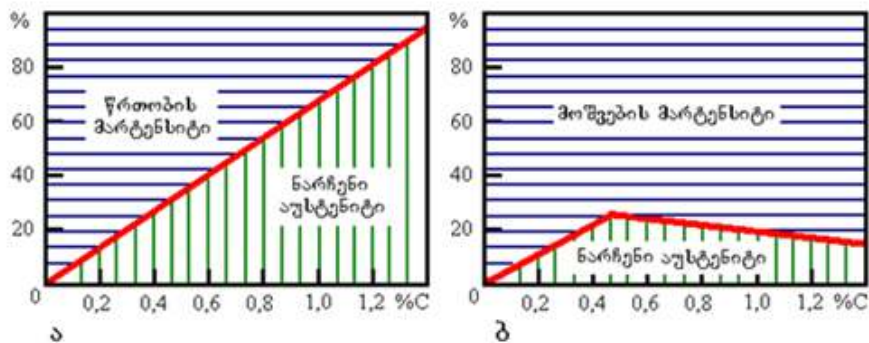
მოცულობის ცვლილების გარეშე დეტალის თერმული დამუშავება ნაწრთობი ფოლადის სტრუქტურაში მარტენსიტისა და ნარჩენი აუსტენიტის გარკვეული თანაფარდობის შენარჩუნების შემთხვევაშია შესაძლებელი. ამ პროცესს არადეფორმაციულ წრთობას უწოდებენ.

თუ ცნობილია ნახშირბადის საშუალო შემცველობა ფოლადში, მარტენსიტში და ნარჩენ აუსტენიტში, აგრეთვე, მარტენსიტის, ნარჩენი აუსტენიტისა და წრთობის ტემპერატურაზე მატრიცაში გაუხსნელი კარბიდების წილი, შესაძლებელია წრთობის შედეგად ნაკეთობის კუთრი მოცულობის ცვლილებისა და, შესაბამისად, დეფორმაციის ხარისხის განსაზღვრა. მოცულობის უცვლელად შენარჩუნებისათვის თერმულმა დამუშავებამ მარტენსიტისა და ნარჩენი აუსტენიტის ისეთი თანაფარდობის შენარჩუნება უნდა უზრუნველყოს, რომ საშუალო კუთრი მოცულობა საწ-

ყის, წროთობამდე სტრუქტურის (პერლიტის) კუთრი მოცულობის შესაბამისი იყოს.

დეტალის არადეფორმაციული წროთობის ტექნოლოგია იმ ფაქტზეა დაფუძნებული, რომ პერლიტური სტრუქტურა მარტენსიტულ და აუსტენიტურ სტრუქტურებს შორის კუთრი მოცულობის შუალედური მნიშვნელობით ხასიათდება. მაგალითად ფოლადში, რომელიც ნახშირბადს 0,5%-ს შეიცავს, მარტენსიტის კუთრი მოცულობა 0,128სმ³/გ შეადგენს, აუსტენიტისა – 0,123სმ³/გ, ხოლო პერლიტისა – 0,127სმ³/გ. მოცულობათა შორის სხვაობა 4%-ს აღწევს. ფოლადში ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდით პერლიტურ (ჩვეულებრივ, იგი ნაკეთობისათვის საწყის სტრუქტურას წარმოადგენს) და მარტენსიტულ სტრუქტურებს შორის მოცულობათა სხვაობა განუხრელად იზრდება. თერმული დამუშავების დროს მოცულობის უცვლელი შენარჩუნებისათვის საჭიროა აუსტენიტსა და მარტენსიტს შორის ისეთი თანაფარდობის შერჩევა, რომ საშუალო კუთრი მოცულობა საწყისი პერლიტური სტრუქტურის ტოლი აღმოჩნდეს. №41 სურათზე წარმოდგენილია მარტენსიტისა და ნარჩენი აუსტენიტის თანაფარდობა, რომელიც ნაკეთობის წროთობას დეფორმაციის გარეშე უზრუნველყოფს. №41 ა სურათზე მოყვანილი დიაგრამა წროთობის მარტენსიტსა და ნარჩენი აუსტენიტის კომბინაციისათვის მათ საჭირო თანაფარდობას მიუთითებს. მაგალითად, ფოლადში 0,4% ნახშირბადის შემცველობის შემთხვევაში დეფორმაციის გარეშე წროთობის უზრუნველსაყოფად ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა დაახლოებით 27%-ს უნდა შეადგენდეს. თუმცა რბილი ნარჩენი აუსტენიტის ასეთი რაოდენობა სისალის შემცირებას და არადამაკმაყოფილებელი საექსპლუატაციო მახასიათებლების ჩამოყალიბებას განაპირობებს.

ნარჩენი აუსტენიტის აუცილებელი რაოდენობის შესამცირებლად, საჭიროა მარტენსიტის კუთრი მოცულობის შემცირება. ამ მიზნით, მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში, შენელებული სიჩქარით გაცივებას მიმართავენ, რა დროსაც



სურ. №41. ნარჩენი აუსტენიტის, წროთობის მარტენსიტისა (ა) და მოშვების მარტენსიტის (ბ) რაოდენობებს შორის თანაფარდობა, დეფორმაციის გარეშე ფოლადის წროთობისათვის.

მარტენსიტის წარმოქმნას თან სდევს მისი მოშვება და α მყარ ხსნარში ნახშირბადის რაოდენობის შემცირება.

№41 ბ სურათზე წარმოდგენილია ნარჩენი აუსტენიტისა და მოშვების მარტენსიტის საჭირო რაოდენობების თანაფარდობა, დეფორმაციის გარეშე წრთობისათვის (ნახშირბადის შემცველობა მყარ ხსნარში 0,5%-ს შეადგენს). ეს მეთოდი სპეციალური მარკის საიარაღო ფოლადების დეფორმაციის გარეშე წრთობისათვის გამოიყენება.

იზოთერმული წრთობის დროს, როდესაც ფოლადში ბენიტი და ნარჩენი აუსტენიტი მიიღება, მოცულობათა ცვლილება უმნიშვნელოა.

ფოლადის ნაკეთობის მოცულობითი ცვლილებები შეიძლება არა მარტო თერმული დამუშავების, არამედ მზა ნაკეთობის დავარგების პროცესშიც მიმდინარეობდეს. ზომების არასტაბილურობა და მათი დროის მიხედვით ცვლილება, ჩვეულებრივ, ნახშირბადუხვი ფოლადებისგან დამზადებული მაღალი სიზუსტის ნაკეთობებში (საზომი ინსტრუმენტები, ბურთულა საკისრების დეტალები და ა.შ) შეინიშნება. მათი თერმული დამუშავება წრთობასა და დაბალტემპერატურულ მოშვებაში მდგომარეობს.

ოთახის ტემპერატურაზე დავარგებისას, შეიძლება მოხდეს როგორც ზომების შემცირება, ისე გაზრდა. ზომების შემცირება იმასთან არის დაკავშირებული, რომ ოთახის ტემპერატურაზე დავარგება წრთობის მარტენსიტის თანდათანობით მოშვებას იწვევს, რაც მყარი ხსნარიდან ნახშირბადის გამოყოფას და მარტენსიტის კუთრი მოცულობის შემცირებას განაპირობებს. მარტენსიტის სტაბილიზაციისათვის და ნაკეთობის ზომების შემცირების ასაცილებლად რეკომენდებულია მოშვება 120-150°C-ზე ჩატარდეს. ამ პროცესში მარტენსიტი სტაბილურ მდგომარეობაში გადადის და ოთახის ტემპერატურაზე დაშლას აღარ განიცდის.

ნაკეთობის ზომების გაზრდა ოთახის ტემპერატურაზე დავარგებისას, ნარჩენი აუსტენიტის თანდათანობითი დაშლით არის განპირობებული. ამის ასაცილებლად თერმული დამუშავება უნდა ჩატარდეს ნარჩენი აუსტენიტის მარტენსიტში სრული გარდაქმნისათვის, ანუ ნაკეთობა სრული მარტენსიტული სტრუქტურით უნდა ხასიათდებოდეს.

გეომეტრიული ფორმის აღდგენას, ანუ დაბრეცილი დეტალების გამართვას, თერმული დამუშავების შემდეგ, მისი სწორებით ან შეზუსტებით აწარმოებენ. სწორების დროს დეტალზე, რომელიც სპეციალურ სამარჯვშია ჩამაგრებული, გარედან

მიყენებული ძალით მოქმედებენ. თუმცა, ეს მეთოდი დამატებითი ნარჩენი ძაბვების წარმოქმნას და მექანიკური თვისებების გაუარესებას განაპირობებს.

წრთობის ბზარები. ნაკეთობაში აღძრულმა I გვარის შიგა გამჭიმავმა ძაბვებმა შეიძლება ფოლადის სიმტკიცის ზღვარს გადააჭარბოს, რაც ბზარების წარმოქმნას განაპირობებს. ბზარები გამოუსწორებელ წუნს მიეკუთვნება. ბზარები, უმეტეს შემთხვევაში, MH ტემპერატურის ქვემოთ, გაცივების შემდეგ წარმოიქმნება.

წრთობის ბზარების წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს ლითონის მეტად მკვეთრი გაცივება ან გახურება, დაძაბულობის კონცენტრატორების (მახვილი კუთხეები, განივკვეთის მკვეთრი გადასვლები, ღრმა კაწრულები და ა.შ), ნიჟარებისა და სხვა დეფექტების არსებობა. მიდრეკილება ბზარების წარმოქმნისადმი მატულობს ფოლადში ნახშირბადის შემცველობის გაზრდასთან ერთად, აგრეთვე, წრთობის ტემპერატურისა და მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში გაცივების სიჩქარის გაზრდით. ბზარების წარმოქმნას ხელს უწყობს ფოლადის შეწრთობადობის გაზრდაც.

ბზარი შეიძლება გაჩნდეს იმ შემთხვევაშიც, თუ ნაწრთობ დეტალში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ არის შიგა ძაბვები მოხსნილი.

წრთობის ბზარებს ოთხ ტიპად ყოფენ (სურ. №42):

I ტიპი – ღრმა ბზარები (სურ. №42 ა) წარმოიქმნება ისეთ ნაკეთობაში, რომელიც გამჭოლ წრთობას განიცდის. ისინი შეიძლება განვითარდეს როგორც ნაკეთობის გახურებისას (მსხვილ ნაჭედებსა და სხმულებში), ისე გაცივებისას (მეტად მცირე განივკვეთის ნაკეთობაში). ამიტომ, მსხვილი ნაჭედები ან სხმულები 20-750°C ტემპერატურულ ინტერვალში მცირე სიჩქარით უნდა გახურდეს.

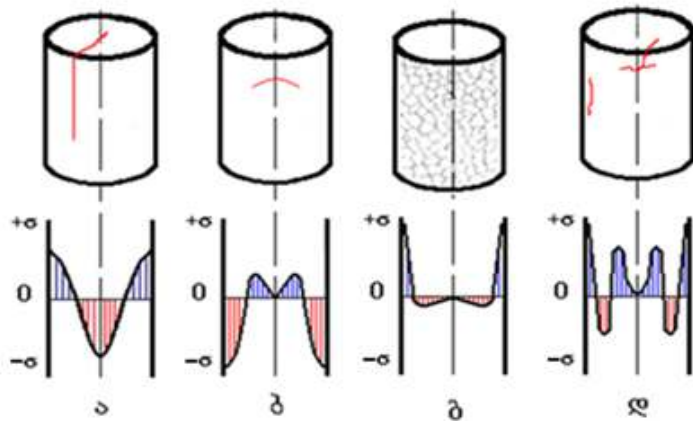
ბზარები გაცივებისას რომ არ წარმოიქმნას, საჭიროა: გადახურების აცილება, რადგან ფოლადის მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურა ბზარწარმოქმნის წინაპირობას წარმოადგენს; წრთობის ისეთი ხერხების გამოყენება, რომლებიც მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში ნელი სიჩქარით გაცივებას უზრუნველყოფს (საფეხურიანი წრთობა, წრთობა ორ მაცივებელში); ისეთი გამაცივებელი არის გამოყენება, რომელიც მარტენსიტულ ინტერვალში წყალთან შედარებით მნიშვნელოვნად უფრო დაბალი სიჩქარით გაცივებას განაპირობებს (ნავთი, მწვავე ნატრიუმის 50%-იანი ხსნარი, გლიცერინის წყალხსნარი და ა.შ).

გაცივების შემდეგ ბზარების წარმოქმნის ასაცილებლად, აუცილებელია ნაკეთობას წრთობის შემდეგ მოწვა ჩაუტარდეს.

II ტიპი – შიგა ბზარები (ბ) წარმოიქმნება ნაკეთობის კუთხეებში და გააჩნია რკალისებრი ფორმა. ბზარწარმოქმნა შიგა ფენებში იწყება და ზოგჯერ ზედაპირზე გამოდის. II ტიპის ბზარები უპირატესად ცუდი შეწრთობადობის ფოლადებში ან დაცემენტებულ ნაკეთობაში წარმოიქმნება.

სხმულში II ტიპის ბზარები მაღალი ტემპერატურის მქონე ღუმელში მისი გახურების მიზნით ჩატვირთვის შედეგად ვითარდება. უარყოფითი შედეგის აცილება ნელი გახურებით არის შესაძლებელი.

გაცივებისას II ტიპის ბზარები იმ შემთხვევაში წარმოიქმნება, როდესაც წრთობისათვის ფოლადს შედარებით დაბალ ტემპერატურამდე ახურებენ, ხოლო ნაკეთობის გულის სისაღე, წრთობის შემდეგ, 35-45 HRC-ს არ აღემატება. აღნიშნულ პროცესში შიგა ბზარების ასაცილებლად საჭიროა წრთობის ტემპერატურის ამადლება, გულში კი სისაღე არ უნდა იყოს 45 HRC-ზე ნაკლები. ამასთანავე მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში აუცილებელია ნაკეთობის დაბალი სიჩქარით გაცივება და უშუალოდ წრთობის შემდეგ მოშვების ჩატარება.



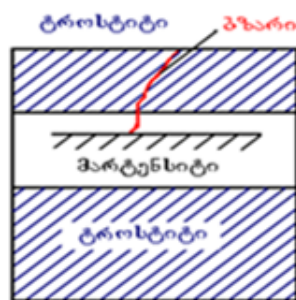
სურ. №42. წრთობის ბზარების კლასიფიკაცია პირველი გვარის ძაბვების განაწილების ხასიათზე დამოკიდებულებით.

III ტიპის ბზარები (გ) ნაკეთობის ზედაპირზე უწყვეტი ან წყვეტილი ბადის სახით ვითარდება და სიღრმეში 0,01-დან 2მმ-მდე ვრცელდება. ასეთი ბზარები წარმოიქმნება, მაგალითად, ნაწრთობი ნაკეთობის ხეხვისას, როდესაც მხოლოდ ზედაპირული ფენები ხურდება. ზედაპირის გახურება მცირე მოცულობის განსხვავებული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას უწყობს ხელს, რის შედეგადაც ამ ზონაში გამჭიმავი ძაბვები აღიძვრება. ხეხვის ბზარების აცილებას ხელს უწყობს თანაბარზომიერი მოშვება წრთობის შემდეგ.

III ტიპის ბზარების წარმოიქმნა შეიძლება განპირობებული იყოს, აგრეთვე, ნაწრთობი ფოლადის მოშვების პროცესში სწრაფი გახურებით.

ზედაპირული ბზარები შეიძლება ქიმიურ-თერმულად დამუშავებული (ცემენტირებული, დაქრომილი, დასილიცირებული) ნაკეთობების გაცივების პროცესშიც განვითარდეს. როდესაც წრთობისას დაცემენტებული ფოლადის ზედაპირზე აუსტენიტურ-მარტენსიტული სტრუქტურა ყალიბდება, ხოლო მომდევნო ფენაში – მარტენსიტული, ზედაპირზე გამჭიმავი ძაბვები წარმოიქმნება. სტრუქტურის ასეთი შეხამების შემთხვევაში გამჭიმავი ძაბვების არსებობა სახიფათო არ არის, რადგან აუსტენიტი, როგორც რბილი სტრუქტურული შემდგენი, პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდის.

თუ ზედაპირულ ფენებში ტროსტიტი ფორმირდება, ხოლო მის ქვეშრეში – მარტენსიტი, მაშინ, ტროსტიტში აღძრული გამჭიმავი ძაბვები ბზარის წარმოქმნის საშიშროებას ქმნის (სურ. №43). სტრუქტურების ასეთი შეხამება შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს ნაკეთობის ცემენტაციის შემდეგ, ნელი გაცივების პირობებში მაშინ, როდესაც მეტ-ნაკლებად მდგრადი, ევტექტიდური ზონის აუსტენიტი, ვერ ასწრებს ფერიტულ-ცემენტიტურ ნარევად დაშლას და მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურამდე გადაცივდება.



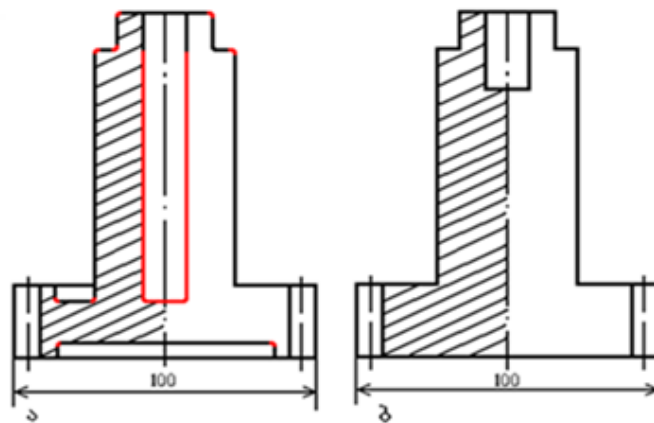
სურ. №43. სტრუქტურული ზონების განაწილება ცემენტირებულ შრეში, რომლის დროსაც შესაძლებელია მეოთხე ტიპის ბზარები წარმოიქმნება.

იმისათვის, რომ ცემენტირებულ შრეში სტრუქტურის ასეთი არასასურველი შეხამება არ მოხდეს, საჭიროა ან გაცივების შენელება (რათა ცემენტირებული შრის მთელ სისქეში მოხდეს პერლიტური ტიპის სტრუქტურის ჩამოყალიბება), ან პირიქით, გაცივება დაჩქარდეს (მაგალითად, ლეგირებული ფოლადის წრთობა ზეთში განხორციელდეს), რათა ზედაპირულ ფენებში აუსტენიტურ-მარტენსიტული სტრუქტურა ჩამოყალიბდეს და ბზარების წარმოქმნა გამოირიცხოს.

IV ტიპი – აშრეების ბზარები (სურ. №43 დ) ნაკეთობის ზედაპირთან, კუმშვის ზონაში, მხოლოდ იმ შემთხვევაში წარმოიქმნება, როდესაც შეინიშნება გამჭიმავი ძაბვების მეტად მკვეთრი გადასვლა მკუმშავ ძაბვებში. ხშირად აშრეების ბზარები ზედაპირული ბზარების განვითარების თანმხლები პროცესია. იგი III ტიპის ბზარების ანალოგიურად, ხეხვისა და ქიმიურ-თერმული დამუშავების პროცეს-

ში შეიძლება წარმოიქმნას, ამიტომ, მათ წინააღმდეგ ბრძოლის ხერხები III ტიპის ბზარების წარმოქმნის წინააღმდეგ ბრძოლის ხერხების ანალოგიურია.

ამგვარად, დეფორმაცია, დაბრეცა და ბზარები შიგა დაძაბულობის შედეგს წარმოადგენს. წრთობის დროს მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში ნელი გაცივება დაძაბულობის შესამცირებლად და აღნიშნული ტიპის დეფექტების ასაცილებლად ყველაზე ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს. წვრილი, ასევე მარტივი ფორმის მქონე დეტალები მახვილი კუთხეებისა და მკვეთრი გადასვლების გარეშე, ნაკლებად ხასიათდება დაბრეცისა და ბზარწარმოქმნისადმი მიდრეკილებით. ამიტომ კონსტრუირების დროს დეტალისადმი ტექნოლოგიური ფორმის მინიჭება აღნიშნული სახის დეფექტების შემცირების მნიშვნელოვან ხერხს წარმოადგენს. №44 სურათზე წარმოდგენილია დეტალების სწორად (ა) და არასწორად (ბ) კონსტრუირების მაგალითები. გასათვალისწინებელია, რომ რთული ფორმის დეტალები მიზანშეწონილია ისეთი ლეგირებული ფოლადებისგან დამზადდეს, რომლებიც ზეთში იწრთობა.



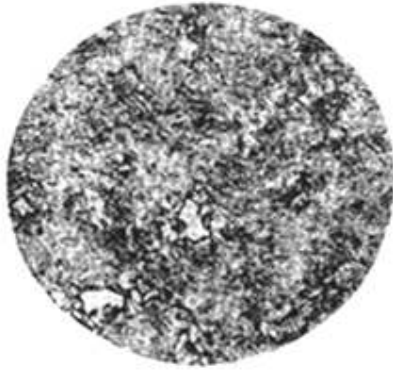
სურ. №44. სწორად (ა) და არასწორად (ბ) კონსტრუირებული დეტალის ესკიზები.

არასაკმარისი სისაღე. ნაწრთობი დეტალის არასაკმარისი სისაღე უკმარხურებით ან გაცივების არასაკმარისი ინტენსიობით აიხსნება.

პირველი შემთხვევის მიზეზი შეიძლება იყოს ღუმელის დაბალი ტემპერატურა ან წრთობის ოპტიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნების არასაკმარისი დრო. ასეთ პირობებში მარტენსიტი ვერ გაჯერდება ნახშირბადით, რაც, როგორც შედეგი, მარტენსიტის შემცირებულ სისაღეს განაპირობებს.

ქვევებქტილიდური ფოლადის Ac_3 ტემპერატურამდე, თუნდაც უმნიშვნელო უკმარხურების შემთხვევაში, ფერიტის გარკვეული რაოდენობა არ გარდაიქმნება აუსტენიტად. წრთობის შემდეგ აუსტენიტი მოგვცემს მარტენსიტს, ხოლო ფერიტი, რო-

მელიც გახურების პროცესში აუსტენიტად არ გარდაიქმნა, უცვლელად იქნება შემონახული ნაწრობ ფოლადში. შედეგად მარტენსიტულ-ფერიტული სტრუქტურა ჩამოყალიბდება (სურ. №45). ფერიტი, რომელიც დაბალი სისხალით ხასიათდება და მარტენსიტთან თანაარსებობს, ნაწრობი ფოლადის საერთო სისხალეს შეამცირებს. ამ დეფექტის გამოსწორება შეიძლება მოწვით და ობტიმალური ტემპერატურიდან განმეორებითი წრთობით.



სურ. №45. კრიტიკული წერტილის ზემოთ გახურებული ქვევებტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა წრთობის შემდეგ. ფერიტი-მარტენსიტი. x500.

წრთობის დროს არასაკმარისი ინტენსივობით გაცივება ვერ უზრუნველყოფს აუსტენიტის შენარჩუნებას მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურამდე, რის გამოც ლითონის სტრუქტურა შედგენილი იქნება არა მარტენსიტისაგან, არამედ მთლიანად ან ნაწილობრივ აუსტენიტის დაშლის პროდუქტებისაგან – ტროსტიტისაგან, ან სორბიტისაგან. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია გაცივების უფრო ინტენსიური მეთოდის გამოყენება, მა-

გალითად, გამაცივებელ სითხეში დეტალის ენერგიული (ხრახნული მოძრაობებით) გადაადგილება ან უბრალო წყლის ნაცვლად მარილიანი, ან შემჟავებული წყლის გამოყენება.

რბილი ლაქები (ლაქებიანი წრთობა). რბილი ლაქების წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს ნაკეთობის არასაკმარის ტემპერატურამდე გახურება, დაბალი ინტენსივობით გაცივება ან დეტალის ზედაპირის არათანაბარი გაცივება. ამ დეფექტის მოსპობის მეთოდიკა იგივეა, რაც ზემოთ იყო განხილული.

რბილი ლაქების წარმოქმნას ზოგჯერ საწყისი სტრუქტურის არაერთგვაროვნებაც (მსხვილი მარცვლების თანაარსებობა წვრილ მარცვლებთან ერთად, ზოლოვნება, ფერიტის თავმოყრის უბნები) განაპირობებს. წრთობის ტემპერატურამდე გახურებისას, ამ ადგილებში შეიძლება შემონახული აღმოჩნდეს ფერიტი ან წარმოიქმნას აუსტენიტი ნახშირბადის დაბალი კონცენტრაციით. ბუნებრივია, წრთობის სწორად ჩატარების შემთხვევაშიც კი ასეთ უბნებში სისხლე არასაკმარისი მიიღება. ლაქებიან წრთობას ხელს უწყობს, აგრეთვე, დეტალის ზედაპირზე ხენჯისა და ჭუჭყის არსებობა, გაცივების პროცესში საწრთობი დეტალების ერთმანეთთან შეხება, არაღიბონური ჩანართები.

ლაქებიანი წროთობის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდებია: წინასწარი თერმული დამუშავება (ნორმალიზაცია), რომელიც შედარებით ერთგვაროვანი საწყისი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს; გახურების პროცესში დეტალის დაცვა ხენჯის წარმოქმნისაგან; წროთობის წინ დეტალის გასუფთავება; გაცივების ხერხის სწორად შერჩევა; ფოლადის კონტროლი ერთგვაროვნებაზე და ჩანართების არსებობის გამორიცხვა.

გადამეტხურება. იმ შემთხვევაში, თუ ფოლადი წროთობის დროს ოპტიმალურზე მაღალ ტემპერატურამდე იყო გახურებული ან ხანგრძლივი დროის განმავლობაში დაყოვნებული, ადგილი ექნება გადამეტხურებას. ასეთ პირობებში ბუნებრივად ხდება აუსტენიტის მარცვლის მნიშვნელოვანი ზრდა, რის შედეგადაც, წრო-



სურ. №46. მსხვილნემსა მარტენსიტი წროთობის დროს გადამეტხურებულ ფოლადში. x500.

ობის შემდეგ, ფოლადში მსხვილნემსა მარტენსიტული სტრუქტურა ყალიბდება (სურ. №46). იგი გაზრდილი სიმყიფით და ბზინვარე ტეხილით გამოირჩევა. დეფექტის გამომჟღავნება მექანიკური გამოცდებისას, ტეხილის ანალიზით ან მიკროსტრუქტურული კვლევით ხდება.

წუნის გამოსწორება მოცემული ფოლადისათვის შესაბამისი ნორმალური ტემპერატურიდან განმეორებითი წროთობით არის შესაძლებელი.

ზედაპირის ჟანგვა და გაუნახშირბადოება.

ეს დეფექტი უმეტესწილად ალქმედ ან ელექტროლუმელებში, კონტროლირებადი ატმოსფეროს გამოყენების გარეშე, გახურებისას მიიღება. ამიტომ, დეტალის კონსტრუირებისას ხევაზე ნამატს ითვალისწინებენ, რაც აძვირებს და ართულებს თერმულად დასამუშავებელი დეტალის დამზადების ტექნოლოგიას. თერმულ ღუმელებში ხელოვნური კონტროლირებადი ატმოსფერო ამ დეფექტის აცილების ან შემცირების რადიკალურ ხერხს წარმოადგენს. მარილ-აბაზანებში გახურება ასევე ხელს უწყობს ჟანგვისა და გაუნახშირბადოების შემცირებას.

V თავი. თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის ხარისხის კონტროლი

1. ზოგადი მიმოხილვა

ტექნიკური კონტროლი გულისხმობს ნაკეთობის მახასიათებლებისა და თვისებების (ზომების, ფორმის, მასალის შესაბამისობის, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების, ხარისხის, ფუნქციონალური მახასიათებლების და ა.შ.) სათანადო მოთხოვნებთან შესაბამისობის შემოწმებას, ხოლო ხარისხის კონტროლი – ნაკეთობის და/ან მისი შემადგენელი ნაწილების ყველა პარამეტრის კონტროლს, ტექნიკურ პირობებთან მათი შესაბამისობის დადგენის მიზნით.

ამგვარად, კონტროლის ობიექტს საწყისი მასალები, თერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები, აგრეთვე, მზა პროდუქციის ხარისხი წარმოადგენს. კონტროლი სისტემატურად, საკმაოდ ზუსტად და საიმედოდ უნდა ტარდებოდეს.

მზა პროდუქციაში ან ნახევარფაბრიკატში თერმული დამუშავების დროს წარმოქმნილი წუნის მიზეზი შეიძლება იყოს წმინდა მეტალურგიული წარმომავლობა (ბეწვზარა, ჩაჯდომის ნიჟარა, გადაჭარბებული ლიკვაცია), ცხელი ან ცივი პლასტიკური დეფორმაციის დეფექტები, თერმული დამუშავების რეჟიმიდან გადახრა.

თერმული დამუშავების ხარისხი შეიძლება ლითონის მიკროსტრუქტურით, მექანიკური, ფიზიკური, ტექნოლოგიური და სხვა სპეციალური თვისებების შესწავლით შეფასდეს.

კონტროლი ხორციელდება ტექნიკური პირობების შესაბამისად, რომელშიც მითითებულია შემოწმებისთვის გათვალისწინებული ობიექტები, საკონტროლო მახასიათებლები და კონტროლის მეთოდები, საკონტროლო ობიექტის რაოდენობა პროცენტებში პროდუქციის ყოველი პარტიიდან ან ჩანატვირთიდან, აგრეთვე, თვისებების დასაშვები გაბნევის ხარისხი. კონტროლი შეიძლება იყოს შერჩევითი ან ასპროცენტური.

უმეტეს შემთხვევაში მზა პროდუქციის საექსპლუატაციო მდგრადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ზედაპირის მდგომარეობა და მისი სიმქისის ხარისხი ახდენს. ზედაპირული დეფექტები საგრძნობლად ამცირებს ისეთი ნაკეთობის ხანმედევობას, რომელიც ექსპლუატაციის პროცესში ნიშანცვლად დატვირთვებს განიცდის. აქედან გამომდინარე, ნაკეთობის ზედაპირის მდგომარეობის გულდასმით შემოწმება და შესწავლა ხარისხის კონტროლის მეტად მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენს.

თერმული დამუშავების პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კონტროლის სტა-

ტისტიკური მეთოდები, რომლებიც ალბათობის თეორიასა და მათემატიკურ სტატისტიკაზეა დაფუძნებული.

წარმოებაში სტატისტიკური კონტროლი, ჩვეულებრივ, შემდეგი ძირითადი ფორმებით ხორციელდება:

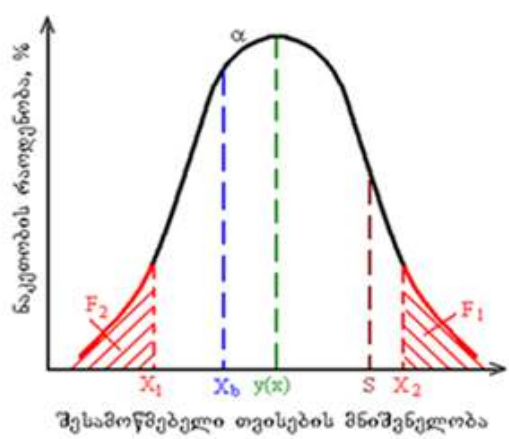
ა) შემომაველი კონტროლი, რომლის მიზანია მიღებული მასალებისა და ნახევარფაბრიკატების ხარისხის შეფასება (ფოლადი, ნაჭედი, სხმული);

ბ) პროდუქციის ხარისხის ტექნოლოგიური კონტროლი წარმოების ცალკეულ სტადიაზე;

გ) გამოსაშვები პროდუქციის გამაველი კონტროლი.

მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება იმ შემთხვევაშია საჭირო, როდესაც თერმული დამუშავების მოცემული ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობის დადგენა აუცილებელია. აღნიშნული მეთოდის გამოყენება ყველაზე მიზანშეწონილია მსხვილსერიული წარმოების პირობებში.

თუ დეტალების ან ნახევარფაბრიკატების განმეორებით გაზომვებით მიღებულ შედეგებს სიხშირის ფუნქციის სახით წარმოვადგენთ (ნაკეთობის რაოდენობა % – გასაზომი თვისების მნიშვნელობა), გაუსის ნორმალური განაწილების მრუდი მიიღება (სურ. №47). ასეთ შემთხვევაში თერმული დამუშავების ხარისხის დახასიათება შესაძლებელი იქნება:



სურ. №47. თერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის ხარისხის შეფასების სქემა მსხვილსერიულ წარმოებაში.
 X_b – თვისებების მოცემული დონე; $Y(x)$ – მათემატიკური მოლოდინი;
 α – $Y(x)$ -დან მოცემული მნიშვნელობის გადახრა; $F_1 + F_2$ – წუნი.

ა) საკონტროლებელი $y(x)$ (სიხშირის მაქსიმუმი) თვისების გადახრით ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებული x_b სიდიდისაგან (α);

ბ) მათემატიკურად მოსალოდნელი მნიშვნელობების მიმართ ფაქტიური მნიშვნელობების გაბნევის ხარისხით (s).

ნაკეთობები, რომელთა თვისებები ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებული დაშვების ზღვრებს მიღმა (x_1 -მდე და x_2 -ის ზემოთ) ძვეს, წუნდებულია. ბუნებრივია, მოცემული ტექნოლოგიური პროცესის ეკონომიკურ ეფექტიანობას მათი წილი განსაზღვრავს.

ნაკადურ წარმოებაში მზა პროდუქციის გარანტირებული დონე და მაღალი ხარისხი, მინიმალური მატერიალური და ენერგეტიკული დანახარჯებით შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს თერმული დამუშავების რაციონალური ტექნოლოგიის შერჩევით, ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი პარამეტრების კონტროლით და კონტროლის არამრღვევი მეთოდების მაქსიმალურად გამოყენებით. აუცილებელია აგრეთვე, რომ მეტალურგიულ და მანქანათმშენებელ ქარხნებში კონტროლის არამრღვევი მეთოდები მთელ სამრეწველო პროცესზე აქტიური ზემოქმედების საშუალებად გადაიქცეს. საკონტროლო ხელსაწყოები და მოწყობილობა აუცილებელია უშუალო ტექნოლოგიურ ციკლთან შეირწყას, რაც შესაძლებელს გახდის პროდუქციის ხარისხის კონტროლი სრული ავტომატიზაციისა და კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით განხორციელდეს.

2 დეტალების ხარისხის კონტროლი თერმული დამუშავების შემდეგ

თერმული დამუშავების ხარისხის შესაფასებლად ან ოპერაციებს შორის კონტროლს აწარმოებენ, ან საბოლოო კონტროლს. ბუნებრივია, პირველ შემთხვევაში დეტალები კონტროლირდება თერმული დამუშავების ოპერაციებს შორის, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ყველა ოპერაციის დამთავრების შემდეგ.

როგორც წესი, მოწმდება მექანიკური თვისებები, უმთავრესად დეტალის სისაღე, სტრუქტურა, დეფორმაციის ხარისხი, ქიმიურ-თერმული პროცესების და მაღალი სიხშირის დენით წრთობის შემთხვევაში – დამატებით ფენის სიღრმე. დეტალებში, სხვა დეფექტებთან ერთად, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს შესაძლო ბზარების გამოვლენას. კონტროლი ხორციელდება საამქროში (დეტალების საერთო ნაკადში), საამქროს ან ქარხნის ლაბორატორიებში.

თერმული და ქიმიურ-თერმული დამუშავების შემდეგ კონტროლის ძირითად ხერხს სისაღის განსაზღვრა წარმოადგენს. მაღალ სისაღეზე ნაწრთობი, აგრეთვე დეტალები, ცემენტაციის, ციანირების, წრთობისა და მოშვების შემდეგ, როკველის ან ვიკერსის ხელსაწყოზე კონტროლირდება. აზოტირებული დეტალების კონტროლისათვის გამოიყენება ვიკერსის ხელსაწყო.

გაუმჯობესების შემდეგ სისალის განსაზღვრა ბრინელის ერთეულებში ხორციელდება. ნაწრობი დეტალების სისალის ხარისხობრივი შეფასებისათვის შესაძლებელია ტარირებული ქლიბის გამოყენება. კონტროლის ეს მეთოდი შედარებით მარტივი, სწრაფი და იაფია, მაგრამ, იგი გარკვეულ გამოცდილებას მოითხოვს. ჩვეულებრივ, როკველისა და ვიკერსის ხელსაწყოებზე დეტალების 5-10% მოწმდება, ხოლო დანარჩენის კონტროლი ქლიბით ხდება.

თერმული დამუშავების შემდეგ სტრუქტურას მეტალოგრაფიული შლიფებით სწავლობენ. მიკროშლიფის მოსამზადებლად ნიმუშებს თხელი ალუნდის ან კარბორუნდის ქარგოლით ამოჭრიან. მოშვების ასაცილებლად ნიმუშების ამოჭრის დროს, დეტალს ინტენსიურად აცივებენ ემულსიით ან სხვა სითხით.

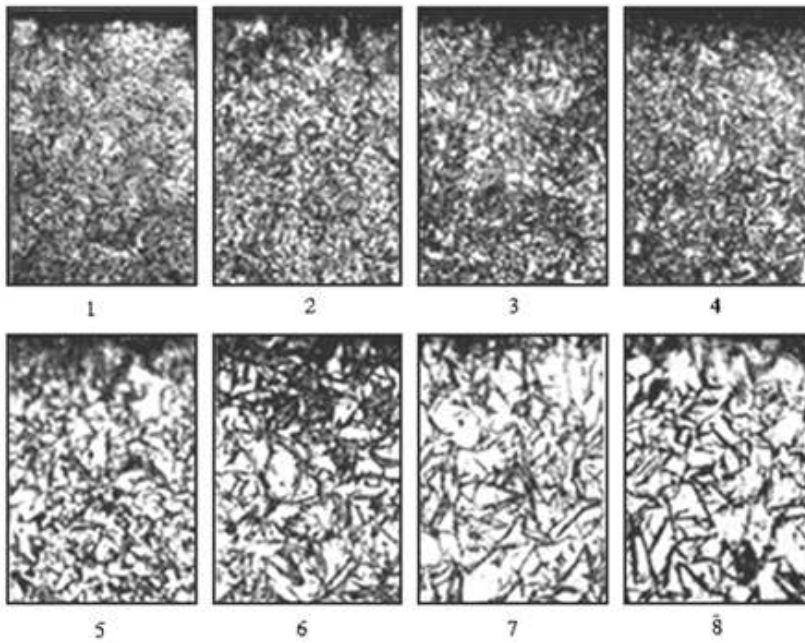
დაცემენტებული და დაციანებული დეტალების ხარისხის კონტროლისათვის მოწმე-ნიმუშებს იყენებენ, რომლებიც იგივე მასალისგან არის დამზადებული, რისგანაც თავად დეტალი. ამ მიზნით შესაძლებელია, აგრეთვე, მექანიკურ საამქროში წუნდებული ნაკეთობიდან ჩამონაჭრების გამოყენება, რომლებიც ქიმიურ-თერმულ დამუშავებას ვარგის დეტალებთან ერთად გადიოდა.

დაცემენტებული შრის სიღრმის მიახლოებითი განსაზღვრა, ნაწრობი მოწმის ჩამოტეხისა და $\approx 300^{\circ}\text{C}$ -მდე გახურების შემდეგ (როდესაც ფენაში ლურჯი ჟღალა ფერი მიიღება) ხორციელდება. ფენის სიღრმე თვალთა განისაზღვრება ან სახაზავით იზომება. უფრო ზუსტი ანალიზისთვის წარმოებს მომწვარი ნიმუშის მიკროშლიფის შესწავლა მიკროსკოპში.

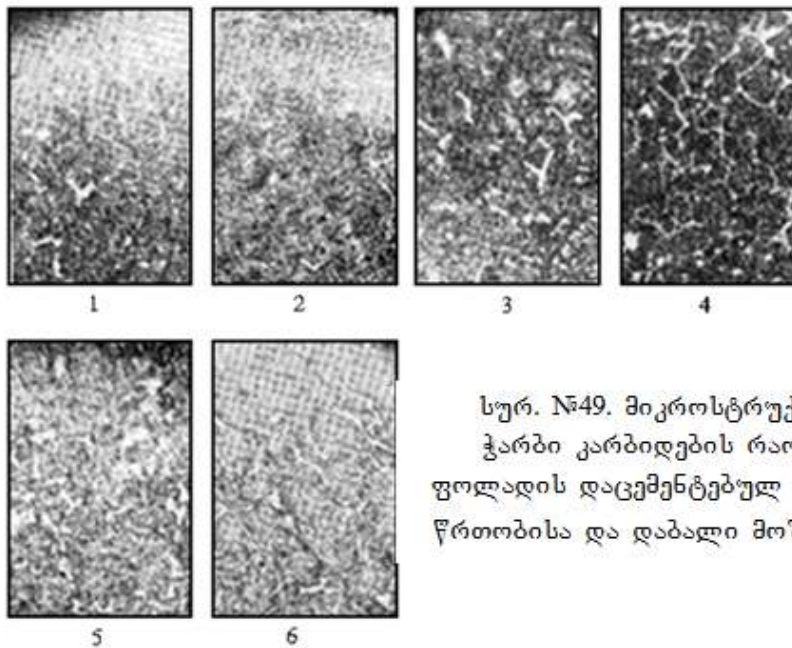
მნიშვნელოვანია დაცემენტებული შრის სტრუქტურის კონტროლი ნაწრობი ნიმუშის მიკროშლიფზე დაკვირვებით. დაცემენტებული დეტალის სტრუქტურის ხარისხი სპეციალური სკალის ბალებში ფასდება, რომელიც ქარხანაშია შემუშავებული. №48 სურათზე, მაგალითის სახით, წარმოდგენილია ნარჩენი აუსტენიტის, ხოლო №49 სურათზე – ჭარბი კარბიდების მიკროსტრუქტურების სკალა 30XIT ფოლადის ცემენტირებულ შრეში უშუალოდ წრთობისა და დაბალი მოშვების შემდეგ. დეტალები, რომელთა სტრუქტურა №48 სურათზე წარმოდგენილი სკალის 1-5 ბალს შეესაბამება, ვარგისად ითვლება, ხოლო 6-8 ბალის სტრუქტურის მქონე დეტალები, განმეორებით, თერმულ დამუშავებაზე იგზავნება.

ანალოგიურად, დეტალები, რომელთა სტრუქტურა №49 სურათზე წარმოდგენილი სკალის 1-3 ბალს შეესაბამება, ვარგისია, ხოლო 4-6 ბალის სტრუქტურის მქონე დეტალებს განმეორებითი თერმული დამუშავება უტარდება.

ღერძულა და ბრტყელ დეტალებს, რომლებსაც თერმული დამუშავების დროს



სურ. №48. მიკროსტრუქტურის სკალა. – ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა 30XIT ფოლადის დაცემენტებულ შრეში, უშუალოდ წრთობისა და დაბალი მოშვების შემდეგ. x400.



სურ. №49. მიკროსტრუქტურის სკალა. ჭარბი კარბიდების რაოდენობა 30XIT ფოლადის დაცემენტებულ შრეში, უშუალოდ, წრთობისა და დაბალი მოშვების შემდეგ. x400.

ფორმის შეცვლისკენ მიდრეკილება გააჩნია, გამართვას და სიმრუდეზე კონტროლს უტარებენ. იმისათვის, რომ თერმული დამუშავების შემდეგ ხეხვის დროს ღერძზე შავი უბნები არ დარჩეს, დეტალის სიმრუდე ცალ მხარეს ხეხვაზე გათვალისწინებული ნამატის ნახევარს არ უნდა აღემატებოდეს.

ბრტყელი დეტალების (ფილების) სიმრუდე შუპის გამოყენებით მოწმდება.

ნაკეთობის მთლიანობის დაურღვევლად ნაწრთობ დეტალზე ზედაპირული წვრილი ბზარების აღმოსაჩენად ფართოდ იყენებენ მაგნიტურ მეთოდს – მაგნიტურ დეფექტოსკოპიას. ამ მეთოდით კონტროლირდება, მაგალითად, ზამბარები, სარესორე ფურცლები, საბრუნო მუშტები, ავტომობილის საჭის მართვის დეტალები და სხვა.

ღია ზედაპირული დეფექტები, მაგალითად, მიკრობზარები, შეიძლება ლუმინისცენტური მეთოდით გამოძიდავდეს. მაგნიტურ დეფექტოსკოპიასთან შედარებით, რომელიც მხოლოდ მაგნიტურ ლითონებში იძლევა დეფექტების გამოძიდავების შესაძლებლობას, ლუმინისცენტური მეთოდით შეიძლება როგორც მაგნიტური, ისე არამაგნიტური მასალებისგან დამზადებული დეტალების კონტროლი.

3. ინსტრუმენტის კონტროლი თერმული დამუშავების შემდეგ

თერმული დამუშავების შემდეგ, ინსტრუმენტის ხარისხის კონტროლის მიზნით, აწარმოებენ შემდეგ სამუშაოებს:

ა) ზედაპირული დეფექტების (ბზარების, მჭრელ პირზე შემოდნობილი უბნების და ა.შ) გამოძიდავებას;

ბ) სისაღის განსაზღვრას;

გ) მიკროსტრუქტურის კონტროლს;

დ) სიმრუდის ხარისხის გაზომვებს.

ზედაპირული დეფექტების გამოძიდავება გასუფთავებული ინსტრუმენტის 100%-იანი ვიზუალური დათვალიერებით ხორციელდება. ფარული დეფექტების აღმოსაჩენად, განსაკუთრებით რთულ ფასონურ ინსტრუმენტებში, მაგნიტურ დეფექტოსკოპიას იყენებენ.

სისაღის კონტროლს ყველა თერმულად დამუშავებული ინსტრუმენტი ექვემდებარება. ამ მიზნით იყენებენ როგორც როკველის ხელსაწყოს, ისე ტარირებულ ქლიბს. შესაძლებელია კონტროლის სხვა მეთოდის გამოყენებაც. როგორც წესი, ამოწმებენ ინსტრუმენტის არა მარტო მუშა ნაწილს, არამედ ბოლოვანას სისაღესაც. ტარირებული ქლიბით სისაღის კონტროლთან ერთდ გაუნახშირბადოებულ ფენასაც ავლენს.

სამჭედლო ტვიფარის კონტროლი ბრინჯლის სპეციალურ წნეხზე ხორციელდება.

დაცემენტების, დაციანების ან ნიტროცემენტაციის შემდეგ მიკროსტრუქტურის კონტროლს შერჩევით აწარმოებენ (ინსტრუმენტების პარტიიდან 3-5%). ქიმიურ-თერმულად დამუშავებულ ნიმუშებში ფენის სიღრმე და მისი ხარისხი განისაზღვრება.

სწრაფმჭრელი ფოლადისაგან დამზადებულ დეროვან ინსტრუმენტებში (ბურღი,

შიგსახრახნი, საფართო და სხვა) მოშვების ხარისხს ამოწმებენ. ასეთი კონტროლისათვის სპეციალურ ხელსაწყოს – მაგნიტურ ანალიზატორს, აუსტომეტრს იყენებენ. დეროვანი ინსტრუმენტების 100% სიმრუდეზე კონტროლს ექვემდებარება. ბურღები კონუსური ბოლოვანით ცენტრებში მოწმდება, ხოლო ცილინდრული ბოლოვანით – ფილებზე.

VI თავი. ლითონის ხარისხის კონტროლის სტრუქტურული მეთოდები

1. მაკროსკოპული და ფრაქტოგრაფიული ანალიზი

ლითონის აგებულების შესწავლას შეუიარაღებელი თვალით ან მცირე გადიდებით (x30) კვლევის მაკროსკოპული მეთოდი ეწოდება. ამ შემთხვევაში ხედვის არეში საკმაოდ დიდი ფართობი ხვდება, რაც კარგ წარმოდგენას იძლევა ლითონის საერთო აგებულებაზე.

მაკროსკოპული კვლევის მეთოდი გამოიყენება – ლითონში დენდრიტული აგებულების, ჩაჯდომის სიფხვიერის, აიროვანი ნიჟარების, წილის ჩანართების, ბზარების, სტრუქტურული არაერთგვაროვნების, ფოსფორისა და გოგირდის ლიკვაციისა და შენადული ნაკერის ხარისხის გამოსამჟღავნებლად.

მაკროანალიზი ვერ ავლენს ლითონის აგებულების მრავალ თავისებურებას, ამიტომ კვლევის ეს მეთოდი, ჩვეულებრივ, ნიმუშის წინასწარი შესწავლისათვის გამოიყენება. მაკროსტრუქტურული კვლევის მონაცემებით შეიძლება შეირჩეს შესასწავლი ზედაპირის ის საინტერესო უბნები, რომელთა კვლევა შემდგომ უფრო გულდასმით უნდა ჩატარდეს მიკროანალიზით. ლითონის აგებულებას, რომელიც შეუიარაღებელი თვალით ან მცირე გადიდებით მჟღავნდება, **მაკროსტრუქტურა** ეწოდება.

კვლევა შეიძლება ჩატარდეს ნაკეთობის როგორც ბუნებრივ, ისე სპეციალურად მომზადებულ ზედაპირსა ან ტეხილზე დაკვირვებით. ზედაპირის მომზადება ხეხვითა და სათანადო რეაქტივით დამუშავების გზით ხდება. მაკროანალიზისათვის მომზადებულ ნიმუშს **მაკროხეხი** ეწოდება. თუ მაკროხეხი მომზადებულია ნაკეთობის განივ კვეთში, მას **ტემპლეტს** უწოდებენ.

ნგრევის ზედაპირის შესწავლისათვის ფართოდ სარგებლობენ ფრაქტოგრაფიული კვლევის მეთოდებით. ამ მიზნით შესაძლებელია ოპტიკური მიკროსკოპის გამოყენება, თუ ტეხილზე დაკვირვება ნატურალური ზომების შემცირებით ან მცირე გადიდების პირობებში (არაუმეტესი x50, მაკროფრაქტოგრაფია) ხდება. აღნიშნული გამადიდებლობის ზემოთ, მიკროსკოპის გარჩევისუნარიანობის ზღვრამდე ზედაპირის შესწავლას **მიკროფრაქტოგრაფია** ეწოდება. სტრუქტურის უფრო მცირე დეტალების კვლევისათვის ელექტრონული მიკროსკოპი გამოიყენება. ტეხილის ზედაპირის კვლევას ელექტრონული მიკროსკოპით **ელექტრონული ფრაქტოგრაფია** ეწოდება.

ტეხილის მაკროანალიზი

მაკროსტრუქტურის კვლევა ნაკეთობის მთლიანობის დაურღვეველად შედარებით იშვიათად გამოიყენება, რადგან ამ შემთხვევაში შესაძლებელია მხოლოდ ლითონის ზედაპირზე არსებული დეფექტების გამოვლენა. მაგალითად, მეტალურგიული წარმოების წუნისა და ბზარების, რომლებიც ლითონის დამუშავების ან ექსპლუატაციის პროცესში განვითარდა.

უმრავლეს შემთხვევაში მაკროსტრუქტურის შესწავლა უფრო მოხერხებულია ტეხილზე დაკვირვებით ჩატარდეს. ტეხილი გარკვეული მიახლოებით ლითონის სტრუქტურას ასახავს და ამდენად, მისი თვისებების შესახებ მსჯელობის საშუალებას იძლევა. ტეხილის გულდასმით შესწავლამ შეიძლება მნიშვნელოვანი ინფორმაცია მოგვცეს ლითონის თვისებებზე, რადგან იგი ნაკეთობის ყველაზე შესუსტებულ ადგილას ვითარდება.

ჩვეულებრივ, ტეხილი ზედაპირის წინასწარი დამუშავების გარეშე შეისწავლება. ზოგ შემთხვევაში მაკროსტრუქტურის უფრო მკაფიოდ გამოძიებების მიზნით, შეიძლება მისი რეაქტივით ამოჭმა.

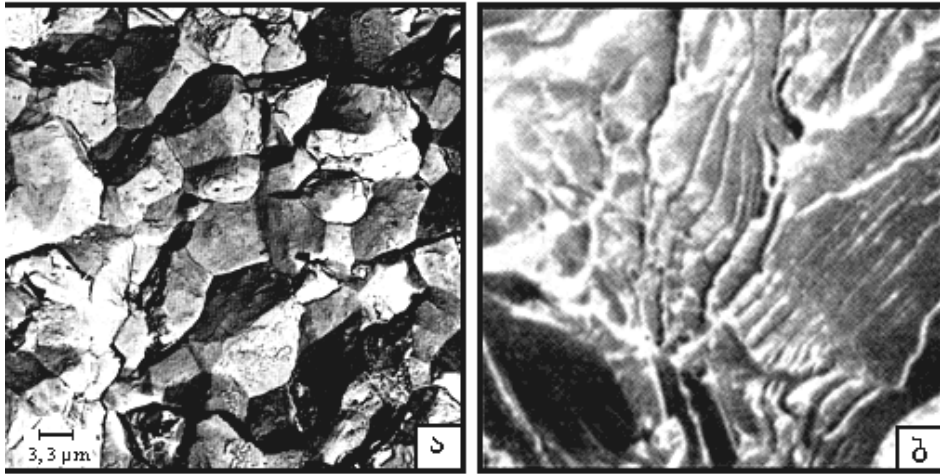
ტეხილი შეიძლება იყოს მყიფე, ბლანტი და დადლილობით გამოწვეული.

მყიფე ტეხილი კრისტალური აგებულებით ხასიათდება. ტეხილში კარგად ჩანს ლითონის მარცვლების ფორმა და ზომები, რადგან ნაკეთობის რღვევას უმნიშვნელო პლასტიკური დეფორმაცია უსწრებს და მარცვლის ფორმა თითქმის არ მახინჯდება. ტეხილი შეიძლება განვითარდეს როგორც მარცვლის საზღვრებზე, ისე მარცვლებზე. პირველ შემთხვევაში ტეხილს ინტერკრისტალური, ანუ კრისტალთშორისი ეწოდება (სურ. №50 ა), მეორე შემთხვევაში – ტრანსკრისტალური, ანუ შიგაკრისტალური (ბ).

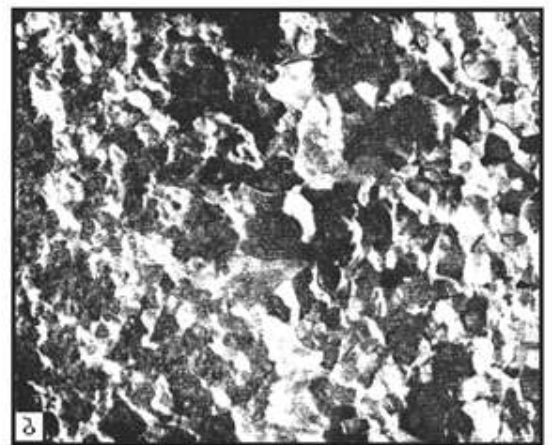
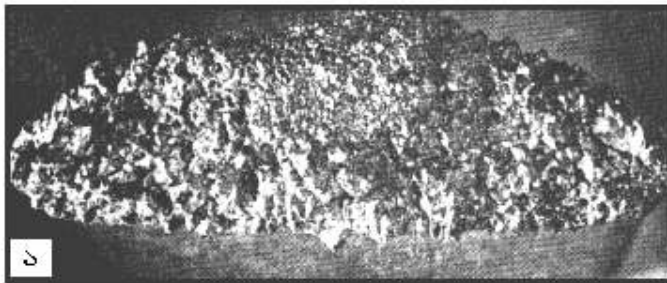
კრისტალთშორისი ტეხილი, ყველაზე ხშირად, მაღალ ტემპერატურაზე გახურებული ლითონის რღვევისას მიიღება, რაც მარცვლებს შორის საზღვრებზე ადვილდნობადი მინარევების თავმოყრით აიხსნება.

ლითონის მთლიანი ან ნაწილობრივი ინტერკრისტალური რღვევის შედეგად ე.წ. ქვისებრი ტეხილი მიიღება (სურ. №51). იგი, ჩვეულებრივ, ცხელი მექანიკური დამუშავებისას ლითონის გადახურების შედეგია. ასეთი ლითონი მსხვილმარცვლოვანი აგებულებით გამოირჩევა.

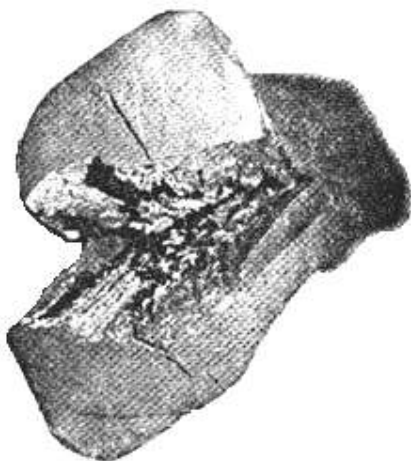
ტრანსკრისტალური ხასიათის რღვევის შედეგად, ზოგჯერ ქერცლოვანი აგებულების ტეხილი მიიღება, რომელიც გარეგნულად ნაფთაღინს მოგვაგონებს. ამი-



სურ. №50. ტეხილის ფრაქტოგრამები
 ა – კრისტალთშორისი ტეხილი, ბ – ტრანსკრისტალური ტეხილი. x140.



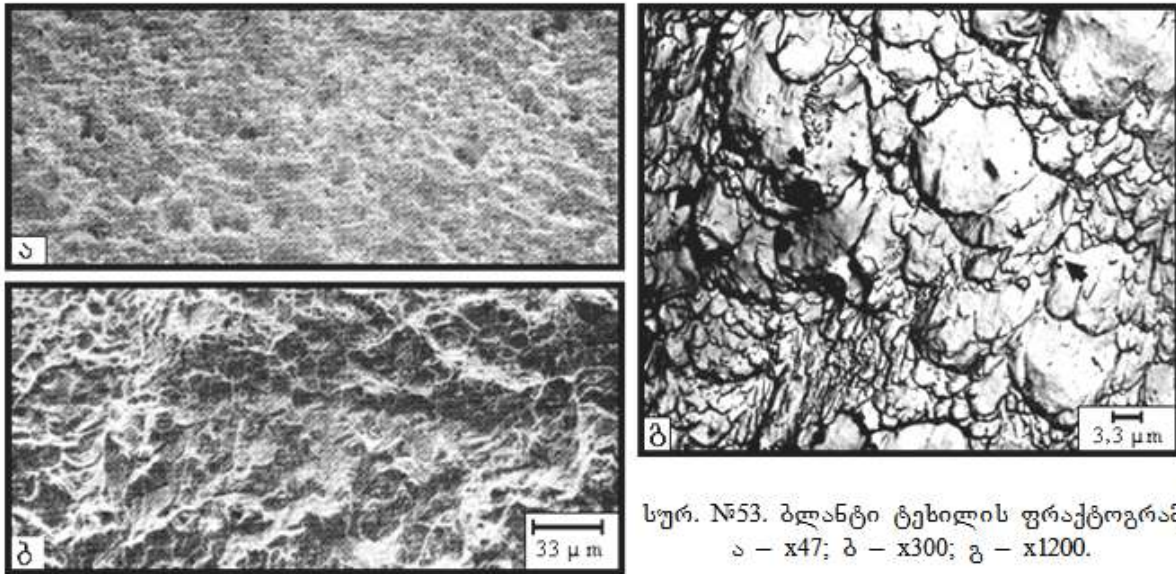
სურ. №51. ქვისებრი ტეხილის ფრაქტოგრამები.
 მარცვლების დეფორმაცია არ შეინიშნება.
 ა – x0,7; ბ – x1,5



სურ. №52. ხისმაგვარი (დენდრიტული)
 ტეხილის ფრაქტოგრამა. x0,5

ტომ მას ნაფთალისებრი ტეხილი ეწოდება. ასეთი ტეხილი შერჩევითი ბზინვარებით გამოირჩევა და ისიც ლითონის გახურებაზე მიუთითებს. თუ სხმული ლითონის რღვევა დენდრიტული კრისტალების საზღვრებზე განვითარდა, მყიფე ტეხილს დენდრიტული ეწოდება (სურ. №52).

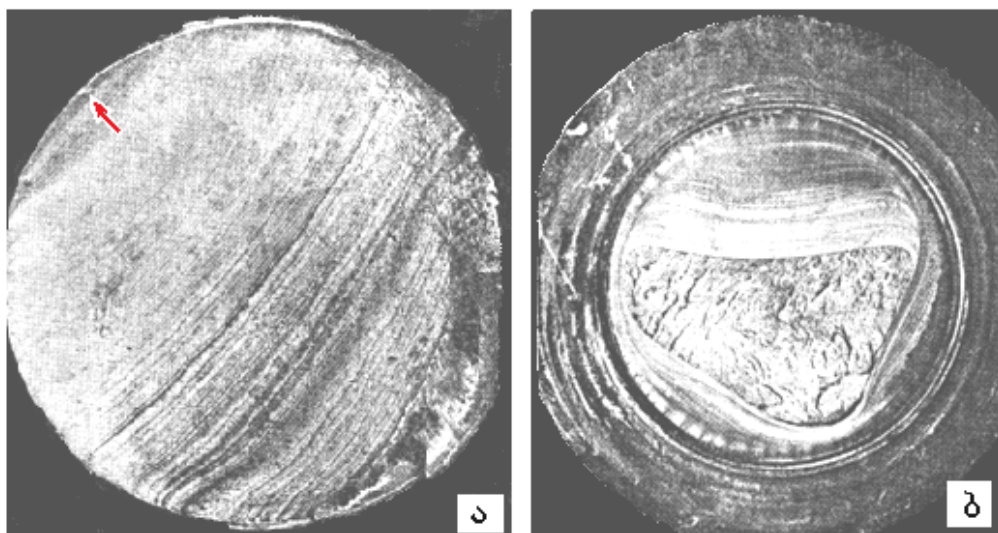
ბლანტი ტეხილი ბოჭკოვანი აგებულები-საა (სურ. №53). ლითონის მარცვლების ფორ-მა და ზომები ძლიერ დამახინჯებულია, ვინა-იდან რღვევა მნიშვნელოვანი პლასტიკური დე-ფორმაციის პირობებში მიმდინარეობს. ცხა-



სურ. №53. ბლანტი ტეხილის ფრაქტოგრამები.
 ა – x47; ბ – x300; გ – x1200.

დია, ბოჭკოვანი ტეხილით ლითონის საწყისი აგებულების შესწავლა შეუძლებელია.

დაღლილობით ტეხილში მკაფიოდ გაირჩევა სამი ზონა: რღვევის კერა (მიკრობზარის წარმოქმნის უბანი, რომელიც №54 ა სურათზე ისრითაა მითითებული), დაღლილობისა და რღვევის დამთავრების ზონები (სურ. №54, №55). ნგრევის კერა ზედაპირს ესაზღვრება და გლუვი, თითქოს მიღვსილი, გაპრიალებული ზედაპირით ხასიათდება. იგი თანდათანობით წარმოიქმნება დაღლილობითი ნაპრაღის (ბზარის) განვითარების შედეგად.



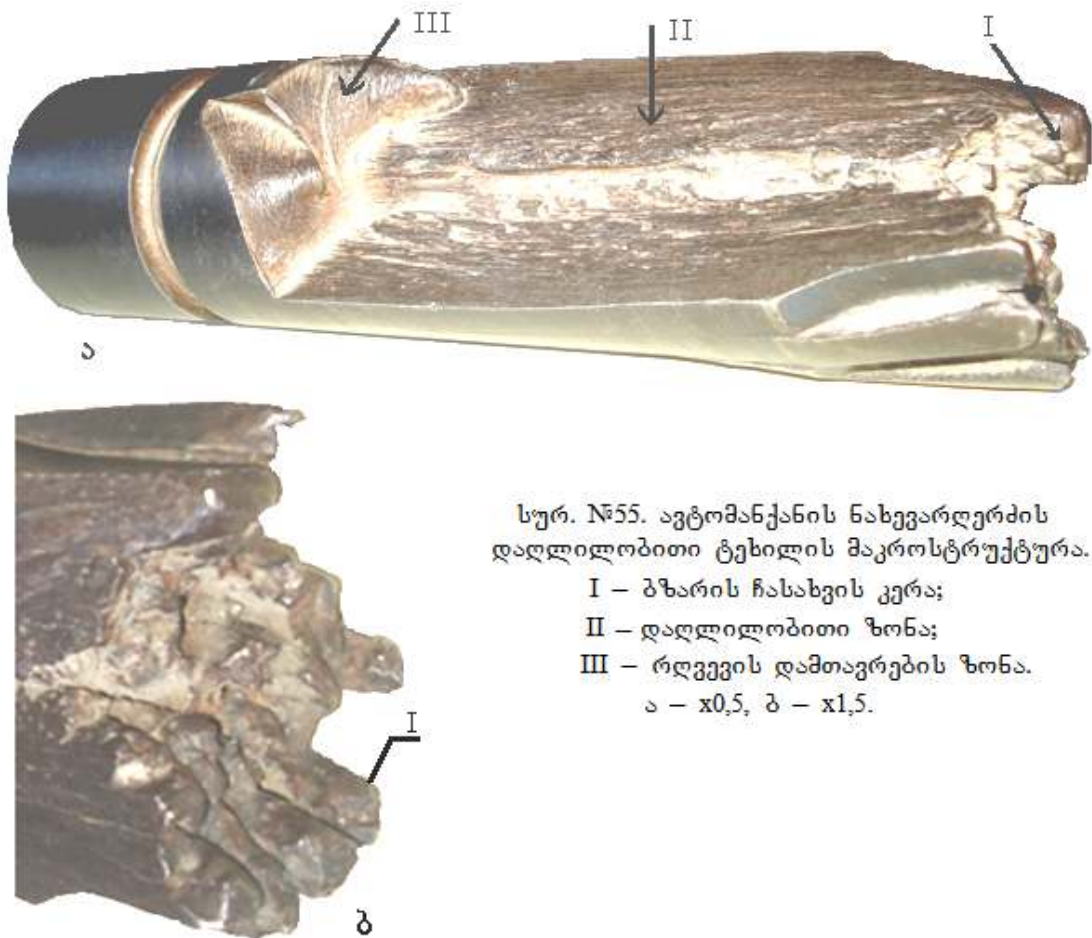
სურ. №54. დაღლილობითი ტეხილის ზედაპირის ფრაქტოგრამები.
 ა – x0,95, ბ - x0,65.

მეორე, დადლილობით ზონაში, როგორც წესი, მოჩანს დამახასიათებელი ნაღარები, რომლებსაც რგოლების კონფიგურაცია აქვს (სურ. №54). ეს დადლილობითი ბზარის ნახტომისებრ წაწვევაზე მიუთითებს. №54 ა ფრაქტოგრამაზე დადლილობის ზოლები იმის მაჩვენებელია, რომ ნაკეთობის რღვევამდე ბზარი თითქმის განიკვეთის 90%-ზე გავრცელდა. №54 ბ ფრაქტოგრამაზე გამოსახულია ტეხილი, რომელიც მღუნავი ძაბვების სამი მიმართულებით ზემოქმედების შედეგად არის მიღებული. სწორედ ასეთმა რთულმა დეფორმაციამ განაპირობა არაჩვეულებრივი ნაყშის მიღება, დადლილობითი ზოლების განვითარების გზით.

როდესაც ტეხილი დიდი დატვირთვისას, მგრეხი ძაბვის ზემოქმედებით უწყვეტად ვითარდება, დადლილობითმა ზონამ შეიძლება განსხვავებული აგებულებაც მიიღოს, როგორც ეს №55 სურათზეა მოცემული (II უბანი).

დადლილობითი ზონა ვითარდება მანამ, სანამ სულ უფრო და უფრო შემცირებულ მუშა კვეთში ძაბვის სიდიდე იმ მნიშვნელობამდე არ გაიზრდება, რომელიც ნაკეთობის სრულ რღვევას გამოიწვევს.

რღვევის დამთავრების ზონა ლითონის აგებულებასა და თვისებებზე დამოკი-



სურ. №55. ავტომატური ნახევარდერძის დადლილობითი ტეხილის მაკროსტრუქტურა.

- I – ბზარის ჩასახვის კერა;
 - II – დადლილობითი ზონა;
 - III – რღვევის დამთავრების ზონა.
- ა – x0,5, ბ – x1,5.

დებულებით ბლანტი (III, სურ. 55) ან მყიფე რღვევით ხასიათდება. ტეხილზე სწორად ჩატარებული მაკროანალიზი ყველაზე სრულყოფილად ახასიათებს ლითონის რღვევის სურათს.

2. შლიფის მაკროანალიზი

დეფექტებისა და ტრუქტურის გამომჟღავნება ლითონში ზედაპირული და ღრმად ამოჭმის მეთოდებით

მაკროხეხის მომზადება. მაკროხეხის მოსამზადებლად საჭიროა გამოსაკვლევი ნიმუშის ამოჭრა ნაკეთობის ყველაზე საინტერესო ადგილიდან და წინასწარი დამუშავება. ნიმუშის მომზადების ხერხებს განსაზღვრავს:

1. საკვლევი ობიექტის სახეობა (სხმული, ზოდი, ნაგლინი და ა.შ);
2. ობიექტის ზომები;
3. კვლევის ხასიათი (კვლევის მიზანი და სავარაუდო მეთოდი).

მაკროხეხის მომზადებისას გამოსაკვლევი ობიექტში უნდა შეირჩეს ჭრის ისეთი მიმართულება, რომელიც შესასწავლი სტრუქტურის ყველაზე მკაფიო გამომჟღავნებას უზრუნველყოფს.

მეტალურგიული პროდუქციის ზოგიერთი სახეობისათვის რეკომენდებულია ნიმუშის ამოჭრის შემდეგი სქემები:

1. სხმული დეტალისათვის – ერთი გრძივი და ორი ან სამი განივი ჭრილი, რომელთაგან ერთ-ერთი ჩაჯდომის ნიჟარის ქვედა ზონიდან ამოიჭრება.
2. რელსისათვის – ორი განივი ჭრილი თითოეული ბოლოდან.
3. ვაგონის ან ლოკომოტივის ღერძისათვის – სამ-სამი განივი ჭრილი, ამასთანავე, ერთი ნიმუში ღერძის შუა ნაწილიდან ამოიჭრება, თითო-თითო კი – თავსა და ბოლოში.
4. ფურცლოვანი რკინისათვის, ფურცლის თითოეული ბოლოდან 200მმ სიგრძის სამ-სამი განივი ნიმუში ამოიჭრება, ფურცლის გვერდებიდან – თითო-თითო, შუაგულიდან – ერთი.

საფრეზ ან სარანდ ჩარხზე დამუშავების შემდეგ ნიმუშის საკვლევი ზედაპირი ჯერ სახეხ ჩარხზე, ხოლო შემდეგ ზუმფარის ქაღალდით მუშავდება. ხეხვა უხეში აბრაზიული მარცვლოვნების ზუმფარით იწყება და თანდათანობით უფრო წვრილმარცვლოვანზე გადასვლით მთავრდება. საბოლოო ხეხვისათვის, ჩვეულებრივ, 125-75 მკმ მარცვლოვნების ზუმფარის ქაღალდი გამოიყენება. ზუმფარის ერთი ნომრიდან მეორეზე გადასვლისას ნიმუშის ზედაპირი ირეცხება და ხეხვის მიმარ-

თულება 90⁰-ით იცვლება. მაკროკვლევისათვის ნიმუში გაპრიალებით დამუშავებას არ საჭიროებს.

მაკროსტრუქტურის გამომჟღავნების ხერხები. დეფექტს, რომელიც ლითონის მთლიანობას (უწყვეტობას) არღვევს, მიეკუთვნება ჩაჯდომის სიფხვიერე, აიროვანი ნიჟარა, სიცარიელე და ბზარი. ზოდში, სხმულში, გლინვით ან ჭედვით დამზადებულ ნაკეთობაში დეფექტის გამოსამჟღავნებლად უფრო მიზანშეწონილია ტემპლეტის დამზადება, ხოლო შენადული ნაკერის გამოსაკვლევად – გრძივი ჭრილისგან დამზადებული მაკროხეხის შესწავლა.

აღნიშნული დეფექტების გამოსამჟღავნებლად იყენებენ როგორც ზედაპირული, ისე ღრმად ამოჭმის რეაქტივებს.

ღრმად ამოჭმის რეაქტივები უპირატესად სხმულისა და ნაგლინის მაკროანალიზისათვის გამოიყენება. რეაქტივების შედგენილობა №1 ცხრილშია მოცემული.

ღრმად ამოჭმისათვის მაკროხეხის ზედაპირს წინასწარ წმენდენ სპირტით ჭუჭყის მოსაცილებლად, ხოლო შემდეგ ჩატვირთავენ აბაზანაში, რომელშიც რეაქტივია ჩასხმული. ზოგიერთ შემთხვევაში ამოჭმა გამწოვ კარადაში რეაქტივში დასველებული ტამპონით ხდება. ამოჭმის შემდეგ მაკროხეხს მაშით ან რეზინის ხელთათმანის მეშვეობით იღებენ.

ნათელი ზედაპირის მისაღებად, რაც აადვილებს მაკროსტრუქტურულ კვლევას, ამოჭმის შემდეგ ნიმუშს ჯერ წყლით, შემდეგ წყლით განზავებული 10-15%-იანი აზოტმჟავათი რეცხავენ და აშრობენ. უჟანგავი ლითონის ნიმუში ჯერ წყლით ირეცხება, ხოლო შემდეგ - სპეციალური ხსნარით, რომელიც ასეთი შედგენილობისაა: 100მლ H₂SO₄, 50გ K₂Cr₂O₇, 100მლ წყალი.

ღრმად ამოჭმის რეაქტივი ძლიერ ურთიერთქმედებს ფოლადის ზედაპირთან. ამასთანავე, კონცენტრირებული მჟავებისა და მათი ნარეგების აგრესიული ზემოქმედება ლითონის ზედაპირზე არათანაბარია: იმ უბანში, სადაც არის ფორები, ნიჟარები, ბზარები, სტრუქტურული და ქიმიური არაერთგვაროვნება, რეაქტივი უფრო ინტენსიურად მოქმედებს, რის შედეგადაც მაკროხეხი შერჩევით ამოიჭმება და, ამის გამო, დეფექტები მკაფიოდ ჩანს.

ზედაპირული ამოჭმის რეაქტივებით კარგად მჟღავნდება შედარებით დიდი ზომის ფორები, შენადულ კონსტრუქციაში – ძირითადი და დადუღებული ლითონის საზღვარი და ლითონის დინების მიმართულება. თუმცა სუსტი ზემოქმედების გამო ისინი ვერ ცვლის ღრმად ამოჭმის რეაქტივებს ფლოკენების, ბზარების, სიფხვიერი-

მაკროხეხის ამოსაჭმელი ზოგიერთი რეაქტივი და რეჟიმები

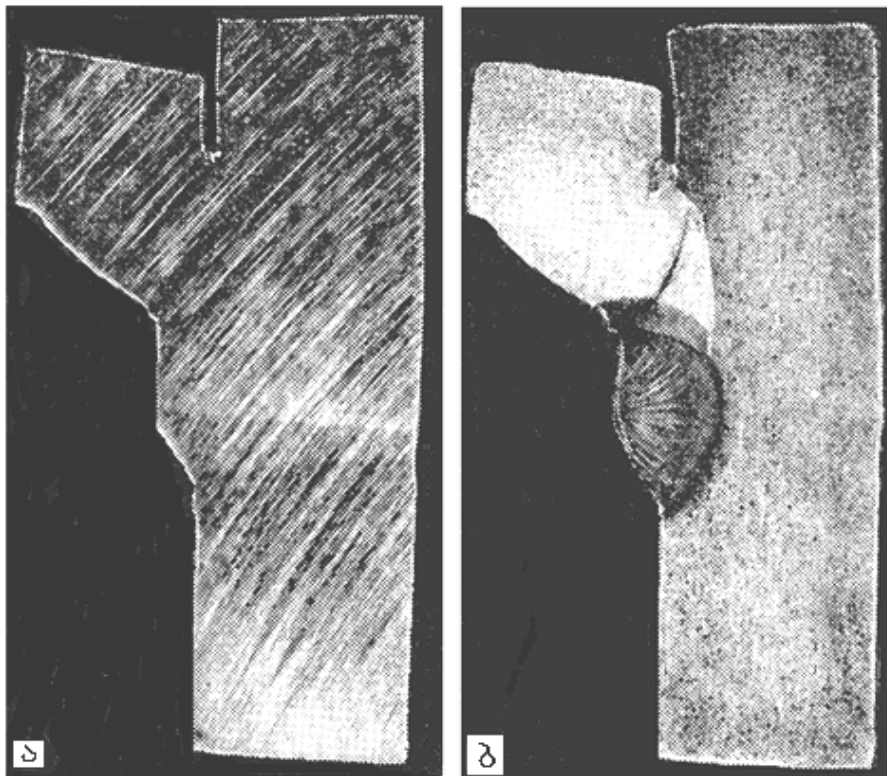
ფოლადის ღრმა ამოჭმისათვის		
შენადნობები	რეაქტივის შედგენილობა და ამოჭმის რეჟიმები	შენიშვნა
<p>ყველა ტიპის ფოლადი, გარდა აუსტენიტური და ფერიტული კლასის კოროზიამდეგი და მხურვალმდეგი ფოლადისა.</p> <p>კოროზიამდეგი, მხურვალმდეგი და სხვა აუსტენიტური კლასის ფოლადი.</p>	<p>მარილმჟავა 100 მლ, წყალი 100 მლ; $t=60-80^{\circ}\text{C}$; $\tau=5-45$ წთ.</p> <p>1. მარილმჟავა 100 მლ; აზოტმჟავა 10 მლ; წყალი 100 მლ; $t=60-70^{\circ}\text{C}$; $\tau=5-10$ წთ. 2. მარილმჟავა 100 მლ; HNO_3 100 მლ; წყალი 100 მლ; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 11-11,5 გ. $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=5-10$ წთ.</p>	<p>ნათელი ზედაპირის მისაღებად ამოჭმის შემდეგ ზედაპირი უნდა გაირეცხოს წყლით, შემდეგ 10-15%-იანი აზოტმჟავას ხსნარით და გაშრეს.</p> <p>რეკომენდებულია ამოჭმა რეაქტივში დასველებული ბამბის ტამპონით. ხეხი ირეცხება წყლით და 5-10%-იანი $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ხსნარით.</p>
ზედაპირული ამოჭმისათვის		
<p>ყველა შედგენილობის ფოლადი</p> <p>სპილენძის შენადნობები</p> <p>ალუმინის შენადნობები</p>	<p>გეინის რეაქტივი: NH_4Cl 53გ; CuCl_2 85 გ; წყალი 1000 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=0,5-1$ წთ.</p> <p>1. 10-20% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=1-5$ წთ. 2. FeCl_3 10გ; მარილმჟავა 30 მლ; წყალი 120 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=2-5$ წთ.</p> <p>მარილმჟავა 40 მლ; HNO_3 40 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=1-10$ წთ.</p>	<p>ხეხის ზედაპირიდან ნალექს აცილებენ ბამბით წყლის ჭავლის ქვეშ. დეფექტური უბნები უფრო ძლიერ არის ამოჭმული.</p> <p>ალუმინისა და სპილენძის შენადნობები ამოჭმის შემდეგ ირეცხება წყლით, 1-2 წამით იტვირთება HNO_3-ის 50%-იან ხსნარში, ირეცხება ცხელი წყლით და NaOH-ის 10-15%-იან წყალხსნარში.</p> <p>დურალუმინის ტიპის შენადნობისათვის ამოჭმის შემდეგ აუცილებელია გარეცხვა და გაშრობა</p>

სა და ისეთი ფორების გამოსამუდგენებლად, რომლებიც ლითონის ზედაპირზე არ გამოდის.

ზედაპირული ამოჭმის რეაქტივები განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება მცირე და საშუალონახშირბადიანი ფოლადის მაკროანალიზის ჩასატარებლად. ყველაზე ფართოდ გამოიყენება, პოვა სპილენძის იონების შემცველმა რეაქტივებმა. ამოჭმის წინ ნიმუში სპირტიანი ბამბით იწმინდება და რეაქტივში იტვირთება. წყალხსნარიდან გამოძევებული სპილენძი მაკროხეხის ზედაპირზე ილექება. იმ უბნებში,

სადაც რაიმე დეფექტია (ფორი, ბზარი, არალითონური ჩანართი), მიმოცვლის რეაქცია სრულად არ მიმდინარეობს, რის შედეგადაც დეფექტის ადგილები ნაკლებად იფარება სპილენძით და რეაქტივით უფრო ინტენსიურად ამოიჭმება.

№56 სურათზე გამოსახულია შენადული შეერთების მაკროხეხი ამოჭმამდე (ა) და გეინის რეაქტივით (იხ. ცხრ. №1) ამოჭმის შემდეგ (ბ). მაკროანალიზით პირაპირ უბნებში გამომჟღავნებულია ფორები. ძირითად ლითონში მოჩანს, აგრეთვე, მუქი ზოლები, რომლებიც ავლენენ ნახშირბადით, გოგირდით და ფოსფორით გაზდიდრებულ უბნებს.



სურ. №56. შენადული ნაკერის მაკროსტრუქტურა ამოჭმამდე (ა) და ამოჭმის შემდეგ (ბ)

თუჯში სხმული (დენდრიტული) სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად ბორის მუავათი გაჯერებული მარილმუავა გამოიყენება. მოქმედების დასაჩქარებლად რეაქტივს შეიძლება მცირე რაოდენობით წყალი დაემატოს.

ნიმუში რამდენიმე წუთით იტვირთება რეაქტივში, შემდეგ კი მსუბუქად პრიალდება. ციკლი 6-10-ჯერ მეორდება. ამოჭმის პირველი ციკლების შემდეგ მკვეთრად მჟღავნდება ბადისებრი სტრუქტურა, რომელიც შემდეგ ქრება და საბოლოოდ პირველადი კრისტალიზაციისათვის დამახასიათებელი დენდრიტული აგებულება ჩნდება.

სხმული ფოლადის მაკროსტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად ამონიუმის პერ-

სულფატის 15%-იანი წყალხსნარი გამოიყენება. მაკროხეხი 5-10 წუთის განმავლობაში 80-90°C-მდე გაცხელებულ რეაქტივში იტვირთება, რის შემდეგ წყლით ირეცხება და შრება.

მაღალი კონტრასტულობის მისაღებად ზემოთ აღნიშნული რეაქტივით დამუშავების შემდეგ ნიმუში 1-2 წუთის განმავლობაში 5%-იან აზოტმჟავაში იტვირთება, შემდეგ იწმინდება და 2-3 წუთის განმავლობაში მუშავდება, ამჯერად ცივი 15%-იანი ამონიუმის პერსულფატის წყალხსნარით.

წნევით დამუშავებისას (გლინვა, ჭედვა, ტვიფრვა) სხმული ფოლადის სტრუქტურა იმსხვრევა, მარცვლები და არალითონური ჩანართები დეფორმაციის მიმართულებით წაგრძელდება, რის შედეგადაც დამახასიათებელი ბოჭკოვანი აგებულება მიიღება.

ფოლადში ბოჭკოვანი აგებულების გამოსამჟღავნებლად შემდეგი რეაქტივები გამოიყენება:

1) 85 გ ქლორიანი სპილენძი, 53 გ ქლორიანი ამონიუმი და 1000 სმ³ წყალი.

მიკროხეხი რეაქტივში 1-2 წუთით იტვირთება. ვინაიდან ლითონის ბოჭკოები არაერთგვაროვანი შედგენილობითა და სტრუქტურით ხასიათდება, მაკროხეხის ზედაპირი არათანაბრად ამოჭმება. ამოჭმის შემდეგ ნიმუში წყლით ირეცხება და შრება.

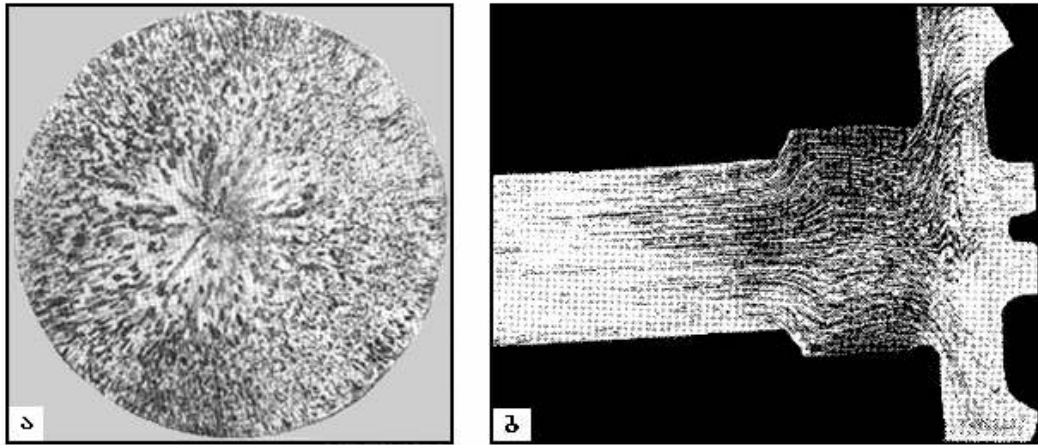
2) 50%-იანი მარილმჟავა. ამოჭმის პროცესი გამწოვ კარადაში მიმდინარეობს.

წყლიან ჭურჭელში თავსდება ფაიფურის ფიალა, რომელშიც რეაქტივია ჩასხმული და 60-70°C-მდე ცხელდება. ნიმუში რეაქტივში იტვირთება 10-45 წუთით. ამოჭმის შემდეგ ნიმუში ჯერ წყლით, შემდეგ წყალში განზავებული 10-15%-იანი აზოტმჟავათი ირეცხება და შრება.

№57 სურათზე მოცემულია სხმული ფოლადისა (ა) და ავტომანქანის გამოჭედილი ნახევარდერძის (ბ) მაკროსტრუქტურები. როგორც ამ მასალიდან ჩანს, ბოჭკოების მიმართულება ნაჭედის გარეგნულ ფორმასთან არის თანხვედნილი.

3. მიკროსკოპული ანალიზი

ადამიანის თვალი ბუნებრივი ოპტიკური ხელსაწყოა. თვალის ბადურაზე მკაფიო გამოსახულების მიღება დამოკიდებულია როგორც დასაკვირვებელი საგნის ზომებზე, ისე თვალიდან მის დაშორებაზე. უმცირესი მანძილი, როდესაც ადამიანი შესასწავლ საგანს გარკვევით ხედავს, 250მმ-ია. თუ დასაკვირვებელი საგნის ზომები 0,3მმ-ზე ნაკლებია, თვალით მისი ფორმისა და ცალკეული დეტალების გარჩევა შეუძლებელი ხდება. ამ შემთხვევაში აუცილებელია ადამიანის თვალის შეიარაღება



სურ. № 57. სხმული ფოლადისა (ა) და ავტომატანის ნახვეარღერძის (ბ) მაკროსტრუქტურა

ოპტიკური ხელსაწყოთი, რომელიც გაზრდის მკაფიო მხედველობის კუთხეს. ასეთი უმარტივესი ოპტიკური ხელსაწყო არის ლუპა. ლუპის გამადიდებლობა 2,5-დან 25-მდე იცვლება. ნიმუშის უფრო მეტი გადიდებით შესწავლისათვის მეტალოგრაფიული მიკროსკოპით სარგებლობენ.

ლითონის აგებულების კვლევას, სპეციალურად მომზადებულ ნიმუშზე, მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საშუალებით (50-2000-ჯერ გადიდებისას), კვლევის მიკროსკოპული მეთოდი ეწოდება. უფრო დიდ გადიდებაზე (100000-მდე), კვლევის აუცილებლობის შემთხვევაში, ელექტრონული მიკროსკოპი გამოიყენება.

ცნობილია, რომ ლითონის სტრუქტურასა და თვისებებს შორის არსებობს ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კავშირი. მიკროსკოპული ანალიზის ძირითადი უპირატესობა სწორედ ისაა, რომ იგი საშუალებას იძლევა, მიკროანალიზის მონაცემების საფუძველზე, ვიმსჯელოთ მანქანათა ნაწილებისა თუ კონსტრუქციების საიმედოობაზე. მიკროანალიზის (ზოგჯერ მაკროანალიზის) მონაცემებით შეიძლება დავადგინოთ, როგორ შეიცვლება ლითონის მექანიკური, ფიზიკური ან ქიმიური თვისებები, სტრუქტურის ამა თუ იმ მიმართულებით ცვლილებისას. უფრო მეტიც, შესაძლებელია მიეთითოს სტრუქტურის გაუმჯობესების ისეთი ეფექტური გზები, რომელიც სასურველი მიმართულებით შეცვლის ლითონის თვისებებს, ანუ პროგნოზირება გაუკეთდეს მისგან დამზადებული ნაკეთობის საექსპლუატაციო საიმედოობას.

მიკროსკოპული ანალიზით (მიკროანალიზით) შეიძლება გამოვავლინოთ:

1. ლითონის სტრუქტურული შემდგენების ფორმა და ზომები;
2. თერმული დამუშავებისა და გარე მექანიკური ზემოქმედების გავლენა შენაღობის შინაგანი აგებულების ცვლილებაზე;
3. ლითონში არსებული მიკრომანკები – მიკრობზარები, ნიჟარები და სხვა;

4. არალითონური ჩანართები – სულფიდები, ჟანგულები, გრაფიტის ჩანართები და სხვა.

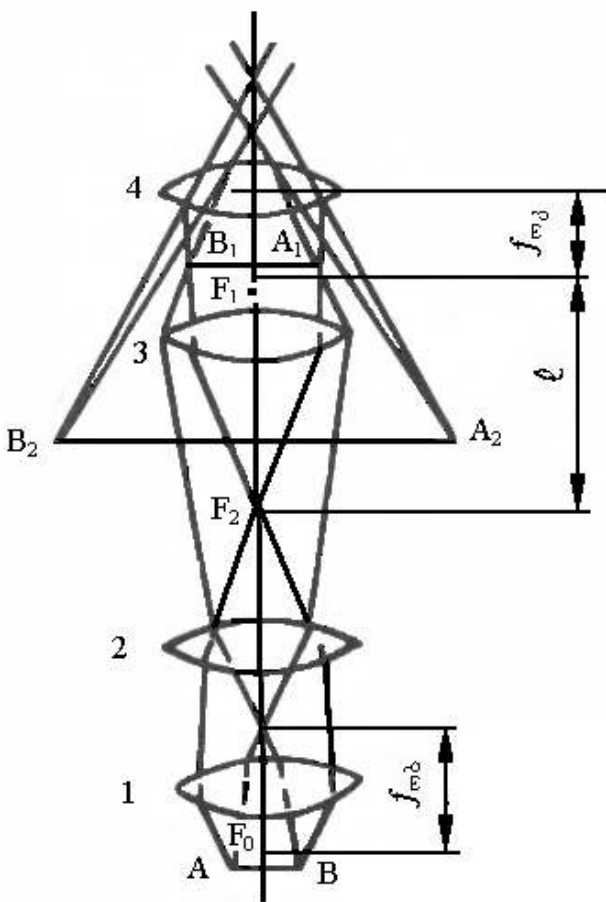
ცალკეულ შემთხვევებში მიკროანალიზი შენადნობის ქიმიური შედგენილობის მიახლოებითი განსაზღვრის შესაძლებლობასაც იძლევა.

ლითონის აგებულებას, რომელიც მიკროანალიზით შეისწავლება, **მიკროსტრუქტურა** ეწოდება. მიკროსტრუქტურის შესასწავლად გამოსაკვლევი მასალიდან უნდა ამოიჭრას ნიმუში და შემდეგ გარკვეული თანმიმდევრობით დამუშავდეს (ხეხვა, გაპრიალება, ამოჭმა). მიკროკვლევისათვის მომზადებულ ნიმუშს **მიკროსეხი** ეწოდება.

ამრიგად, მიკროსკოპული ანალიზი ორ ძირითად ეტაპს მოიცავს: 1. მიკროსეხის მომზადებას; 2. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საშუალებით მიკროსეხის კვლევას

მეტალოგრაფიული მიკროსკოპი

მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპში (სურ. №58) ორი გამადიდებელი ოპტიკური



სურ. №58. მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემის გამარტივებული სქემა.

სისტემაა გამოყენებული: ობიექტივი (1, 2) და ოკულარი (3, 4). ობიექტივი ადიდებს დასაკვირვებელ უბანს, ხოლო ოკულარი – მხოლოდ იმ გამოსახულებას, რომელიც ობიექტივიდან მიიღება და არ ავსებს მას არავითარი ახალი ელემენტით, თუ ისინი ობიექტივის მიერ არ არის გამომუშავებული.

ობიექტივი არის ღინზების რთული კომპლექსი, რომელიც ერთ კორპუსშია აკრეფილი. მისი ფრონტალური ბრტყელ-ამოზნექილი ღინზა განსაზღვრავს ობიექტივის გამადიდებლობას, ხოლო რამდენიმე საკორექციო ღინზა ხსნის არასასურველ ოპტიკურ ეფექტს – ქრომატულსა და სფერულ აბერაციებს, რომლებიც სინათლის სხივის ფრონტალურ ღინზაში გავლისას წარმოიქმნება. ობიექტივის კორპუსზე მითითებულია მისი

F ფოკუსური მანძილი და A აპერტურა. ოკულარი იძლევა შესასწავლი უბნის საბოლოო სურათს, თანაც იგი ასწორებს ისეთ ოპტიკურ დეფექტებს, რომლებიც რთული კონსტრუქციის ობიექტივის გამოყენების შემთხვევაშიც კი არ ისპობა. ოკულარის გამადიდებლობა მის კორპუსზეა მითითებული.

გამოსაკვლევი AB (სურ. №58) ნიმუში თავსდება ობიექტივის წინ, მისი F ფოკუსიდან მცირე მანძილზე. საგნის განათებისას სინათლის სხივი ნიმუშიდან აირეკლება, გარდატეხება ობიექტივის 1 და 2 ლინზაში, გაივლის ოკულარის 3 ლინზაში და იძლევა საგნის ნამდვილ, შებრუნებულ და გადიდებულ B_1A_1 გამოსახულებას. თვალთ დაკვირვებისას ლინზა, რომელიც ამ შემთხვევაში ლუპის როლს ასრულებს, იძლევა საგნის წარმოსახვით, გადიდებულ და შებრუნებულ B_2A_2 გამოსახულებას, რომელიც მიკროსკოპში შესასწავლი საგნის საბოლოო სახეა. ჩვეულებრივ, გამოსახულება ოკულარიდან 250მმ-ზე პროექტირდება.

მიკროსკოპის გარჩევის უნარი. ობიექტივის ლინზის თვისებას, განაცალკეოს მიკროსტრუქტურის ახლომდებარე დეტალები, **გარჩევის უნარი** ეწოდება. ობიექტივის გარჩევის უნარი d შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$d = \frac{\lambda}{A}, \quad (1)$$

სადაც λ არის სინათლის სხივის ტალღის სიგრძე ანგსტრემებში (თეთრი სინათლისათვის $\lambda = 6000 \text{ \AA}$);

A – ობიექტივის რიცხობრივი აპერტურა.

გამოსაკვლევი ნიმუში ობიექტივში არეკლავს სინათლის კონუსისებრ ნაკადს. კონუსის კუთხე ისეთია, რომ მიკროსკოპის ობიექტივში ყველა სხივი ვერ გაივლის. აქედან გამომდინარეობს ობიექტივის რიცხობრივი აპერტურის ცნება.

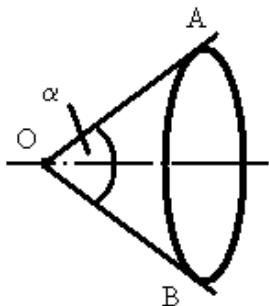
ობიექტივის ლინზის რიცხობრივი აპერტურა განისაზღვრება ფორმულით:

$$A = 2n \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

სადაც n არის ობიექტივისა და ნიმუშს შორის არსებული გარემოს გარდატეხის კოეფიციენტი;

α - ობიექტივის ნახვრეტის, ანუ აპერტურული კუთხე, რომელსაც საკვლევი ნიმუშიდან არეკვლილი OA და OB ზღვრული სხივები ქმნის (სურ. №59).

რაც უფრო მეტია აპერტურული კუთხე და გარემოს გარდატეხის კოეფიციენტი, მით უფრო მეტი იქნება ობიექტივის აპერტურა და, აქედან გამომდინარე, მიკროსკოპის გარჩევის უნარი.



სურ. №59. ობიექტივის ლინზის აპერტურული კუთხე.

ჩვეულებრივ პირობებში მომუშავე მიკროსკოპში ობიექტივსა და გამოსაკვლევ საგანს შორის ჰაერია. ასეთ ობიექტივს მშრალი ობიექტივი ეწოდება.

რადგან ობიექტივის აპერტურული კუთხე პრაქტიკულად 144° -ს შეადგენს,

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0,95 \approx 1. \quad (3)$$

ჰაერის გარდატეხის კოეფიციენტი $n=1$; ამ პირობებისათვის რიცხობრივი აპერტურის უდიდესი მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$2n \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2, \quad (4)$$

ხოლო გარჩევის უნარი

$$d = \frac{\lambda}{A} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ \AA} = 0,3 \text{ მკმ} \quad (5)$$

მიკროსკოპის გარჩევის უნარის გასაზრდელად, დასაკვირვებელ საგანსა და ობიექტივს შორის ხელოვნურად ქმნიან ისეთ გარემოს, რომელსაც ჰაერთან შედარებით დიდი გარდატეხის კოეფიციენტი ექნება. ამ მიზნით კედრის ზეთი გამოიყენება ($n=1,52$). ნივთიერებას, რომელიც ობიექტივსა და გამოსაკვლევ საგანს შორის სივრცეში თავსდება, იმერსია ეწოდება, ხოლო ასეთ გარემოში მომუშავე ობიექტივს – იმერსიული ობიექტივი.

იმერსიული ობიექტივით მუშაობისას მიკროსკოპის გარჩევის უნარი

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{6000}{2 \cdot 1,5 \cdot 1} = 2000 \text{ \AA} = 0,2 \text{ მკმ}. \quad (6)$$

მიკროსკოპის გამადიდებლობა. მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობა ობიექტივისა და ოკულარის გამადიდებლობების ნამრავლის ტოლია:

$$N_m = N_{ob} N_{ok} \quad (7)$$

ობიექტივის გამადიდებლობა

$$N_{ob} = \frac{\ell}{f_{ob}}, \quad (8)$$

სადაც ℓ არის ტუბუსის ოპტიკური სიგრძე, ე.ი. მეზობელ F_1 და F_2 ფოკუსებს შორის მანძილი (სურ. 58);

f_{ob} – ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

$$\text{ოკულარის გამადიდებლობა } N_{ok} = \frac{250}{f_{ok}}, \quad (9)$$

სადაც f_{ok} არის ოკულარის ფოკუსური მანძილი.

თუ ჩავსვამთ N_{ob} და N_{ok} მნიშვნელობებს მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობის გამოსათვლელ ფორმულაში (7), მივიღებთ:

$$N_m = \frac{\ell}{f_{ob}} \cdot \frac{250}{f_{ok}}. \quad (10)$$

მიკროსკოპის მაქსიმალური სასარგებლო გამადიდებლობა, რომლის საშუალებითაც შესასწავლი ნიმუშის დეტალები მუდგანდება, განისაზღვრება ტოლობით:

$$M = \frac{d_1}{d_2}, \quad (11)$$

სადაც d_1 არის ადამიანის თვალის მაქსიმალური გარჩევის უნარი, რომელიც 0,3 მმ-ის ტოლია;

d_2 – ოპტიკური სისტემის მაქსიმალური გარჩევის უნარი.

მშრალი ობიექტივით მუშაობისას მაქსიმალური სასარგებლო გამადიდებლობა,

$$M = \frac{300}{0,3} = 1000, \quad (12)$$

ხოლო იმერსიული ობიექტივით მუშაობისას

$$M = \frac{300}{0,2} = 1500. \quad (13)$$

სიმკვეთრის სიღრმე. სიმკვეთრის სიღრმე არის ობიექტივის თვისება, მკაფიოდ ასახოს გამოსაკვლავი ობიექტის სხვადასხვა სიბრტყეში განთავსებული დეტალები. ეს სიდიდე $\frac{1}{A^2}$ გამოსახულების პროპორციულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ უხეში ზედაპირის მქონე ნიმუშის მიკროსკოპზე შესწავლისას, მიზანშეწონილია მცირე რიცხოვრივი აპერტურის მქონე ობიექტივის გამოყენება.

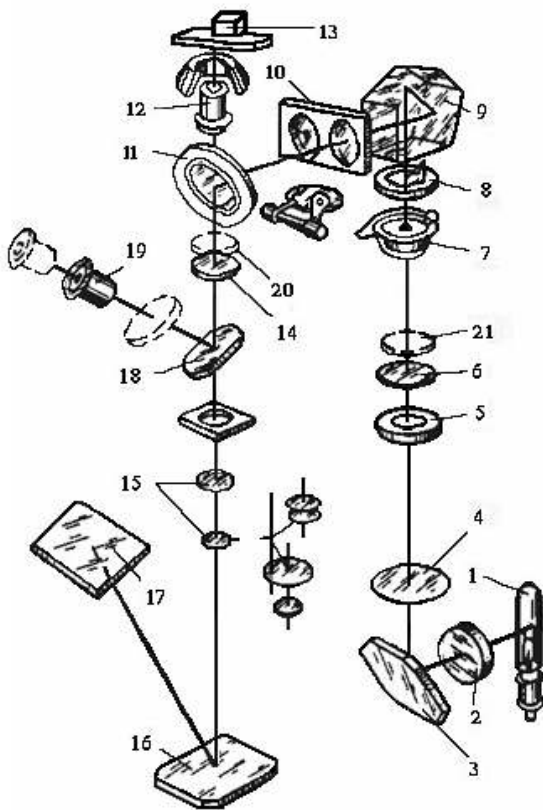
МММ –7 ვერტიკალური მეტალოგრაფიული მიკროსკოპი

МММ–7 ტიპის მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპზე შესაძლებელია ნიმუშის გამოკვლევა ჩატარდეს როგორც ნათელ, ისე ჩაბნელებულ არეში, ვერტიკალური ან ირიბი განათებით, აგრეთვე, პოლარიზებული სინათლის სხივის გამოყენებით. მიკროსკოპის გამადიდებლობა იცვლება 60-დან 1440-მდე.

მეტალოგრაფიული მიკროსკოპი შედგება ოპტიკური, გამანათებელი და მექანიკური სისტემებისაგან. მიკროგამოსახულების ფიქსირებისათვის კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია ფოტომოწყობილობა.

ობტიკური სისტემა. МИМ-7 ტიპის მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის ობტიკური სისტემა შედგება ობიექტივის, ოკულარისა და მრავალი დამხმარე ობტიკური ელემენტისაგან (სურ. №60).

მძლავრი (1) ნათურიდან სინათლის სხივი (2) კოლექტორის გავლით (3) სარკეს ეცემა, საიდანაც აირეკლება და (4) შუქფილტრის (მკვეთრი კონტრასტულობის მისაღებად, ჩვეულებრივ, ყვითელი ფერის შუქფილტრი გამოიყენება), (5) აპერტურული დიაფრაგმის, (6) ლინზის, (7) ფოტოჩამკეცისა და (8) მხედველობის არის დიაფრაგმის გავლით (9) პენტაპრიზმას ეცემა, სადაც იგი გარდატყდება. გარდატყვილი სხივი გაივლის (10) ლინზას და ხვდება (11) ამრეკლი ფირფიტაზე, საიდანაც დაცემული სინათლის ნაკადის დაახლოებით 1/3 აირეკლება. არეკლილი სხივი (12) ობიექტივის გავლით, გამოსაკვლევ ობიექტს – (13) მიკროსხეს ეცემა. მიკროსხის გაპრიალეებულ ზედაპირზე დაცემული სინათლის სხივი კვლავ აირეკლება, გაივლის (12) ობიექტივში და პარალელური კონის სახით ამრეკლი ფირფიტისა და აქრომატული (14) ლინზისაკენ მიემართება.



სურ. №60. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის ობტიკური სისტემის სქემა

1. ნათურა; 2. კოლექტორი; 3. სარკე; 4. შუქფილტრი;
5. აპერტურული დიაფრაგმა; 6. ლინზა; 7. ფოტოჩამკეცი;
8. მხედველობის არის დიაფრაგმა; 9. პენტაპრიზმა;
10. ლინზა; 11. ამრეკლი ფირფიტა; 12. ობიექტივი;
13. გამოსაკვლევ ობიექტი; 14. აქრომატული ლინზა;
15. ფოტოოკულარი; 16. სარკე; 17. ფოტოკამერის შერქალი მინა;
18. სარკე; 19. ოკულარი; 20. ანალიზატორი;
21. პოლარიზატორი

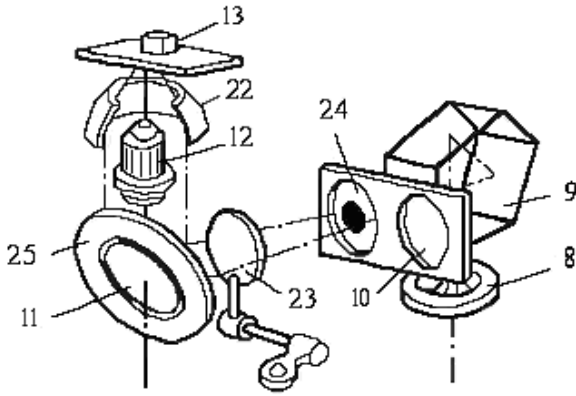
ვიზუალური დაკვირვებისას ობტიკურ სისტემაში ჩართულია (18) სარკე, რომელიც სხივს (19) ოკულარის მიმართულებით გადახრის. მიკროსტრუქტურის ფოტოგადაღებისათვის (18) სარკე ტუბუსის ზედა კიდურა მდგომარეობამდე ამოწევით

გამოითიშება ოპტიკური სისტემიდან და სხივი (15) ფოტოოკულარის გავლით (16) სარკისკენ მიემართება, აირეკლება და გამოსახულებას ფოტოკამერის (17) მქრქალ მინაზე იძლევა.

პოლარიზებული სხივით დაკვირვებისათვის ოპტიკურ სისტემაში, სინათლის წყაროს მახლობლად, თავსდება ჩასადგმელი (21) პოლარიზატორი, ხოლო (20) პოლარიზატორი-ანალიზატორი, რომელიც მიკროსხივიდან არეკვლილი პოლარიზებული სხივის კონცენტრაციას ახდენს, ოკულარის წინ ან ობიექტივსა და ოკულარს შორის მაგრდება.

პოლარიზებული სინათლის სხივით შეისწავლება შენადნობები, რომელთა ფაზები არაკუბური სისტემის კრისტალური გისოსისგან არის შედგენილი. თუ გამოსაკვლევი ობიექტი ოპტიკურად იზოტროპულია, პოლარიზატორისა და ანალიზატორის შესაბამისი ურთიერთმდებარეობით შეიძლება სინათლე სრულად შთაინთქას, წინააღმდეგ შემთხვევაში სინათლე სრულად არ შთაინთქმება და ზოგიერთი მარცვალი განათებული, ზოგი კი მუქად გამოჩნდება. თუ ჩანართები გამჭვირვალეა, ნიმუშიდან არეკვლილი სინათლის ნაწილი გარდატყდება მის გარე და შიგა ზედაპირებზე, ამიტომ, ასეთი ხასიათის ჩანართები მიკროსკოპში ნათელი ლაქის სახით მოჩანს ან სხვადასხვაფრად იღებება. მაგალითად, სპილენძის შენადნობებში სპილენძის ქვეყანვის ჩანართები წითლად მოჩანს. ჩანართის გამჭვირვალობის, ფერისა და ანიზოტროპიულობის ანალიზის საფუძველზე, შეიძლება გამოსაკვლევი ნიმუშის ბუნებაზე მსჯელობა.

მიკროსტრუქტურის წვრილი, რელიეფური აგებულების მკვეთრი გამომჟღავნებისათვის (მაგალითად, არალითონური ჩანართების შესწავლის დროს) მიზანშეწონილია კვლევა ყოველმხრივი ირიბი განათებით, ანუ მუქ არეში დაკვირვებით ჩატარდეს. ამ შემთხვევაში მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემის სქემა იმით განსხვავდება ნათელ არეში კვლევის ოპტიკური სქემისაგან, რომ 10 ლინზის ნაცვლად გამანათებელ სისტემაში (24) ლინზაა ჩართული (სურ. №61), რომლის ერთ-ერთი ზედაპირის ცენტრალური ნაწილი დისკოს ფორმის გაუმჭვირი ლაქით არის დაფარული. იგი აკავებს სინათლის ნაკადის ცენტრალურ ნაწილს და მხოლოდ განაპირა სხივებს ატარებს, რომელიც (25) სარკეს წრიული რგოლის სახით ეცემა. იმისათვის, რომ სინათლის სხივი არ მოხვდეს (11) ამრეკლ ფირფიტაზე, გამოიყენება (23) საფარი. წრიული სარკიდან არეკვლილი სხივი კონცენტრირდება (22) პარაბოლური სარკის შიგა ზედაპირზე, რომელიც ობიექტივზეა დამაგრებული და მასთან ერთად ერთი მთლიანი კონსტრუქციაა. ასეთ ობიექტივს ეპიობიექტივი ეწოდება. პარაბოლური სარკიდან სხივი მიკროსხივს ეცემა. ამრიგად, მუქ არეში დაკვირვებისას ობი-



სურ. №61. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის
 ოპტიკური სისტემის სქემა მუქარიანი განათებისას
 22. პარაბოლური სარკე; 23. საფარი; 24. ლინზა;
 25. წრიული სარკე.

ექტივი გამანათებელი სისტემიდან გამოთიშულია. მუქ არეში დაკვირვებისას ობიექტივში ხვდება ნიმუშის ამოშვერილი ზედაპირებიდან არეკვლილი დიფუზური სხივები, ხოლო დანარჩენი ფაზები მიკროსკოპში მუქად გამოჩნდება.

მიკროსხეხის ირიბი განათებით გამოკვლევისთვის საჭიროა (5) აპერტურული დიაფრაგმა (სურ. №60) ან (1) სინათლის წყარო ოპტიკური ღერძის მიმართ გადაადგილდეს. მიკროსკოპში მიკროსხეხის გამოშვერილი ადგილები უფრო ნათლად მუღავნდება და ჩრდილავს შესასწავლი მიკროუბნის დანარჩენ ზედაპირს. აქედან გამომდინარე, კვლევის ამ მეთოდის ძირითადი უპირატესობა გამოსახულების კონტრასტის მკვეთრად გაზრდაა.

როგორც მუქ არეში დაკვირვებისას, ისე ირიბი განათების შემთხვევაში კარგად მუღავნდება მეტალოგრაფიული მიკროსხეხის წუნი – ნაკაწრები, წერტილოვანი დეფექტები, რელიეფი, რომლებიც მიკროსხეხის მომზადებისას მიიღება. ამიტომ, კვლევის ეს მეთოდები, ხშირად, მიკროსხეხის მომზადების ხარისხის შესამოწმებლად გამოიყენება.

გამანათებელი სისტემა. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის გამანათებელმა სისტემამ უნდა უზრუნველყოს გამოსაკვლევი ობიექტის მთლიანი ფართობის საკმაოდ ინტენსიური და თანაბარი განათება. ამისათვის გამანათებელ სისტემაში გათვალისწინებულია სინათლის წყარო (K 30 ტიპის მძლავრი ნათურა, რომელიც მუშაობს 17 ვ ძაბვასა და 170 ვტ სიმძლავრეზე), რომელიც დენს Tr-17 დამადაბლებელი ტრანსფორმატორიდან ღებულობს.

კვლევის ობტიმალური პირობების შესაქმნელად ოპტიკურ სისტემაში გათვალისწინებულია ლინზების მთელი სერია, შუქფილტრები და დიაფრაგმა. დიაფრაგმა ზღუდავს სინათლის სხივის კვეთს, ხოლო შუქფილტრების (ფერადი, მქრქალი, კვამლა) საშუალებით შეირჩევა საჭირო ტალღის სიგრძე, ანუ გარკვეული ფერის სხივი, რაც განათების ისეთ პირობებს უზრუნველყოფს, რომელიც მკვლევრის თვა-

ლის გადაღლას არ გამოიწვევს. გარდა ამისა, შუქფილტრის სწორად შერჩევა საშუალებას იძლევა შეიქმნას სისტემის ოპტიკური ელემენტების მუშაობის საუკეთესო პირობები და მიღებულ იქნეს კარგი ხარისხის გამოსახულება.

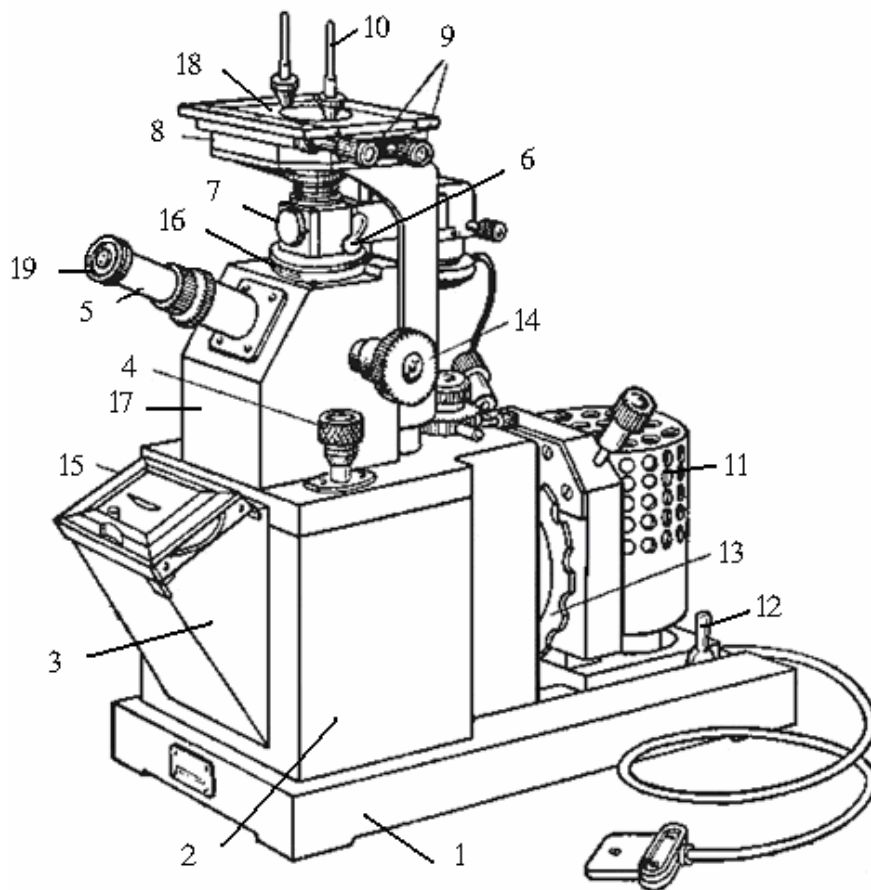
ფერადი შუქფილტრების გამოყენებით შესაძლებელია გამოსახულების კონტრასტი ფართო საზღვრებში შეიცვალოს. შუქფილტრის სწორად შერჩევას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სხვადასხვა შეფერილობის ფაზების შესწავლისას. მაგალითად, თუ გამოსაკვლევი სტრუქტურა ყვითელი და თეთრი ფერის მარცვლებისგან შედგება, მაქსიმალური კონტრასტულობის მისაღებად რეკომენდებულია ლურჯი შუქფილტრის გამოყენება, რომელიც საგრძნობლად შეასუსტებს ყვითელი ფერის სტრუქტურული შემდგენის სიკაშკაშეს.

მექანიკური სისტემა. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის მექანიკურ სისტემაში გაერთიანებულია შტატივი, ტუბუსი და საგნის მაგიდა.

მიკროსხეხი თავსდება (8) საგნის მაგიდაზე (სურ. №62) გამოსაკვლევი ზედაპირით ქვემოთ, ობიექტივის ოპტიკური ღერძის პერპენდიკულარულად. მაგიდას აქვს ფანჯარა, რომელშიც სხვადასხვა დიამეტრის ცენტრალური ხვრელის მქონე საცვლელი (18) ქვესადები იდგმება. სინათლის სხივი მიკროსხეხს ქვესადების ხვრელის გავლით ეცემა. ჰორიზონტალური სიბრტყის ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით საგნის მაგიდის გადაადგილება სათანადო (9) ხრახნების საშუალებით ხორციელდება, რაც უზრუნველყოფს მიკროსხეხის სხვადასხვა უბნის გამოკვლევას შერჩეული ფოკუსური მანძილის შეუცვლელად.

მკაფიო გამოსახულების მისაღებად საჭიროა, ნიმუშის გამოსაკვლევი ზედაპირი ფოკუსში დადგეს. ამ მიზნით მიკროსკოპის კორპუსში (14) მაკრომეტრული ხრახნია გათვალისწინებული, რომლის შემობრუნებით საგნის მაგიდა ვერტიკალურ სიბრტყეში გადაადგილდება. ეს უზრუნველყოფს ობიექტივთან ნიმუშის მიახლოებას ან დაშორებას და ამით მის დაახლოებით დაფოკუსებას. სასურველ მდგომარეობაში მაგიდის ფიქსირება სპეციალური მომჭერით ხორციელდება. ზუსტად დაფოკუსება მიკრომეტრული ხრახნის (4) საშუალებით ხდება, რომლის ერთი შემობრუნებით ობიექტივი ვერტიკალურ სიბრტყეში მილიმეტრის მეათედით (უმრავლეს შემთხვევაში 2 მიკრონით) გადაადგილდება. რაც უფრო მეტია ობიექტივის გამაღიდელობა, მით უფრო მცირე უნდა იყოს მანძილი ობიექტივსა და მიკროსხეხს შორის.

(19) ოკულარი ვიზუალური (5) ტუბუსის სიდრუეში თავსდება, ხოლო ობიექტივი – ილუმინატორის (7) ტუბუსში.



სურ. №62. МИМ-7 მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საერთო ხედი:
 1. სადგარი; 2. ფოკამერის კორპუსი; 3. ფოტოკამერა; 4. მიკრომეტრული ხრახნი; 5. ვიზუალური ტუბუსი; 6. საფარი; 7. ილუმინატორის ტუბუსი; 8. საგნის მაგიდა; 9. პორიზონტალურ სიბრტყეში სამასალო მაგიდის გადასადგილებელი ხრახხები; 10. საკვლევი ობიექტის საძაგრი; 11. გამანათებლის ფარანი; 12. გამანათებელი სისტემის ფიქსატორი; 13. შუქფილტრების დისკო; 14. მიკრომეტრული ხრახნი; 15. მქრქალმინიანი ჩარჩო; 16. დაცენტრების მექანიზმი; 17. მიკროსკოპის კორპუსი; 18. საცვლელი ქვესადები; 19. ოკულარი.

გამადიდებლობის შერჩევა. ნიმუშის მიკროსტრუქტურული კვლევისათვის წინასწარ ირჩევენ გამადიდებლობას, რასაც ობიექტივისა და ოკულარის წყვილი განსაზღვრავს. ამ მიზნით პრაქტიკულად №2 ცხრილის მონაცემებით სარგებლობენ.

მკაფიო გამოსახულების მისაღებად ობიექტივი და ოკულარი ისეთნაირად უნდა შეირჩეს, რომ მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობა ოპტიკური სისტემის სასარგებლო გამადიდებლობას არ აღემატებოდეს. ამის მისაღწევად საჭიროა მიკროსკოპის გამადიდებლობა იყოს 500A-დან 1000A-მდე ინტერვალში, სადაც A არის ობიექტივის აპერტურა. გამადიდებლობა $N=500A$ გვიჩვენებს ქვედა ზღვარს, ხოლო $N=1000 A$ – ზედას. თუ მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობა ქვედა ზღვარზე ნაკლებია, სრულად არ იქნება გამოყენებული მიკროსკოპის გარჩევის უნარი, ხოლო

МММ-7 მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის გამადიდებლობის ცხრილი

ობიექტივი	მქრქალ მინაზე			ვიზუალური დაკვირვებისას			
	ოკულარი						
	7 ^X	10 ^X	15 ^X	7 ^X	10 ^X	15 ^X	20 ^X
8,6 ^X (F=23,2; A=0,17)	70	120	160	60	90	130	170
14,4 ^X (F=13,89; A=0,3)	115	200	270	100	140	200	300
24,5 ^X (F=8,16; A=0,37)	200	340	450	170	240	360	500
32,5 ^X (F=6,16; A=0,65)	260	440	600	250	320	500	650
იმერსიული							
72,2 ^X (F=2,77; A=1,25)	575	1000	1350	500	720	1080	1440
გამოიყენება მხოლოდ ნათელ არეში მუშაობისას							
71,7 ^X (F=2,79; A=1,00)	575	1000	1350	500	720	1080	1440

თუ ეს მნიშვნელობა ზედა ზღვარს აღემატება, უარესდება გამოსახულების ხარისხი. მაგალითად, თუ კვლევისათვის შერჩეული ობიექტივის აპერტურა A=0,37, კარგი ხარისხის გამოსახულების მისაღებად მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობა N უნდა მოთავსდეს ინტერვალში 0,37x500÷0,37x1000, ანუ 185-სა და 370-ს შორის. რადგან 0,37 აპერტურის მქონე ობიექტივის გამადიდებლობა 24,5-ის ტოლია, ამიტომ, ამ პირობას დააკმაყოფილებს ოკულარი, რომლის გამადიდებლობა არის:

$$185:24,5 \div 370:24,5 \text{ ანუ } 7,5^X \div 15^X.$$

სტანდარტული ოკულარების გამადიდებლობაა 7^X, 10^X, 15^X და 20^X. ამიტომ, მოცემულ შემთხვევაში უნდა შეირჩეს ოკულარი, რომლის გამადიდებლობაა 10^X ან 15^X.

მიკროსტრუქტურული კვლევა, ჩვეულებრივ, მცირე გადიდებით იწყება, რადგან ამ შემთხვევაში მხედველობის არეში შესასწავლი ზედაპირის შედარებით დიდი ფართობი ხვდება.

მიკროსტრუქტურის ფიქსირება. მიკროსკოპული კვლევის უდიდესი ნაწილი ვიზუალური დაკვირვებით ხდება და არ საჭიროებს ყველა გამოკვლეული სტრუქტურის ფიქსირებას. კვლევის ხასიათიდან და მიზნებიდან გამომდინარე, უმეტეს შემთხვევაში საკმარისია ნიმუშის ყველაზე საინტერესო და დამახასიათებელი ერთი ან რამდენიმე მიკროუბნის დაფიქსირება. გარდა დასაბუთებისა ან საილუსტრაცი-

ციო მასალად გამოყენებისა, იგი მკვლევარს დიდ დახმარებას გაუწევს მიკროსტრუქტურული კვლევის შედეგად მიღებული ინფორმაციის ანალიზის ჩატარებისას. არც თუ ისე იშვიათად, მიკროფოტოგრაფიით სტრუქტურის ისეთი ახალი თავისებურებანი მუდამ აღმოჩნდება, რომლებიც შეუმჩნეველი იყო ვიზუალური დაკვირვების დროს. ამიტომ, აუცილებელი და მეტად საჭირო ხდება მკვლევარს წინ ედოს ყველა ნიმუშის მიკროსტრუქტურის დამახასიათებელი მიკროუბნების ასლი, რომლებიც გამოკვლეული და შესწავლილი იყო სხვადასხვა დროს ან, შესაძლებელია, სხვადასხვა ადგილას.

მიკროსტრუქტურის ფიქსირების ორი ძირითადი ხერხი არსებობს: ჩახატვისა და მიკროფოტოგრაფირების.

პირველი ხერხის უპირატესობა ისაა, რომ ადამიანის თვალის აკომოდაციის უნარისა და მიკროსკოპის ფოკუსის განუწყვეტელი შეცვლის შედეგად, შეიძლება გამოვიკვლიოთ და ჩავიხატოთ რელიეფური სტრუქტურის თითქმის ყველა დეტალი. ამ შემთხვევაში მიკროფოტოგრაფირებისათვის აუცილებელი იქნებოდა გადაღებების სერიის ჩატარება მიკროსკოპის ზუსტი დაფოკუსებით, ობიექტის რელიეფის გარკვეულ დონეებზე. გარდა ამისა, ადამიანის თვალი საკმაოდ მგრძობიარე ოპტიკური ხელსაწყოა და იგი ვიზუალური დაკვირვებისას სტრუქტურის ისეთ თავისებურებებს შეამჩნევს, რომლის გადაღებაც მეტად ძნელი იქნება, სტანდარტული მიკროფოტოგრაფიული მეთოდების გამოყენებით. მისი ქალაქზე ჩახატვა სქემის სახით შედარებით უფრო იოლია. გარდა ამისა, ჩახატვით შეიძლება სტრუქტურის არსებითი დეტალების ფიქსირება მეორეხარისისოვანი, შემთხვევითი დეტალების უგულვებელყოფით, რომლებიც შეიძლება ნიღბავდეს კიდევ სტრუქტურის უმთავრეს და დამახასიათებელ ელემენტებს. ჩახატვის ხარისხი განისაზღვრება მკვლევრის სიფაქიზით და მისი უნარით გამოსაკვლევი ობიექტის სტრუქტურაში დაინახოს მთავარი და არსებითი.

მიკროფოტოგრაფირება, ჩახატვის მეთოდთან შედარებით, ობიექტურობით ხასიათდება და გამოსახულების ასლის ადგილად გამრავლების საშუალებას იძლევა, რაც ხშირად პრაქტიკული მუშაობისათვის არის აუცილებელი.

მიკროსტრუქტურის გადასაღებად უნდა შეირჩეს გამოსაკვლევი ზედაპირის ყველაზე საინტერესო და სახასიათო უბანი, რის შემდეგ მიკროსხებიდან არეკლილი სხივი, წინასწარ დაყენებული საპროექციო ოკულარის (ფოტოოკულარის) გავლით, მიკროსკოპის ფოტოკამერის მქრქალ მინაზე გადააქვთ. ამ მიზნით ვიზუალურ ტუბუსს (5, სურ. №62) ზედა კიდურა მდგომარეობამდე ამოსწევინ. ცხადია, ამ შემთხვევაში ვიზუალური დაკვირვებისათვის გათვალისწინებული ოკულარი სისტემიდან

გამოთიშულია და მიკროსკოპის გამადიდებლობას ობიექტივთან ერთად ფოტო-ოკულარი (15, სურ. №60) განსაზღვრავს. მიკროსტრუქტურის დაფოკუსების შემდეგ მქრქალი მინა სპეციალურ კასეტაში მოთავსებული ფოტოფირით იცვლება.

ფოტოფირის დაშუქების ხანგრძლივობას, ანუ ექსპოზიციას, სტრუქტურის განათების ხარისხი, სხივის ინტენსიურობა, ობიექტივის გამადიდებლობა და ფოტოფირის მგრძნობიარობა განსაზღვრავს. ექსპოზიციის შერჩევა, ჩვეულებრივ, ექსპერიმენტული გზით ხდება.

მიკროსტრუქტურის გადაღებისათვის გამოიყენება ფერადი შუქისადმი მგრძნობიარე 9x12 სმ ზომის ორთოქრომატული ფირი. ფირის დამუშავება (ნეგატივის დამზადება) და პოზიტივის დაბეჭდვა ფოტოგრაფიაში გამოყენებული ჩვეულებრივი ხერხებითა და რეაქტივებით ხდება.

სპეციალური გადამყვანის გამოყენების შემთხვევაში, მიკროსტრუქტურის ფიქსირება შესაძლებელია ციფრული ფოტოაპარატითაც და კომპიუტერული უზრუნველყოფით.

ნიმუშის მომზადება მიკროსკოპული კვლევისათვის

მიკროსკოპში გაუმჭვირი მასალების შესწავლისათვის აუცილებელია, რომ ნიმუშის ზედაპირი საკმაოდ ინტენსიურად ირეკლავდეს სინათლის სხივს. ამიტომ კვლევის ჩასატარებლად ნიმუშს სპეციალურად ამუშავებენ სარკისებრი ზედაპირის მისაღებად.

ნიმუშის ამოჭრა და მონტაჟი. მიკროსკოპული ანალიზის ჩასატარებლად განკუთვნილი ნიმუში უნდა ამოიჭრას გამოსაკვლევი მასალის იმ ადგილიდან, რომელიც კვლევისთვის ყველაზე საინტერესო უბანს წარმოადგენს ან ტექნიკური პირობებით არის გათვალისწინებული. მასალის უფრო სრულყოფილი დახასიათებისთვის მიზანშეწონილია ნიმუშის რამდენიმე ადგილიდან ამოჭრა. ერთი და იმავე კვლევის ობიექტიდან ამოჭრილი ნიმუშების რაოდენობა მინიმალური უნდა იყოს, მაგრამ, მან დასმულ კითხვაზე ზუსტი, ამომწურავი და საიმედო პასუხი უნდა გასცეს.

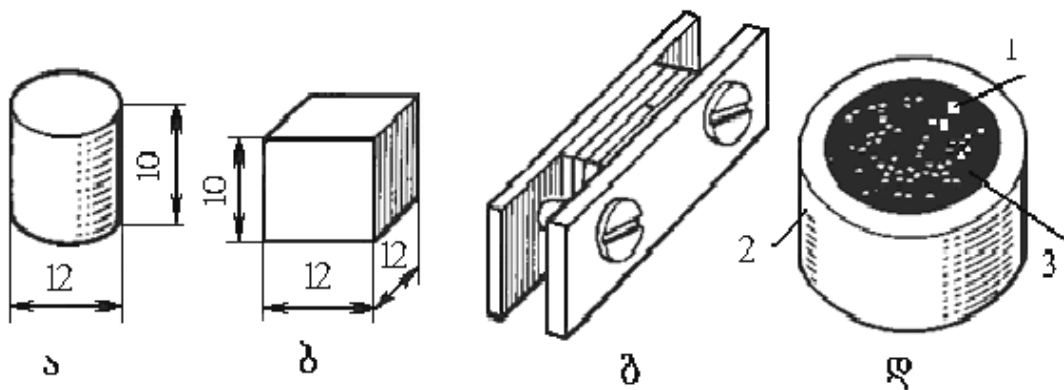
გამოსაკვლევი უბნის გარდა დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ნიმუშზე იმ ზედაპირის შერჩევას, რომელზედაც მიკროსხეხი უნდა მომზადდეს. მაგალითად, თუ გამოსაკვლევი ობიექტი ნაგლინია, მაშინ მიკროსხეხი იმ ზედაპირზე უნდა მომზადდეს, რომელიც კარგად დაახასიათებს გლინვის დროს ლითონის დინების მიმართულებას.

რბილი მასალიდან, მაგალითად, მომწვარი ფოლადიდან ნიმუშის ამოჭრა შეიძლება მოხდეს ლითონსაჭრელ ჩარხზე, მექანიკური ან ხელის პატარა ხერხით,

ხოლო სალი მასალებიდან, მაგალითად, ნაწრობი ფოლადიდან – თხელი აბრაზიული ქარგოლის გამოყენებით. ამასთანავე, მხედველობაშია მისაღები, რომ ამოჭრისა და შემდგომი მექანიკური დამუშავების დროს ნიმუში არ უნდა გახურდეს 100°C -ზე მეტად, რადგან ამან შეიძლება სტრუქტურისა და, აქედან გამომდინარე, ლითონის თვისებების შეცვლა გამოიწვიოს.

მიკროსკოპული ანალიზისათვის ნიმუშის ყველაზე ხელსაყრელი ცილინდრული ($d=10\div 15\text{მმ}$, $h=(0,7\div 0,8)\times d=7\div 12\text{მმ}$) ან კუბური ($a=10\div 15\text{მმ}$) ფორმაა (სურ. №63, ა, ბ).

თუ მასალის კვეთი იმდენად მცირეა, რომ მისგან აღნიშნული ზომის ნიმუშის დამზადება შეუძლებელია (მაგალითად, მავთული, ფურცელი, წვრილი მჭრელი იარაღი და სხვა), მაშინ მიკროხეხის დამუშავების გასაადვილებლად გამოსაკვლევი ლითონის ნაჭერი სხვადასხვა სახის სამარჯვში მაგრდება (სურ. 63, გ, დ). ნიმუშის ჩამაგრება შემდეგნაირად ხდება: ცილინდრული ნიმუშის ზომის მილაკში, რომელიც ლითონის ან კერამიკულ ფილაზეა მოთავსებული, ნიმუში ისე ჩაიდგმება, რომ გამოსაკვლევი ზედაპირით ფილას შეეხოს. ასეთნაირად მომზადებული მილაკი გამდნარი გოგირდით (დნობის ტემპერატურა $110-112^{\circ}\text{C}$), ეპოქსიდით ან რომელიმე ადვილდნობადი შენადნობით ($50\%\text{Bi}, 26,5\%\text{Pb}, 10\%\text{Cd}, 13,5\%\text{Sn}$. დნობის ტემპერატურა 70°C) შეივსება. წვრილი ნიმუშის ჩამაგრება პლასტმასაში (ბაკელიტი, პოლისტიროლი) ჩაწნეხითაც არის შესაძლებელი.

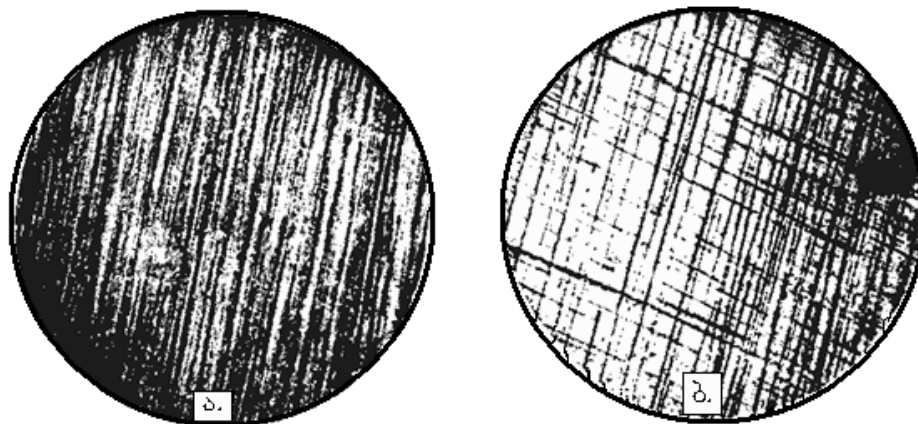


სურ. №63. მეტალოგრაფიული ნიმუშის ნორმალური ზომები (ა, ბ) და სამარჯვები მიკროხეხის ჩასამაგრებლად (გ, დ)
1. ნიმუში, 2. მილაკი, 3. ადვილდნობადი შენადნობი.

ნიმუშის ხეხვა. მიკროხეხის დამზადება ნიმუშის გამოსაკვლევი ზედაპირის გასწორებით იწყება, რაც ქლიბით (თუ მასალა რბილია) ან ხეხვით ხდება. მიღებული ბრტყელი ზედაპირი შემდგომ სხვადასხვა მარცვლოვნების მქონე (სხვადასხვა ნომრის) ზუმფარის ქაღალდზე მუშავდება. აბრაზიულ მასალად გამოიყენება

სილიციუმის კარბიდი (SiC), ალუმინის ქანგი (Al_2O_3), ალუმინის ქანგისა და რკინის ქანგის ნარევი ($Al_2O_3+Fe_3O_4$), ბორის კარბიდი (B_4C), აგრეთვე ალმასის ფხვნილი და პასტა.

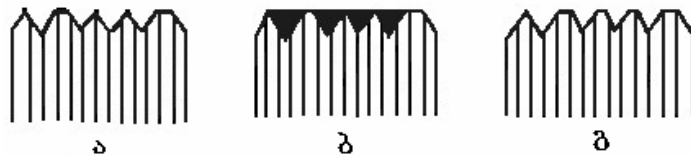
ხელით ხეხვის დროს ზუმფარის ქაღალდს სქელ მინაზე ან ლითონის ფილაზე ათავსებენ. ნიმუშს დამუშავებული ზედაპირით ზომიერად დააჭერენ ქაღალდს და მოსამზადებელ ზედაპირზე არსებული ნაკაწრების მართობი მიმართულებით ამოძრავებენ. ხეხვას იწყებენ შედარებით მსხვილმარცვლოვანი ზუმფარის ქაღალდზე და თანდათანობით გადადიან უფრო წვრილმარცვლოვანზე. ყოველი ახალი ნომრის ქაღალდზე გადასვლის წინ აუცილებელია ნიმუშის გულმოდგინედ გარეცხვა წყლის ჭავლით ან სველი ბამბით გაწმენდა, რათა გამოირიცხოს წვრილმარცვლოვან ქაღალდზე მსხვილი აბრაზიული მარცვლის მოხვედრის შესაძლებლობა. ამასთანავე, ხეხვის მიმართულება 90° -ით იცვლება, რაც აადვილებს მოცემული ნომრის ზუმფარის ქაღალდზე ხეხვის დამთავრების მომენტის განსაზღვრას – მოცემული მარცვლოვნების ქაღალდზე მანამ ხეხავენ, სანამ სრულად არ მოისპობა წინა ოპერაციის შედეგად მიღებული ნაკაწრები. №64 სურათზე ნაჩვენებია სრულად (ა) და არასრულყოფილად (ბ) დამუშავებული მიკროხეხის ზედაპირები. რაც უფრო ნაკლებია ორ თანამიმდევრულად გამოყენებული ზუმფარის ქაღალდების მარცვლოვნებათა შორის სხვაობა, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს ხეხვის პროცესი. ლითონებისა და შენადნობების უმრავლესობისათვის ხეხვა ზუმფარის ქაღალდზე სრულიად დამაკმაყოფილებელ შედეგს იძლევა.



სურ. №64. მიკროხეხის მომზადების სხვადასხვა ხარისხი
ა. ზედაპირი მზადაა შედარებით წვრილ აბრაზივზე დამუშავებისათვის;
ბ. საჭიროა მოცემული მარცვლოვნების აბრაზივზე დამუშავების გაგრძელება

კარგი ხარისხის ზედაპირის მისაღებად ხეხვის პროცესი თავიდანვე სწორად და გულდასმით უნდა ჩატარდეს. დაუშვებელია მსხვილმარცვლოვანი ზუმფარის ქა-

ღალღიდან წვრილმარცვლოვანზე გადასვლა, შუალედური ნომრების გამოტოვებით. ასეთ შემთხვევაში ნიმუშის ზედაპირზე არსებული ღრმა ნაკაწრები სრულად არ იხსნება, მათ შორის სიცარიელე ლითონის მტვერითა და აბრაზით ივსება და ზედაპირი, ერთი შეხედვით, კარგად მომზადებული გვეჩვენებს (ასეთ დამუშავებას ცრუ ხეხვა ეწოდება). ზედაპირის შემდგომი დამუშავებისას (გაპრიალება, რექტივით დამუშავება) ადვილად ხსნადი ლითონის მტვერი ზედაპირს მოსცილდება და ღრმა ნაკაწრები კვლავ მკაფიოდ გამოჩნდება (სურ. №65).



სურ. №65. ცრუ ხეხვის სქემა

მიკროხეხვის ზედაპირი: ა. უხეში ხეხვის შემდეგ;

ბ. წმინდა ხეხვის შემდეგ;

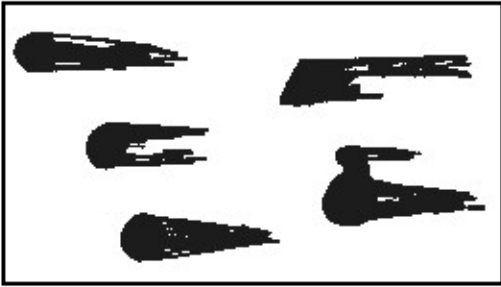
გ. რექტივით დამუშავების შემდეგ

მექანიკური ხეხვა სპეციალურ სახეს ჩარხზე ხდება, რომელსაც 200-250მმ დიამეტრის რამდენიმე საცვლელი დისკო აქვს. დისკოებზე, რომლებიც ბრუნვას ელექტროძრავადან ღებულობს, აკრავენ ან აწებებენ ზუმფარის ქაღალდს. მექანიკური ხეხვა ანალოგიური მეთოდით ხორციელდება.

ნიმუშის გაპრიალება. ნიმუშის ზედაპირზე არსებულ ნაკაწრებს გაპრიალებით ხსნიან, რის შემდეგაც სარკისებრი საკვლევი ზედაპირი მიიღება. მექანიკური გაპრიალებისათვის სხვადასხვა ტიპის სპეციალური მოწყობილობა გამოიყენება, რომლებიც მბრუნავდისკოიანი სახესი ჩარხის ანალოგიურია. ზედაპირის გასაპრიალებლად დისკოზე აკრავენ მაუდს, რომელსაც სპეციალური საპრიალებელი სითხით ასველებენ. სითხე არის წყალში შეტივტივებული ალუმინის, ქრომის ან რკინის ჟანგის ფხვნილის ნარევი. უფრო ხშირად გასაპრიალებლად ქრომის ჟანგი გამოიყენება.

საპრიალებელი სითხე შემდეგი პროპორციით მზადდება: 1 ლ წყალში იყრება 10-15გ ქრომის ჟანგი ან 5გ ალუმინის ჟანგი. შავი ლითონების გასაპრიალებლად, უმრავლეს შემთხვევაში, გამოიყენება პასტა, რომელიც შედგება ქრომის ჟანგის, სტეარინის, ნავთის, ოლეინის მჟავასა და სოდისაგან. გამაცივებელ სითხედ ბენზინი გამოიყენება. კარგი შედეგის მისაღებად საპრიალებელ დისკოზე ნიმუშის ძლიერად მიჭერა არ არის მიზანშეწონილი, რადგან ამან შეიძლება ზედაპირული ფე-

ნების დეფორმაცია და სტრუქტურის შეცვლა გამოიწვიოს. სასურველია ნიმუში ისე დაგიკავოთ, რომ დისკოს ბრუნვის მიმართულება გასაპრიალებელ ზედაპირზე არსებული ნაკაწრების მართობი იყოს. როდესაც ნაკაწრები მოსცილდება, ნიმუში ნელ-ნელა უნდა შემობრუნდეს დისკოს ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რაც გამორიცხავს სტრუქტურის მყიფე შემდგენების ამოგლეჯას და მიკროსხეხის ზედაპირზე ერთ-ერთი გავრცელებული წუნის, ე.წ. „კომეტის კუდის“ წარმოქმნას (სურ. №66).



სურ. №66. მეტალოგრაფიული ხეხის მომზადების წუნი – „კომეტის კუდი“

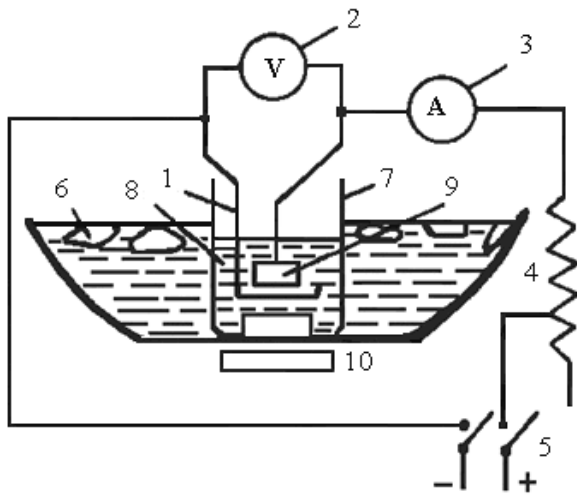
გაპრიალების შემდეგ ნიმუში წყლით ან ბენზინით ირეცხება. საკვლევი ზედაპირი სპირტში დასველებული ბამბით იწმინდება, ფილტრის ქაღალდის ან მშრალი ბამბის საშუალებით შრება და ინახება.

როგორი გულდასმითაც უნდა ჩატარდეს მექანიკური გაპრიალება, იგი მაინც იწვევს ნიმუშის ზედაპირული ფენების დეფორ-

მაციას და სტრუქტურის დამახინჯებას. თუმცა, ეს გარემოება არ გაართულებს კვლევის პროცესს, თუ ნიმუში წინასწარ რეაქტივით მოიწამლება, რადგან ამის შედეგად დამახინჯებული ფენების ნაწილი მოიხსნება. თუკი მიკროსხეხი გამოსაკვლევი უშუალოდ გაპრიალების შემდეგ მოუწამლავ მდგომარეობაში და ამასთანავე, ზედაპირის დამახინჯება საერთოდ გამორიცხული უნდა იყოს; მექანიკური გაპრიალება ელექტროლიტური ან ქიმიური გაპრიალების მეთოდით უნდა შეიცვალოს.

№67 სურათზე მოცემულია ელექტროლიტური გაპრიალების ლაბორატორიული დანადგარის სქემა. ელექტროლიტური გაპრიალებისას აბაზანაში ჩატვირთული ნიმუში ანოდის როლს ასრულებს. ელექტროგაპრიალების უჯრედს მუდმივი დენი მიეწოდება. გარკვეული ელექტრული რეჟიმის დროს ანოდი იწყებს გახსნას, რის შედეგადაც დასამუშავებელ ნიმუშზე სწორი და სარკისებრი ზედაპირი მიიღება. ელექტროლიტური გაპრიალება არ იწვევს ნიმუშის ზედაპირული ფენების დამახინჯებას, რაც საშუალებას იძლევა მეთოდი გამოყენებულ იქნეს მეტად რბილი ლითონების, ერთფაზა შენადნობებისა და ადვილად დეფორმირებადი ლითონებისა და შენადნობების მიკროსხეხის დასამზადებლად. ელექტროლიტი და ელექტრული გაპრიალების რეჟიმი დასამუშავებელი მასალის მიხედვით შეირჩევა (იხ. ცხრ. №3).

ქიმიური გაპრიალებისას მეტალოგრაფიული კვლევისათვის საჭირო სარკისებრი ზედაპირი სათანადო რეაქტივში ნიმუშის მოთავსებით მიიღება. ნორმალურად



სურ. №67. ელექტროლიტური გაპრიალების ლაბორატორიული დანადგარის სქემა.

1. ბრტყელი კათოდი; 2. ვოლტმეტრი;
3. მილიამპერმეტრი; 4. რეოსტატი;
5. ჩამრთველი; 6. გამაცივებელი აბაზანა;
7. მინის ქიმიური ჭურჭელი;
8. ელექტროლიტი; 9. ნიმუში;
10. მაგნიტური ამრევი.

ცხრილი №3.

ზოგიერთი ლითონისა და შენადნობის ელექტროგაპრიალების რეჟიმები

გასაპრიალებელი ლითონი	ელექტროლიტის შედგენილობა	დენის სიმკვრივე, ა/სმ ²	ელექტროლიტის ტემპერატურა, °C
ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადი	აზოტმჟავა (სიმკვრივე 1,48)	8-10	30
	ორთოფოსფორმჟავა 38%, გლიცერინი 53%, წყალი 9%	0,2-2	20-115
სპილენძი, თითბერი	ქრომის ანჰიდრიდი 7,2%, ორქრომმჟავა ნატრიუმი 21,7%, ძმარმჟავა 7%, გოგირდმჟავა 5,8%, წყალი 58,3%	2-4	60-75
ალუმინის შენადნობები	გოგირდმჟავა (სიმკვრივე 1,84) 38%, ფოსფორმჟავა 48%, წყალი 14%	7,5	95
ნიკელის შენადნობები	გოგირდმჟავა (სიმკვრივე 1,84) 60%, წყალი 40%	0,2	30

მიმდინარე ქიმიური გაპრიალების პროცესს შეიძლება თან ახლდეს აირების ინტენსიური გამოყოფა, როგორც მაგალითად, სუფთა რკინის გაპრიალებისას. წერტილოვანი კოროზიისა და აირის ბუშტების წარმოქმნის გამორიცხვის მიზნით, საჭიროა ნარევის განუწყვეტლივ მორევა.

ქიმიური გაპრიალების შედეგად, მართალია, ზედაპირი სარკისებრი მიიღება, მაგრამ, ზოგიერთ შემთხვევაში, იგი მკვეთრად გამოხატული რელიეფით ხასიათდება. ასეთ შემთხვევაში მექანიკური გაპრიალების პროცესის შეთავსება მცირე ხანგრძლივობის ქიმიურ გაპრიალებასთან საკმაოდ დადებით შედეგს იძლევა. ისევე, როგორც ელექტროლიტური გაპრიალება, ეს მეთოდიც ძირითადად სუფთა ლითონებისა და ერთფაზა შენადნობებისათვის გამოიყენება.

მიკროსხეხის გარეცხვა, გაუცხიმოება და შენახვა. მიკროსტრუქტურული კვლევისათვის მომზადებული ნიმუში უნდა გაირეცხოს, გაუცხიმოვდეს და გაშრეს. უმრავლეს შემთხვევაში ნიმუშს წყალში რეცხავენ, შემდეგ წმენდენ ეთილის სპირტში დასველებული ბამბით და აშრობენ ფილტრის ქაღალდით. გასაშრობად უკეთესია გამთბარი მშრალი ჰაერის გამოყენება.

მიკროსხეხის გაუცხიმოებისათვის ეთილის (C_2H_5OH) ან მეთილის (CH_3OH) სპირტი, ეთილ-ეთერი $[(C_2H_5)_2O]$, ბენზოლი (C_6H_6) და აცეტონი $[(CH_3)_2CO]$ გამოიყენება. მომზადებული მიკროსხეხის დაუანგვისაგან დაცვა შეიძლება მისი ექსიკატორში შენახვით, რომელშიც მოთავსებული იქნება ტენის შთამნთქმელი ნივთიერება, მაგალითად, კალციუმის ქლორიდი ან სილიკოგელი. შესაძლებელია, აგრეთვე, გაპრიალებული ზედაპირის დაფარვა გამჭვირვალე ნეიტრალური ზეთის ან ლაქის თხელი აპკით, რომელიც ხელს არ უშლის მიკროსკოპულ კვლევას.

ნიმუში რომ მექანიკურად არ დაზიანდეს (არ დაიკაწროს), სათანადო კოლოფში უნდა ინახებოდეს, რომელშიც ბამბა ან ხავერდის ნაჭერი იქნება ჩაფენილი.

4. მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნების მეთოდები

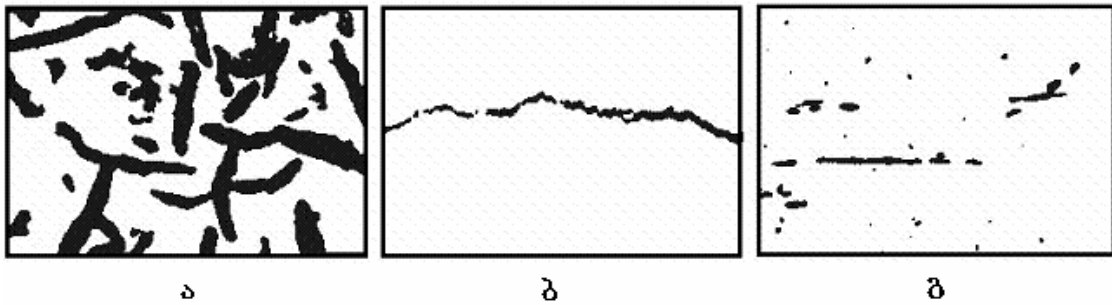
მიკროსხეხის გამოკვლევა მოუწამლავ მდგომარეობაში

ლითონის მიკროსტრუქტურის გამოკვლევა მიზანშეწონილია დაიწყოს მოუწამლავი მდგომარეობიდან, ანუ უშუალოდ გაპრიალების, გარეცხვისა და გაშრობის შემდეგ. მოუწამლავ მდგომარეობაში ნიმუშის გამოკვლევა ლითონში არსებული სხვადასხვა დეფექტისა (ფორების, ბზარებისა და ა.შ.) და არალითონური ჩანართების (მაგალითად, წილისა და გრაფიტის) დადგენის საშუალებას იძლევა. მოუწამლავი მიკროსხეხი მიკროსკოპში ნათელი არის სახით მოჩანს, რომლის ზედაპირზე ხშირად შეიმჩნევა მუქი (რუხი ან შავი, ზოგჯერ შეიძლება ყვითელი) ფერის მცირე ზომის უბნები, რომლებიც არალითონური ჩანართების კვალია. ზოგიერთ შენადნობში ასეთი ჩანართები შეიძლება სტრუქტურულ შემდგენად მოგვეჩვენოს.

მოუწამლავ მიკროხეხს, გადიდების ორ დიაპაზონში (50÷100) იკვლევენ.

მცირე გადიდებისას მკვლევარი ღებულობს საერთო ინფორმაციას ნიმუშის აგებულების შესახებ, დიდი გადიდების შემთხვევაში კი გამოიკვეთება ზედაპირის დეტალური გამოკვლევის მიზანშეწონილობა. არალითონური ჩანართის ფერი, აგებულება, აგრეთვე, გრაფიტის ფორმა თუჯში მკვეთრად განსხვავდება ძირითადი ლითონის აგებულებისგან. მაგალითად, Cu_2O სპილენძში, SnO ბრინჯაოში, TiC ლეგირებულ ფოლადში, Si ალუმინის შენადნობებში. რეაქტივით დამუშავების (მოწამლვის) შემდეგ აღნიშნული ფაზების ფერი იცვლება.

მოუწამლავი ნიმუშის ანალიზის საფუძველზე, ზოგჯერ შეიძლება გარკვეული დანიშნულებით ლითონის ვარგისობაზე მსჯელობა. მაგალითად, ბზარების, ფორების, ერთ ადგილზე თავმოყრილი არალითონური ჩანართების დიდი რაოდენობა, ლითონის არადამაკმაყოფილებელი ხარისხის მაჩვენებელია. №68 სურათზე წარმოდგენილია მოუწამლავი ნიმუშის მიკროსტრუქტურები.



სურ. №68. მოუწამლავი ლითონის მიკროსტრუქტურები. x100
ა. გრაფიტის ჩანართები რუხ თუჯში, ბ. მიკრობზარი, რომელიც ფოლადში თერმული ძაბვის შედეგად წარმოიქმნა, გ. არალითონური ჩანართები.

მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნება ფაზების შერჩევითი გახსნის მეთოდით (ქიმიური მოწამლა)

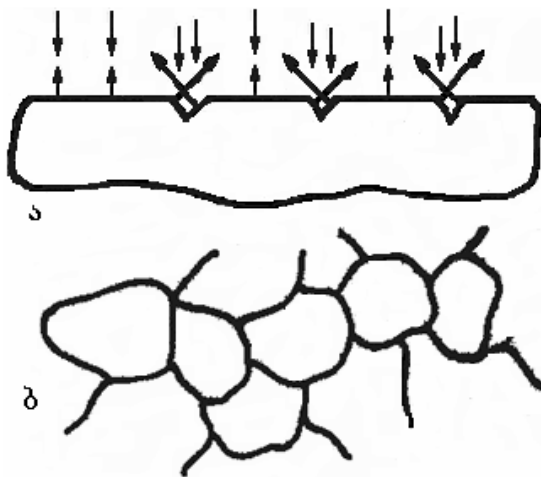
მიკროსტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად მიკროხეხის გაპრიალებულ ზედაპირს მუავა, ტუტის ან მარილის ხსნარით ამუშავებენ. რეაქტივით დამუშავების, ანუ მოწამვლის პროცესის არსი ისაა, რომ ცალკეული სტრუქტურული შემდგენები (სუფთა ლითონის, მყარი ხსნარის ან ქიმიური ნაერთის მარცვლები) რეაქტივით სხვადასხვა სიჩქარით იხსნება ან სხვადასხვაფერად იღებება.

რეაქტივი, რომლითაც დაფარულია მიკროხეხის ზედაპირი, ელექტროლიტია. შენადნობის სტრუქტურული შემდგენი, რომელსაც შედარებით ელექტროუარყოფითი ელექტროდული პოტენციალი აქვს, ანოდი და იხსნება, ხოლო დანარჩენი

სტრუქტურული შემდგენები, შედარებით დადებითი ელექტროდული პოტენციალით, კათოდის როლშია და თითქმის უცვლელი რჩება. რადგან ანოდისა და კათოდის ასეთი უბანი ბევრია, მოწამვლის შედეგად მიკროსხეხის ზედაპირზე მრავალი ღრმული და ამოშვერილი უბანი მიიღება. ზოგად შემთხვევაში, რაც უფრო მეტია მრავალფაზიან შენადნობში ფაზების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს შორის განსხვავება (ხსნადობა, საწყისი ელექტროქიმიური პოტენციალი, დროის მიხედვით მისი ცვლილება და ა.შ), მით უფრო ადვილად მუდგენდება მიკროსტრუქტურა. სუფთა ლითონსა და ერთფაზა შენადნობში ელექტროქიმიურ წყვილად უნდა მივიჩნიოთ მარცვლის საზღვარი და იმავე მარცვლის ზედაპირი. მარცვლის საზღვარს შედარებით უარყოფითი ელექტროდული პოტენციალი აქვს, ამიტომ, ეს უბნები უფრო სწრაფად იხსნება.

მოწამვლი მიკროსხეხის ზედაპირიდან სინათლის სხივი სხვადასხვაგვარად აირეკლება: სუსტად ამოჭმული სტრუქტურული შემდგენებიდან მეტი სინათლის სხივი მოხვდება მხედველობის არეში და ნათელი არის სახით გამოჩნდება; ძლიერად ამოჭმული სტრუქტურული შემდგენებიდან კი სინათლის სხივის ნაწილი გაიბნევა და მუქად გამოჩნდება. მაშასადამე, მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნება დამყარებულია გამოსაკვლევი ნიმუშის ზედაპირის მდგომარეობასა და ამ ზედაპირიდან არეკვლილი სხივების რაოდენობაზე.

№69 სურათზე წარმოდგენილი სქემით ადვილად შეიძლება აიხსნას სუფთა ლითონის მარცვლის საზღვრების ხილვადობა მიკროსკოპში.



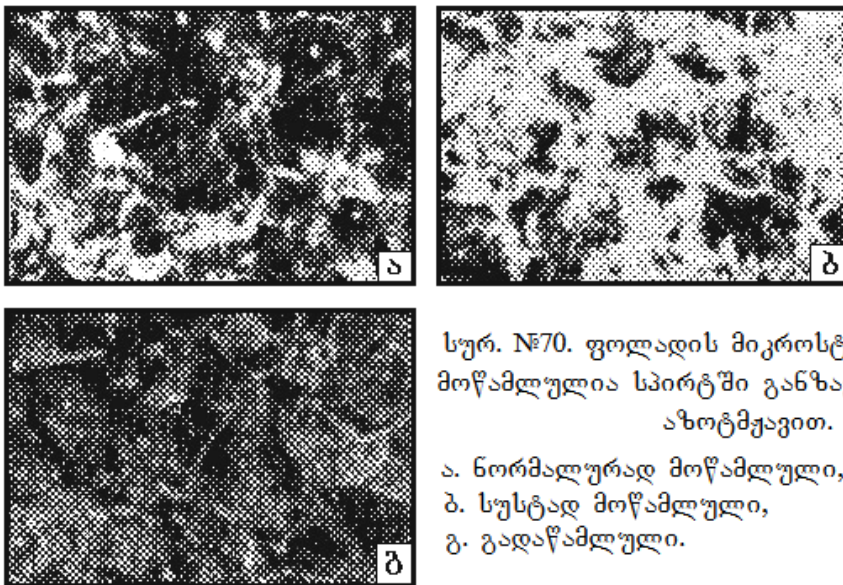
სურ. №69. მიკროსკოპში მარცვლების ხილვადობის სქემები.
 ა. სხივის არეკვლა მიკროსხეხის ზედაპირის სხვადასხვა უბნიდან, ბ. მიკროსტრუქტურა მკვეთრად გამოხატული მარცვლის საზღვრებით.

მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნების ქიმიური მოწამვლის მეთოდის როგორც გამოსაკვლევი ლითონის, ისე რეაქტივის ქიმიური შედგენილობის მიხედვით შეირჩევა. თუ ნიმუშის მოწამვლის ხანგრძლივობა დიდია ან გამოყენებული რეაქტივი

დამუხანგველ რეაგენტებს შეიცავს, ნიმუში გაპრიალებული ზედაპირით რეაქტივში თავსდება, რათა გამოირიცხოს მასზე ჰაერის ბუმბულების წარმოქმნა და რეაქციის პროდუქტების დალექვა. ამასთანავე, საჭიროა ნიმუშის პერიოდულად შერხევა.

თუ რეაქტივი სუსტად ურთიერთქმედებს ლითონთან ან ისეთ აპკს წარმოქმნის, რომელიც ართულებს რეაქციას, მაშინ მოწამვლისთვის რეკომენდებულია ნიმუშის მოთავსება გაპრიალებული ზედაპირით ზემოთ, რეაქტივის დაწვეთება და შემდგომში მისი ბამბით გაწმენდა. ხშირად მიკროსხეს რეაქტივით დასველებული ბამბითაც წამლავენ.

მოწამვლის პროცესი, ჩვეულებრივ, რამდენიმე წამს გრძელდება. მოწამვლის შემდეგ ნიმუში ირეცხება თბილ წყალში, შემდეგ მეთილის სპირტში და თბილი ჰაერით შრება ან ბამბით იწმინდება. №4 ცხრილში მოცემულია შავი და ფერადი ლითონების სტრუქტურის გამოსამუღავნებლად გამოყენებული ზოგიერთი რეაქტივის შედგენილობა. მოწამვლამ უნდა უზრუნველყოს მიკროსტრუქტურის მკაფიოდ გამომუღავნება (სურ. 70, ა). თუ მარცვლის საზღვრები და ცალკეული ფაზები მკაფიოდ არა ჩანს სურ. 70, ბ), ეს არასაკმარისი მოწამვლით აიხსნება, ამიტომ, საჭიროა პროცესის განმეორება. გადაწამვლის შემთხვევაში კი მიკროსტრუქტურა მუქად მოჩანს, იკარგება კონტრასტი (გ) და საჭირო ხდება ნიმუშის ხელახალი გაპრიალება და რეაქტივით თავიდან დამუშავება.



სურ. №70. ფოლადის მიკროსტრუქტურა. x200.
 მოწამვლილია სპირტში განზავებული 3%-იანი აზოტმჟავით.
 ა. ნორმალურად მოწამვლილი,
 ბ. სუსტად მოწამვლილი,
 გ. გადაწამვლილი.

ელექტროლიტური ამოჭმა

ელექტროლიტური ამოჭმა არსებითად ელექტროლიტური გაპრიალების ანალოგიურია, მხოლოდ ამ პროცესისათვის შედარებით მცირე ძაბვა და დენის სიმკვ-

შავი და ფერადი ლითონებისა და მათი შენადნობების მიკროსტრუქტურის გამოსამჟღავნებელი ზოგიერთი რეაქტივი

რეაქტივი	რეაქტივის შედგენილობა	გამოყენების თავისებურება
ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადებისათვის		
1. აზოტმჟავას სპირტში განზავებული ხსნარი	აზოტმჟავა (სიმკვრივე 1,4გ/სმ) - 1-5 მლ; ეთილის სპირტი - 100 მლ.	პერლიტს ღებავს მუქ ფერად, ამჟღავნებს ფერიტის მარცვლის საზღვრებს, მარტენსიტულ და მოშვების პროდუქტებს. გამოიყენება ნახშირბადიანი ფოლადისა და თუჯის, აგრეთვე დააზოტებული და დაცემენტებული ფოლადების სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად.
2. პიკრინმჟავას ხსნარი სპირტში	პიკრინმჟავა (კრისტალური)-4გ; ეთილის სპირტი - 100 მლ.	უჟანგავი ფოლადისა და შენადნობების სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად.
3. სამეფო ხსნარი	მარილმჟავა (სიმკვრივე 1,19გ/სმ ³ - 3 ნაწილი; აზოტმჟავა (სიმკვრივე 1,4 გ/სმ ³) - 1 ნაწილი	უჟანგავი ფოლადისა და შენადნობების სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად.
სპილენძისა და მისი შენადნობებისათვის		
4. ამონიუმის პერსულფატის ხსნარი	ამონიუმის პერსულფატი -10გ; წყალი - 90 გ	სპილენძის, თითბრისა და კალიანი ბრინჯაოს სტრუქტურის გამომჟღავნებისათვის
ალუმინის შენადნობებისათვის		
5. წყალბადფთორმჟავა	წყალბადფთორმჟავა - 0,5 მლ; წყალი - 99,5 მლ	დურალუმინისა და ალუმინის ფუძეზე დამზადებული სამსხმელო შენადნობების სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად

რივეა საჭირო. ანოდი არის ნიმუში, ხოლო კათოდად შეირჩევა ელექტროლიტში შედარებით უხსნადი ელექტროგამტარი მასალა, მაგალითად, უჟანგავი ფოლადი, პლატინა ან გრაფიტი. უმეტეს შემთხვევაში, ელექტროლიტური ამოჭმისათვის მუდმივ დენზე მომუშავე ელექტროლიტები გამოიყენება (ცხრილი №5). ელექტროლიტური ამოჭმისათვის, ჩვეულებრივ, იგივე დანადგარი გამოიყენება, რაც ელექტროლიტური გაპრიალებისას განვიხილეთ (სურ. №67).

ამოჭმა დაჟანგვის მეთოდით

გაპრიალებული მიკროსხეხის დამუხანგველ ატმოსფეროში გახურებისას, ცალკეული ფაზა განსხვავებული ფერის ჟანგეულის თხელი ფენით იფარება. თუ შერჩეულ ტემპერატურაზე ჰაერის ატმოსფეროში გახურებისას სათანადო სისქის ჟან-

მიკროსხეხის ელექტროლიტური ამოჭმისათვის გამოყენებული
ზოგიერთი რეაქტივი

რეაქტივი	რეაქტივის შედგენილობა	თავისებურება და გამოყენება
1. ქლორიანი რკინა და მარილმჟავა	ქლორიანი რკინა – 0,5%; მარილმჟავა (სიმკვრივე 1,19 გ/სმ ³) – 1%; მეთილის სპირტი – 98,5%	ნახშირბადიანი ფოლადისათვის. დენის სიმკვრივე 0,5 ა/სმ ²
2. მარილმჟავა	მარილმჟავა (სიმკვრივე 1,19 გ/სმ ³) – 10%; მეთილის სპირტი – 90%	უხვად ლეგირებული ფოლადისათვის. დენის სიმკვრივე 0,05 ა/სმ ²
3. მჟაუნმჟავა	მჟაუნმჟავა – 2 გ; წყალი – 100 მლ	კარბიდისა და უჟანგავი ფოლადის ძირითადი სტრუქტურის გამოსამუდგენებლად. დაბვა 3-6 გ
4. ორთოფოსფორმჟავა	ორთოფოსფორმჟავას წყალხსნარი (სიმკვრივე 1,43-1,55 გ/სმ ³)	სპილენძისა და მისი შენადნობებისათვის. დენის სიმკვრივე 0,02-0,05 ა/სმ ²

გეულის ფენა არ მიიღება, საჭიროა დაჟანგვის ეფექტის გაზრდა. ამ მიზნით მიკროსხეხის ზედაპირზე ზეძლიერად დამჟანგველ კრისტალებს, მაგალითად, კალიუმის ბიქრომატს ($K_2Cr_2O_7$) ათავსებენ. ამ მეთოდით შეიძლება გამომუდგენდეს, აგრეთვე, ფოლადის მარცვლის ზომები.

ვაკუუმში ამოჭმა ფაზების შერჩევითი აორთქლების მეთოდით

ვაკუუმური მეტალოგრაფია ითვალისწინებს მაღალ ტემპერატურამდე ნიმუშის გახურებას ვაკუუმში, რის შედეგადაც კარგად ვლინდება მარცვალსა და მის მიმდებარე ფენებში აორთქლების სხვადასხვა სიჩქარე. ჩვეულებრივ, მინარევებით მდიდარი მარცვლის საზღვრებიდან აორთქლება უფრო მაღალი სიჩქარით მიმდინარეობს, რის გამოც ეს უბნები მკაფიოდ მუდგანდება. თანამედროვე დანადგარებით სტრუქტურის შესწავლა სხვადასხვა აირით ამოჭმის შემდეგაც შეიძლება განხორციელდეს, რომელსაც გამახურებელ კამერაში სპეციალურად აწვდიან. ეს მეთოდი გახურებისას მარცვლის ზრდასა და ფაზური გარდაქმნის მიმდინარეობაზე დაკვირვების შესაძლებლობასაც იძლევა.

ვაკუუმში კათოდური ამოჭმა

ამ შემთხვევაში მიკროხეხი კათოდის როლს ასრულებს. განმუხტვისას მისი ზედაპირი „იბომბება“ გარკვეული სიჩქარის მქონე დადებითი იონებით, რაც ატომების ამოგდებასა და მის მოცილებას იწვევს. ამოგდებული ატომების რაოდენობა და მათი მოცილების სიჩქარე ნიმუშის მიკროსტრუქტურაზეა დამოკიდებული, ამიტომ, დამუშავების შემდეგ მიკროხეხის ზედაპირი ქიმიური ან ელექტროლიტური მეთოდით ამოჭმულ ზედაპირს წააგავს. ვაკუუმში კათოდური ამოჭმის მეთოდის უპირატესობა ქიმიურთან შედარებით ისაა, რომ ამ დროს შესაძლებელია მრავალფაზა შენადნობში სხვადასხვა სტრუქტურული შემდგენის აგებულების ერთდროული გამოქვდავება.

აღნიშნული მეთოდის გამოყენებისას კარგად ჩანს კრისტალოგრაფიული და სტრუქტურული თავისებურებანი როგორც ძლიერად, ისე სუსტად მოწამლულ შენადნობებში. ეს კი განხილულ მეთოდს ძირითად უპირატესობას ანიჭებს სხვა მეთოდებთან შედარებით.

VII თავი. ლითონის მექანიკური თვისებების კონტროლის მეთოდები

საპასუხისმგებლო დეტალების წარმოების ციკლში, მექანიკური თვისებების გამოცდაა გათვალისწინებული. მისი მიზანია ლითონისა და მისგან დამზადებული ნაკეთობის თერმული დამუშავების ხარისხის კონტროლი.

მექანიკური თვისებების კონტროლისათვის ერთსა და იგივე ღუმელში, ერთნაირი რეჟიმით დამუშავებული პარტიიდან ნაკეთობათა გარკვეული რაოდენობა შეირჩევა, რომლისგანაც გამოცდებისათვის საჭირო სტანდარტულ ნიმუშებს ამზადებენ. გამოსაცდელი ნაკეთობისა და ნიმუშების რაოდენობა ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურებებიდან გამომდინარე შეირჩევა.

1. დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაცია

გარე ძალების ზემოქმედებით ლითონი იცვლის ფორმას და ზომებს, ანუ დეფორმირდება. მცირე დატვირთვა იწვევს მხოლოდ დრეკად დეფორმაციას. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ცვლილებები არ მიმდინარეობს. ძირითადად, ხდება ატომების გადაადგილება მცირე, ატომთშორისზე ნაკლები მანძილით, რაც იწვევს კრისტალური გისოსის დამახინჯებას. ეს ცვლილებები კრისტალში შენარჩუნებულია მანამ, სანამ მოქმედებს გარე ძალები. ძალის მოხსნის შემდეგ ატომები უბრუნდება თავის პირვანდელ წონასწორულ მდგომარეობას, გისოსის დამახინჯება იხსნება და ლითონში აღდგება საწყისი ფორმა და ზომები. ლითონის უნარს, წინააღმდეგობა გაუწიოს დრეკად დეფორმაციას, **სიხისტე** ეწოდება.

მოქმედი ძალა ლითონში აღძრავს ძაბვებს. მაგალითად, ნიმუშის გაჭიმვის შემთხვევაში აღძრული ძაბვა $\sigma = \frac{P}{F}$ მგპა, სადაც P არის მოქმედი ძალა, F – განივი კვეთის ფართობი ძალის მოქმედების უბანში.

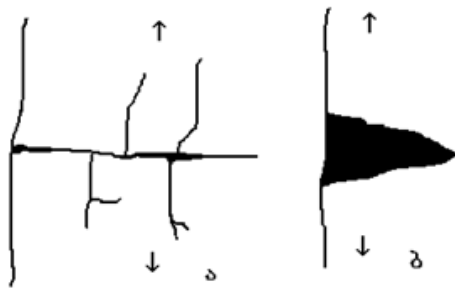
თუ ლითონში აღძრული ძაბვა გადააჭარბებს დრეკადობის ზღვარს, იწყება გაცილებით უფრო რთული პროცესი – პლასტიკური დეფორმაცია. პლასტიკური დეფორმაციის დროს კრისტალის ერთი ნაწილი მთლიანად გადაადგილდება (დაიძვრება) მეორის მიმართ. ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ლითონი არ უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას, ანუ რჩება დეფორმირებულ მდგომარეობაში.

საკონსტრუქციო მასალას მოეთხოვება არა მარტო დეფორმაციისადმი, არამედ რღვევისადმი (ნგრევისადმი) გაზრდილი წინააღმდეგობაც. წინააღმდეგობას დეფორმაციისადმი, ჩვეულებრივ, აერთიანებენ ზოგად ცნებაში „**სიმტკიცე**“, ხოლო წინა-

აღმდევობას რღვევისადმი – ცნებაში „საიმედლობა“. თუ ნაკეთობის მთლიანობის რღვევა ხდება არა ერთი, არამედ მრავალგზის დატვირთვის აქტის შემდეგ, საქმე გვაქვს მასალის **ხანგამძლეობასთან**. ბუნებრივია, მაღალხარისხოვანი საკონსტრუქციო მასალა, ერთდროულად, უნდა ხასიათდებოდეს როგორც სიმტკიცით, ისე საიმედოობით და ხანგამძლეობით.

ლითონზე მოქმედი გარე ძალები გარკვეული სიდიდის შემდეგ მის რღვევას იწვევს. რღვევის პროცესში არჩევენ ორ ეტაპს: ბზარის ჩასახვასა და მის გაგრძელებას სრულ რღვევამდე. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, პლასტიკური დეფორმაცია დისლოკაციური მექანიზმით ხორციელდება. მოძრაობის გზაზე დისლოკაციებს ხვდება სხვადასხვა სახის დაბრკოლება (უცხო ატომი, სხვადასხვა სახის ჩანართი, ბლოკებისა და მარცვლის საზღვრები), რომელთა გადალახვა შეუძლებელი აღმოჩნდება. ამიტომ, დაბრკოლებებთან ხდება დისლოკაციების უპირატესი თავმოყრა-დაგროვება. სწორედ ამ ადგილებში ჩაისახება პირველი ბზარები. ბზარის ჩანასახი უკვე თვითონ გადაიქცევა დაბრკოლებად, დისლოკაციის მოძრაობის გზაზე, რაც იწვევს ნარჩენი ძაბვების დაგროვებას და ჩასახული ბზარის გაგრძელებას – პროცესი მთავრდება ლითონის სრული რღვევით.

როგორც ცნობილია, ლითონის რღვევა შეიძლება იყოს მყიფე და ბლანტი. მყიფე რღვევისათვის დამახასიათებელია მახვილი, დატოტვილი ბზარი (სურ. №71 ა), რომელიც დიდი სიჩქარით ვრცელდება, პრაქტიკულად, პლასტიკური დეფორმაციის მიმდინარეობის გარეშე.



სურ. №71. მყიფე (ა) და ბლანტი (ბ) ბზარების სქემა.

ბლანტი ტეხილის შემთხვევაში ბზარი ბლაგვია (სურ. №71 ბ). იგი დაბალი სიჩქარით, მაგრამ, მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციის გზით ვრცელდება. რღვევის ხასიათიდან გამომდინარე, ბლანტი ტეხილი ბოჭკოვანი აგებულებით ხასიათდება, ხოლო მყიფე ტეხილი – კრისტალური აგებულებით, რადგან ამ დროს არ მახინჯდება მარცვლის ფორმა და ზომები პრაქტიკულად ლითონის რღვევა იშვიათად წარი-

მართება მხოლოდ მყიფე ან ბლანტი მექანიზმით. უფრო ხშირად ნაკეთობის რღვევა შერეული ხასიათისაა.

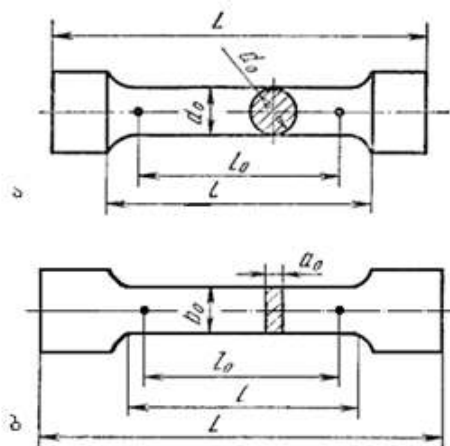
2. ლითონის მექანიკური თვისებების კონტროლი

საკონსტრუქციო მასალის მექანიკური თვისებები გულისხმობს თვისებათა ერთობლიობას, რომელიც ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობას, მასზე გარედან მოდებული მექანიკური ძალის (დატვირთვის) ზემოქმედების მიმართ. მოდებული ძალა შეიძლება იყოს სტატიკური (მდოვრედ მზარდი), დინამიკური (მკვეთრად და დიდი სიჩქარით მზარდი), განმეორებითი და ცვალებადი (მრავალჯერადად მოდებული, რომლის სიდიდე ან სიდიდე და მიმართულება ერთდროულად იცვლება).

აქედან გამომდინარე, დატვირთვის ხასიათისა და მისი მოქმედების დროზე და მოკიდებულებით არჩევენ სტატიკურ (გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე, გრეხვაზე, სისალეზე), დინამიკურ (დარტყმით სიბლანტეზე) და დაღლილობაზე (ცვალებადი დატვირთვის და ძალის განმეორებითი მოდების პირობებში) მექანიკურ გამოცდებს. ცალკე ჯგუფად იხილავენ ხანგრძლივ მაღალტემპერატურულ (ცოცვალობაზე, ხანგრძლივ სიმტკიცეზე) გამოცდებს.

გაჭიმვაზე და კუმშვაზე გამოცდა

სტატიკური გამოცდებიდან ყველაზე ფართოდ გამოიყენება გამოცდები გაჭიმვაზე. იგი საშუალებას იძლევა ერთი გამოცდის შედეგებით მასალის რამდენიმე უმთავრესი მექანიკური მახასიათებელი განისაზღვროს, კერძოდ, ლითონის სიმტკიცე, ანუ წინააღმდეგობა დეფორმაციისადმი და პლასტიკურობა – უნარი, მიიღოს ნარჩენი დეფორმაცია მთლიანობის დაურღვევლად.



სურ. №72. გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშები:

- ა – მრგვალი ცილინდრული,
- ბ – ბრტყელი.

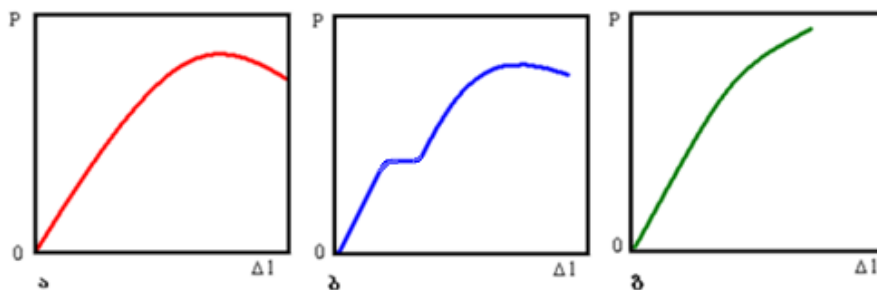
გაჭიმვაზე გამოცდებს სპეციალურ გამგლეჯ მანქანაზე აწარმოებენ, რომელზეც ნიმუში ორი თანაბარი და საპირისპირო მიმართულების ძალით იჭიმება.

გაჭიმვაზე გამოსაცდელად სტანდარტული, ცილინდრული ან ბრტყელი ნიმუშები გამოიყენება, საწყისი საანგარიშო სიგრძით $l_0=5,65\sqrt{F_0}$ (მოკლე ნიმუში) ან $l_0=11,3\sqrt{F_0}$ (გრძელი ნიმუში) დიამეტრით 3მმ და მეტი, ან სისქით 0,5მმ და მეტი (სურ. №72). საანგარიშო სიგრძე l_0 ნიმუშის განივი კვეთის F_0 ფართობა დამოკიდებული.

ბრტყელი ნიმუშები, როგორც წესი, ფურცლოვანი მასალების გამოსაცდელად გამოიყენება. ცილინდრული ნიმუშებიდან უპირატესად მოკლე ნიმუშებია რეკომენდებული, დიამეტრით $d_0=10\text{მმ}$. გამოცდების დაწყებამდე საწერტით, საკაწრით ან სხვა მეთოდით, ნიმუშზე საანგარიშო l_0 სიგრძეს აღნიშნავენ.

გამოცდის დროს ნიმუშის დატვირთვა თანდათანობით ხდება. გამოსაცდელი მანქანის ჩამწერი მოწყობილობის საშუალებით გამოისახება გაჭიმვის მრუდი კოორდინატებში „დატვირთვა P – დეფორმაცია Δl “.

გამოცდის შედეგები გამოისახება მრუდით, რომლის ძირითადი ტიპები №73 სურათზეა წარმოდგენილი. პლასტიკური მასალების უმრავლესობისათვის დამახასიათებელია №73ა სურათზე მოცემული დიაგრამის ტიპი, როდესაც დრეკადობის არე თანდათან გადადის პლასტიკურობის არეში. ზოგიერთ ლითონში, როგორცაა, მაგალითად, ნახშირბადმცირე ფოლადები, დრეკადობის არე პლასტიკურობის არეში, დენადობის ბაქნის გავლით გადადის (დიაგრამის ბ ტიპი). ნაკლებპლასტიკური მასალებისათვის კი, როგორცაა, მაგალითად, ნაწრთობი მცირედ მოშვებული ფოლადი და რუხი თუჯი, რომლებიც მცირე ნარჩენი პლასტიკური დეფორმაციის პირობებში ინგრევა, №73 გ სურათზე წარმოდგენილი გაჭიმვის მრუდია დამახასიათებელი.



სურ. №73. გაჭიმვის დიაგრამები:

- ა – დრეკადიდან პლასტიკურ არეში მდლოვრედ გადასვლის შემთხვევაში;
- ბ – დრეკადიდან პლასტიკურ არეში დენადობის ბაქნით გადასვლის შემთხვევაში;
- გ – მყიფე ლითონისათვის.

№74 სურათზე წარმოდგენილ გაჭიმვის დიაგრამაზე დამახასიათებელი წერტილებია აღნიშნული, რომლებზე დაყრდნობითაც ლითონის შემდეგი მექანიკური მახასიათებლები განისაზღვრება: პროპორციულობის ზღვარი, დრეკადობის ზღვარი, დენადობის ზღვარი, დროებითი წინააღმდეგობა გაგლეჯაზე, ჭეშმარიტი წინააღმდეგობა გაგლეჯაზე.

$P_{პრ}$ წერტილამდე $P-\Delta l$ დამოკიდებულება წრფით აისახება, რაც იმის მაჩვენებელი

ლია, რომ ნიმუშის სიგრძის ცვლილება დატვირთვის პირდაპირპროპორციულია.

დიაგრამის წრფივი უბანი შეესაბამება ნიმუშის დრეკად დეფორმაციას, ხოლო $P_{კრ}$ წერტილის ორდინატა – პროპორციულობის ზღვრის შესაბამის დატვირთვას. პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{კრ}$ შემდეგი დამოკიდებულებით გამოითვლება:

$$\sigma_{კრ} = P_{კრ} / F_0, \text{ მგპა;}$$

e წერტილის ორდინატა, რომელიც A წერტილთან უშუალო მახლობლობაში მდებარეობს, დრეკადობის ზღვრის შესაბამის დატვირთვას წარმოადგენს:

$$\sigma_{დრ.} = P_{დრ.} / F_0, \text{ მგპა}$$

დრეკადობის ზღვრის ექსპერიმენტულად განსაზღვრისათვის ნარჩენი წაგრძელების სტანდარტული დაშვებაა მოცემული. აღნიშნული დაშვების გათვალისწინებით, დრეკადობის ზღვრად მიღებულია ძაბვა, რომელიც ნიმუშის საანგარიშო სიგრძის 0,05% ნარჩენ წაგრძელებას განაპირობებს (ზოგიერთ შემთხვევაში ნარჩენი წაგრძელების სიდიდე კიდევ უფრო მცირე აიღება – 0,005%-მდე). შერჩეული დაშვება დრეკადობის ზღვრის აღნიშვნაშია მითითებული. მაგალითად, $\sigma_{0,05}$ ან $\sigma_{0,02}$.

სურ. №74. გაჭიმვის მრუდი პლასტიკური ლითონისათვის.

გაჭიმვის დიაგრამაზე $P_{დენ}$ დატვირთვას BC ბაქნის მდებარეობა განსაზღვრავს. მისი მნიშვნელობით დენადობის ზღვარი განისაზღვრება – ძაბვის უმცირესი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ნიმუში დატვირთვის უნმნიშვნელო მატებით დეფორმირდება:

$$\sigma_{დენ} = P_{დენ} / F_0, \text{ მგპა}$$

თუ გაჭიმვის დიაგრამაზე დენადობის ბაქანი არ არის გამოქვეყნებული, მაშინ მიმართავენ დენადობის პირობითი სიდიდის განსაზღვრას. ეს არის ძაბვა, რომლის დროსაც წარმოქმნილი ნარჩენი წაგრძელება საანგარიშო სიგრძის 0,2% შეადგენს, რაც აღინიშნება სიმბოლოთი $\sigma_{0,2}$:

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0, \text{ მგპა}$$

დენადობის პირობითი ზღვრის პრაქტიკულად განსაზღვრა გაჭიმვის მრუდზე ხდება. ამისათვის აბსცისაზე საანგარიშო სიგრძის 0,2% გადაზომავენ. მის ბოლოდან გაჭიმვის მრუდზე პროპორციული დეფორმაციის შესაბამისი მონაკვეთის პარა-

ლელურ ხაზს ატარებენ; მრუდთან გადაკვეთის წერტილი პირობითი დენადობის ზღვრის შესაბამის დატვირთვას (საძიებელ $\sigma_{0,2}$ ძაბვას) შეესაბამება.

D წერტილის ორდინატა (სურ. 74) განსაზღვრავს მაქსიმალურ დატვირთვას, რომელსაც ნიმუში გამოცდის პროცესში უძლებს. $P_{აკს}$ დატვირთვის შეფარდებას ნიმუშის საწყისი განივკვეთის F_0 ფართთან **დროებითი წინააღმდეგობის ზღვარი** (სიმტკიცის ზღვარი) ეწოდება:

$$\sigma_{აკს} = P_{აკს} / F_0, \text{ მგპა}$$

K წერტილი გაჭიმვის დიაგრამაზე ნიმუშის ნგრევის მომენტს შეესაბამება, P_k ორდინატა კი იმ დატვირთვას განსაზღვრავს, რომელსაც ნიმუში გაწყვეტისას განიცდის. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ პლასტიკურ ნიმუშებში გაწყვეტამდე ყელი წარმოიქმნება. ამიტომ, ჭეშმარიტი წინააღმდეგობა გაწყვეტაზე S_k განისაზღვრება გაწყვეტის მომენტში დატვირთვის სიდიდის შეფარდებით გაწყვეტის შემდეგ, ნიმუშში წარმოქმნილი ყელის F_k განივკვეთის ფართთან:

$$S_k = P_k / F_k$$

გაჭიმვაზე გამოცდისას მასალის პლასტიკურ თვისებებს ნიმუშის გაწყვეტის შემდეგ, ფარდობითი წარგრძელებით (δ) და ფარდობითი შევიწროებით (ψ) აფასებენ.

ფარდობით წარგრძელებას უწოდებენ საანგარიშო სიგრძის ნაზრდის შეფარდებას საანგარიშო სიგრძის საწყის მნიშვნელობასთან. იგი პროცენტობით გამოიხატება:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 = (\Delta l / l_0) \times 100\%,$$

სადაც l_k არის საანგარიშო უბნის სიგრძე, ნიმუშის გაწყვეტის შემდეგ;

ამ უბნის სიგრძის განსაზღვრისათვის ნიმუშის გაწყვეტილ ნაწილებს ერთმანეთთან მჭიდროდ ისეთნაირად აერთებენ, რომ მათი დეძები წრფეს ქმნიდნენ და ზომავენ საწერტით მონიშნულ მანძილს.

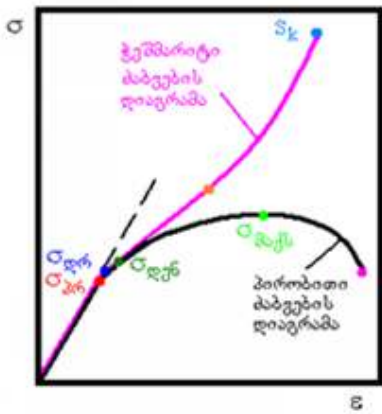
ფარდობითი შევიწროება ψ არის ნიმუშის განივკვეთის ფართობის მაქსიმალური შემცირების ფარდობა საწყისი განივკვეთის ფართთან:

$$\psi = [(F_0 - F_k) / F_0] \times 100\%$$

სადაც F_0 არის ნიმუშის საწყისი განივკვეთის ფართი, ხოლო F_k – ნიმუშის განივკვეთის ფართი, გაწყვეტის შემდეგ.

ფარდობითი შევიწროების გამოსათვლელად ზომავენ ნიმუშის მინიმალურ დიამეტრს, მისი გაწყვეტის შემდეგ ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით, შემდეგ ითვლიან დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობას და F_k განივკვეთის ფართს.

№74 სურათზე წარმოდგენილი დამოკიდებულება დატვირთვისა და წაგრძელებას შორის, ნიმუშის ზომების ცვლილებასთან ერთად შეიცვლება. იმისათვის, რომ გამოირიცხოს ნიმუშის ზომების გავლენა დიაგრამის ხასიათზე, მას აგებენ კოორდინატებში ძაბვა σ -ფარდობითი წაგრძელება ε . ძაბვას ითვლიან მოცემულ მომენტში მოქმედი დატვირთვის შეფარდებით ნიმუშის საწყის განივკვეთის ფართობთან F_0 ($\sigma=P/F_0$), ხოლო ფარდობით წაგრძელებას – მოცემულ მომენტში Δl აბსოლუტური წაგრძელების შეფარდებით საწყის l_0 საანგარიშო სიგრძესთან ($\varepsilon = \Delta l/l_0$). ამგვარად აგებულ დიაგრამას პირობითი ძაბვების დიაგრამას უწოდებენ. რადგან P და Δl მნიშვნელობები შესაბამისად გამოცდის მოცემულ პირობებში მუდმივ F_0 და l_0 მნიშვნელობებზე იყოფა, P - Δl კოორდინატებიდან σ - ε კოორდინატებზე გადასვლით, დიაგრამის სახე არ იცვლება (სურ. №75). პირობითი ძაბვების დიაგრამის ხასიათიდან გამომდინარე, მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ დატვირთვა მცირდება, თითქოს ნიმუში სიმტკიცეს კარგავს. სინამდვილეში ეს ასე არ არის. ნიმუშის გამოცდის დროს იგი არათანაბრად იჭიმება და ნგრევის მახლობლობაში „ყელი“ წარმოიქმნება. თუ გავითვალისწინებთ ნიმუშის განივი კვეთის შემცირებას ყელის წარმოქმნის პროცესში დადატვირთვას განივი კვეთის ნამდვილ ფართობთან შეფარდებით, მაშინ ძაბვის შემცირება კი არა, პირიქით, მისი მატება შეინიშნება. ასეთ შემთხვევაში ჭეშმარიტი ძაბვების დიაგრამა მიიღება (სურ. №75).



სურ. №75. ჭეშმარიტი და პირობითი ძაბვების დიაგრამა.

ლითონებისა და შენადნობების მექანიკური თვისებების განსაზღვრას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება და მრეწველობაში ფართოდ გამოიყენება. მზა პროდუქციის ჩაბარებისათვის აუცილებელ საკონტროლო მახასიათებლებს მიეკუთვნება: დროებითი წინააღმდეგობა გაგლეჯაზე (სიმტკიცის ზღვარი) $\sigma_{0.2}$, დენადობის ზღვარი $\sigma_{0.2}$, ფარდობითი წაგრძელება δ და ფარდობითი შევიწროება ψ .

მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე ლითონებისა და თერმულად დამუშავებული ნაკეთობების ხარისხის კონტროლისათვის (მაგალითად, გაზის და ორთქლის ტურბინა, მაღალი წნევის ქვაბები და სხვა ანალოგიური ნაკეთობები) მექანიკური თვისებების განსაზღვრას გაზრდილ ტემპერატურებზე აწარმოებენ. ამ ტიპის გამოცდები შეიძლება იყოს ხანმოკლე და ხანგრძლივი.

გაჭიმვაზე ხანმოკლე გამოცდებისათვის ჩვეულებრივი მოწყობილობა გამოიყენება. სასურველი ტემპერატურის უზრუნველსაყოფად, სატაცებში ჩამაგრებულ ნიმუშს, მინიატურულ მუფელის ღუმელს ჩამოაცვამენ. ღუმელის ტემპერატურა თერმომწყვილით კონტროლირდება. ტემპერატურის რეგულირებას პოტენციომეტრით ანხორციელებენ. ნიმუშის გამოცდას მას შემდეგ იწყებენ, როდესაც ტემპერატურა სასურველ მნიშვნელობას მიაღწევს. მოცემულ შემთხვევაშიც მექანიკური თვისებების მახასიათებლებია: სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე $\sigma_{გაგლეჯ}$, დენადობის ზღვარი $\sigma_{0,2}$, ფარდობითი წაგრძელება δ და ფარდობითი შევიწროება ψ .

ხანგრძლივი გამოცდებისას განსაზღვრავენ მასალის უნარს, აიტანოს ხანგრძლივი დატვირთვა მაღალ ტემპერატურულ პირობებში. განისაზღვრება ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი და ცოცვადობა, ანუ მასალის მიდრეკილება დეფორმირდეს და დაინგრეს გაზრდილ ტემპერატურაზე, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. მოცემულ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი არის მაქსიმალური ძაბვა, რომელსაც მასალა დაუნგრევლად უძლებს, გამოცდის მოცემული ხანგრძლივობის პირობებში. გამოცდის ხანგრძლივობას (დროს) **ბაზას** უწოდებენ.

გაზომვებს სპეციალურ მანქანაზე აწარმოებენ. გამოცდის პროცესში ნიმუშს მუდმივი დატვირთვა მიეწოდება. სატაცებში ჩამაგრებული გამოსაცდელი ნიმუშის გახურება მასზე ჩამოცმული მრგვალი მუფელური ღუმელის საშუალებით ხდება. გამოცდის პროცესში ნიმუშის ტემპერატურა მუდმივად არის შენარჩუნებული.

კუმშვაზე გამოცდას გაზრდილი სიმყიფის მქონე მასალებს უტარებენ (მაგალითად, რუხ თუჯს). გამოცდებისათვის როგორც ჩვეულებრივ გამგლეჯ, ისე სპეციალურ მანქანებს იყენებენ. გამოსაცდელი ნიმუშის ფორმა, უმეტეს შემთხვევაში, ცილინდრულია, რომლის სიმაღლის შეფარდება დიამეტრთან 1,0:2,0 შეადგენს. მეთოდის ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნა იმაში მდგომარეობს, რომ გამოსაცდელი ნიმუშის ტორსული ზედაპირები მკაცრად ურთიერთპარალელური უნდა იყოს.

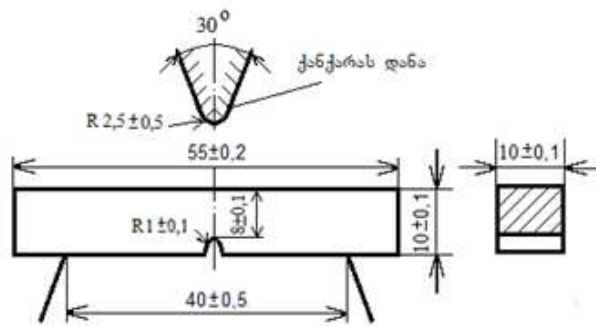
კუმშვაზე გამოცდის შემთხვევაშიც არის შესაძლებელი ლითონის მექანიკური თვისებების ყველა მახასიათებლის დადგენა, თუმცა, უმეტეს შემთხვევაში, მხოლოდ სიმტკიცის ზღვარს განსაზღვრავენ.

დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა

ექსპლუატაციის პროცესში მანქანათა ნაწილები არა მარტო სტატიკური, მღოვრედ მზარდი დატვირთვების ზემოქმედებას განიცდის, არამედ დინამიკური (დარტყმითი), მკვეთრად და ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე დიდი სიჩქარე

რით მზარდი დატვირთვების ზემოქმედებასაც. ამდენად, დეტალის ნგრევა დარტყ-
 მითი დატვირთვების გავლენითაც შეიძლება განვითარდეს. ამიტომ, აუცილებელია
 იმის ცოდნაც, თუ რამდენად უწევს წინააღმდეგობას ლითონი ასეთ დატვირთვებს.

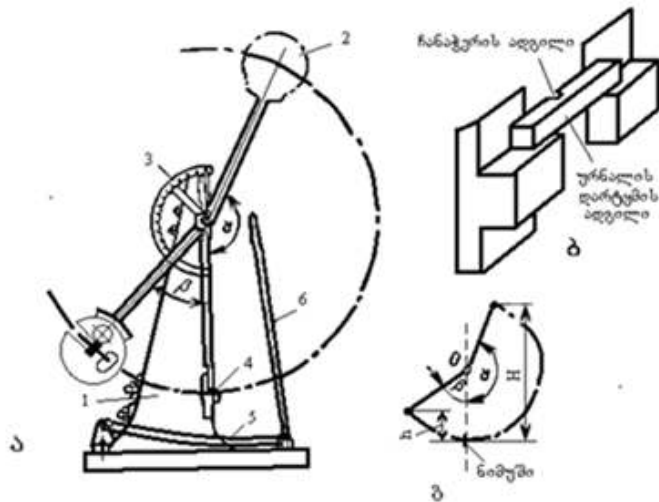
დარტყმით გამოცდებს კვადრატული განივკვეთის სტანდარტული ნიმუშების
 (10x10 მმ, სიგრძე 55 მმ, სურ. 76) ნგრევით აწარმოებენ. სიგრძის შუა ზონაში ნი-
 მუშს U ტიპის ნასერი გააჩნია, რომლის სიგანე და სიღრმე 2მმ-ს შეადგენს, ხოლო
 მომრგვალების რადიუსი – 1მმ. გამოიყენება, აგრეთვე, ნიმუშები V ან T (ბზარი) ტი-
 პის ნასერებით. პირველის წვეროსთან მდებარე კუთხეა 45° , მომრგვალების რადიუ-
 სი – 0,25მმ. მეორე ნასერი უფრო მახვილია. ნასერი ძაბვების კონცენტრატორის
 როლს ასრულებს. რაც უფრო მახვილია კუთხე, მით უფრო ძლიერად მოქმედებს
 ძაბვების კონცენტრატორი.



სურ. №76. დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი
 ნიმუშის ფორმა და ზომები.

დარტყმითი დატვირთვებით გამოცდებს აწარმოებენ ხელსაწყოზე, რომელსაც
ქანქარა ურნალს უწოდებენ (სურ. №77). მისი მუშაობის პრინციპი ასეთია: ურნა-
 ლის ქანქარა ტვირთიანად (2) თავისუფლად ქანაობს, საკუთარი ღერძის გარშემო.
 სასხლეტის საშუალებით ტვირთი შეიძლება ნებისმიერ სიმაღლეზე დაფიქსირდეს.
 ქანქარას განთავისუფლების შემთხვევაში, ტვირთი საწინააღმდეგო მხარეს იმავე
 სიმაღლეზე აიწევს, რომელზეც საწყის მდგომარეობაში იყო დაფიქსირებული. თუ
 ტვირთს მოძრაობის გზაზე დაბრკოლება (მაგალითად, გამოსაცდელი ნიმუში) შეხვ-
 დება, თავისუფალი ვარდნის ენერგიის ნაწილი ამ დაბრკოლების გადალახვაზე და-
 იხარჯება და ტვირთი საპირისპირო მხარეს უფრო დაბალ სიმაღლეზე აიწევს.

გამოსაცდელი ნიმუში (4, სურ. №77 ა, ბ) ტვირთის მოძრაობის გზაზე სადგა-
 რის (1) ორ საბჯენზე იდება. ვარდნის დროს ტვირთი მას ღუნავს და ანგრევს. აქე-
 დან გამომდინარე, ქანქარას ენერგიის მარაგი ნიმუშის გადაღუნვაზე, ნგრევაზე და
 ტვირთის საპირისპირო მხარეს გარკვეულ სიმაღლეზე აწევაზე დაიხარჯება. თუ



სურ. 77. ქანქარა ურნალის სქემა (ა), ნიმუშის მდებარეობა გამოცდის დროს (ბ) და გამოცდის სქემა.

- 1 – სადგარი; 2 – ქანქარა; 3 – სკალა; 4 – ნიმუში;
5 – ხელის მუხრუჭის ღვედი; 6 – ხელის მუხრუჭის ბერკეტი.

ენერჯის საერთო მარაგს იმ ნაწილს გამოვაკლებთ, რაც ნიმუშის გადატეხის შემდეგ ტვირთის საპირისპირო მხარეს აწევაზე იხარგება, დარჩება ის ენერჯია (მუშაობა), რომელიც ნიმუშის გადატეხაზე დაიხარჯა.

ამგვარად, მუშაობა (K), რომელიც ნიმუშის გადატეხაზე დაიხარჯა, ქანქარას ტვირთის საწყისი და ნიმუშის გადატეხის შემდეგ მდგომარეობების სხვაობით გამოითვლება:

$$K=P(H-h),$$

სადაც P არის ქანქარას ტვირთის წონა, ნ;

H – ქანქარას აწევის საწყისი სიმაღლე (ნიმუშის გადატეხამდე), მ;

h – ქანქარას აწევის სიმაღლე ნიმუშის გადატეხის შემდეგ (იხ. სურ. 77, გ).

H და h სიმაღლეების განსაზღვრა შესაძლებელია, თუ ცნობილი იქნება ქანქარას სიგრძე L და მისი აწევის კუთხეები საწყისი (α) და საბოლოო (β) მდგომარეობაში:

$$H=L(1-\cos\alpha); h=L(1-\cos\beta), \text{ საიდანაც}$$

$$K=PL(\cos\beta-\cos\alpha)$$

P და L მოცემული ურნალისათვის მუდმივ სიდიდეებს წარმოადგენს, α და β კუთხეები ხელსაწყის სკალიდან აიღება. წარმოდგენილი გამოთვლების ასაცილებლად პრაქტიკაში, ცხრილებით სარგებლობენ, სადაც ყოველი β კუთხისათვის K მუშაობის მნიშვნელობებია მოცემული.

ძირითადი მახასიათებელი, რომელიც დარტყმითი დატვირთვით გამოცდის შედეგად მიიღება, არის დარტყმითი სიბლანტე. იგი აღინიშნება სიმბოლოებით KC . დარტყმითი სიბლანტე არის მუშაობა, რომელიც გამოითვლება ნიმუშის გადატეხაზე დახარჯული მუშაობის ფარდობით, ნასერის ადგილას, ნიმუშის განივკვეთის ფართთან:

$$KC=K/F,$$

სადაც F არის ნიმუშის განივკვეთის ფართი ნასერის ადგილას, $სმ^2$.

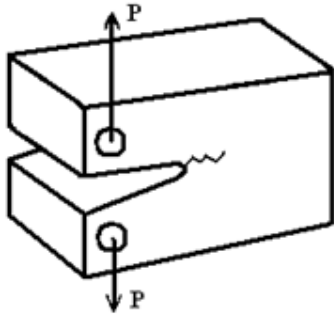
დარტყმითი სიბლანტის ჩაწერის დროს, მის აღნიშვნაში, მესამე სიმბოლოა შემოტანილი, რომელიც ნიმუშზე ნასერის ფორმას მიუთითებს. აქედან გამომდინარე, იმ ნიმუშის დარტყმითი სიბლანტე, რომლის ნასერი U ფორმისაა, აღინიშნება სიმბოლოებით KCU , V ფორმის ნასერით - KCV , ხოლო T ფორმის ნასერით - KCT . დარტყმითი დატვირთვის სტანდარტული განზომილებაა $ჯ/მ^2$ ან $ჯ/სმ^2$.

დარტყმით სიბლანტეზე ნიმუშების გამოცდას აწარმოებენ როგორც ოთახის ტემპერატურაზე, ისე მაღალ და უარყოფით ტემპერატურაზეც. ამ მიზნით ნიმუშებს ახურებენ ან აცივებენ საჭირო ტემპერატურამდე და სწრაფად გადააქვთ გამოსაცდელ ურნალზე.

დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდით მასალის მთელ რიგ ძვირფას თვისებებს ადგენენ: უნარს გაუძლოს დარტყმით დატვირთვებს, მიდრეკილებას მყიფე რღვევისადმი, მგრძობიარობას ნასერებისადმი. საიმედო მუშაობისათვის აუცილებელია, რომ ცივტეხადობის ტემპერატურული ზღურბლი მასალის საექსპლუატაციო ტემპერატურაზე ქვემოთ მდებარეობდეს. რაც უფრო დაბალია ცივტეხადობის ზღურბლი, მით უფრო მცირეა ნაკეთობის მყიფე რღვევის ალბათობა.

თუმცა, ცივტეხადობის ზღურბლს ზევითაც შეიძლება მასალამ მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილება გამოამჟღავნოს. ეს, უპირველეს ყოვლისა, მაღალმტკიცე მასალებისთვის არის დამახასიათებელი, რომლებიც შემცირებული პლასტიკურობით ხასიათდება. ასეთი მასალების უცაბედად ნგრევის ასაცილებლად აუცილებელია ბზარმდეგობის გათვალისწინება, ანუ უნარი, დამუხრუჭდეს ბზარის განვითარება.

მაღალმტკიცე მასალებისათვის საფრთხეს არა ნებისმიერი, არამედ მხოლოდ რაღაც k_c კრიტიკული ზომის ბზარები წარმოადგენს, რომლებსაც თავისთავად ზრდის უნარი გააჩნია. მაღალმტკიცე მასალის ბზარმდეგობის განსაზღვრისათვის ნასერის მქონე სპეციალურ მასიურ ნიმუშს, რომელსაც წინასწარ აქვს ბზარი ჩასახული (სურ. №78), ნგრევის სიბლანტეზე ცდიან. გამოცდას აწარმოებენ ხისტი დატვირთვის პირობებში, როდესაც მასალის შესაძლებლობა პლასტიკური დეფორმაციისა-



სურ. №78. ნგრევის სიბლანტეზე გამოსაცდელი ნიმუშის სქემა.

დმი მინიმალურია (ნიმუშის ნგრევა მოწყვეტით მიმდინარეობს და ნგრევის სიბრტყე მოქმედი ძალის პერპენდიკულარულია).

გამოცდის მიზანია დატვირთვისა და ბზარის იმ სიგრძის განსაზღვრა, რომლის დროსაც ბზარის გავრცელება თავისთავად მიმდინარეობს. გამოცდის შედეგების მიხედვით ნგრევის სიბლანტეს განსაზღვრავენ, რომელიც ბზარის

წვეროსთან ძაბვების ინტენსიურობის კოეფიციენტით (K_{Ic}) ხასიათდება. K_{Ic} კოეფიციენტი მიუთითებს, რა მნიშვნელობას (ინტენსივობას) აღწევს ძაბვა ბზარის წვეროში ნიმუშის რღვევის მომენტში. იგი აკავშირებს მოდებული σ ძაბვას ბზარის კრიტიკულ l_k სიგრძესთან:

$$K_{Ic} = \sigma \sqrt{\alpha l_k}$$

სადაც α არის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც ბზარის გეომეტრიას ახასიათებს.

როგორც წარმოდგენილი თანაფარდობიდან გამომდინარეობს, K_{Ic} სიდიდის განზომილებაა მგპა·მ^{1/2}.

K_{Ic} სიდიდის მნიშვნელობა ბზარის წვეროში პლასტიკური დეფორმაციის განვითარებაზეა დამოკიდებული და ბლანტი ბზარის განვითარებისადმი წინააღმდეგობას ახასიათებს. მას ნგრევის სიბლანტეს უწოდებენ. რაც უფრო მეტია K_{Ic} მნიშვნელობა, მით უფრო მეტია მასალის წინააღმდეგობა ბლანტი რღვევისადმი.

K_{Ic} კოეფიციენტის პრაქტიკული მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი ცოდნით შესაძლებელია განისაზღვროს ნგრევის ძაბვა σ დეფექტის ზომაზე დამოკიდებულებით ან პირიქით, დეტალში მოსალოდნელი ძაბვის მნიშვნელობით დადგინდეს ბზარის ზომა, რომელიც ლითონის რღვევას გამოიწვევს

3. სისაღის კონტროლი

სიმტკიცის მახასიათებლების შესაფასებლად სარგებლობენ, აგრეთვე, სისაღის განსაზღვრის მეთოდებით, რომელიც არ მოითხოვს ნაკეთობის მთლიანობის დარღვევას.

სისაღე არის მასალის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს პლასტიკურ ან დრეკად დეფორმაციას, მასში გარეშე, უფრო სალი სხეულის შეჭრის შემთხვევაში. ამჟამად სისაღე მიღებულია, როგორც მექანიკური თვისებების ერთ-ერთი ძირითა-

დი მაჩვენებელი, რადგან მისი გაზომვა მეტად მარტივი და ადვილად განსახორციელებელია.

სისალის გაზომვის რამდენიმე მეთოდი არსებობს, რომელთაგან ყველაზე ფართო პრაქტიკული გამოყენება ჩაწნეხის მეთოდმა პოვა. ამ შემთხვევაში სისალეს განსაზღვრავენ მცირედ დეფორმირებადი მასალისაგან (ნაწრობი ფოლადი, ალმასი, სალი შენადნობები), დამზადებული ბურთულას, კონუსის ან პირამიდის ჩაწნეხით გამოსაკვლევ ლითონში. ბუნიკის ქვეშ და მის უშუალო მახლობლობაში გამოსაცდელი ლითონის ზედაპირული ფენები პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდის, რის გამოც დატვირთვის მოხსნის შემდეგ ნიმუშზე ანაბეჭდი მიიღება. რადგან დეფორმირება მცირე მოცულობაში ხდება, ამიტომ ამ მეთოდით შეიძლება გამოიცადოს არა მარტო პლასტიკური ლითონები, არამედ ისეთი მასალებიც, რომლებიც ჩვეულებრივი მექანიკური გამოცდების ჩატარების დროს დიდ სიმყიფეს ამჟღავნებენ.

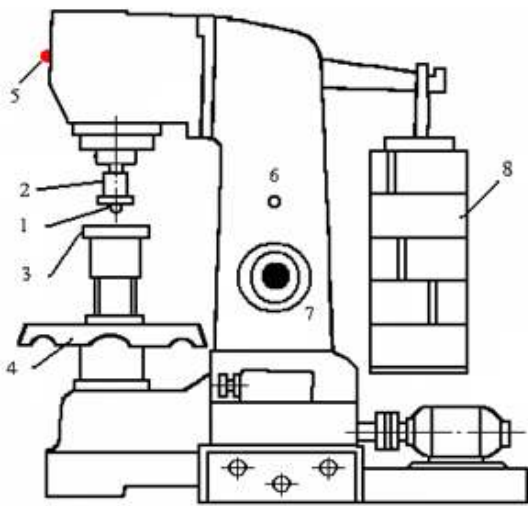
მექანიკური თვისებების შესწავლის სხვა ხერხებთან შედარებით, სისალის განსაზღვრის მეთოდი შემდეგი უპირატესობებით ხასიათდება:

1. გაზომვის ჩატარება ტექნიკურად უფრო მარტივი განსახორციელებელია;
2. პლასტიკური მასალების სისალესა და სხვა მექანიკურ თვისებებს (ძირითადად, სიმტკიცის ზღვარს) შორის არსებული რაოდენობრივი კავშირი საშუალებას იძლევა, ემპირიულ ფორმულებზე დაყრდნობით, ლითონის სხვა მექანიკურ მახასიათებლებზეც ვიმსჯელოთ;
3. სისალის განსაზღვრისას ნაკეთობის მთლიანობა არ ირღვევა, რაც გამოცდის შემდეგ მისი დანიშნულებისამებრ გამოყენების საშუალებას იძლევა;
4. სისალის განსაზღვრა შესაძლებელია მცირე სისქის ნაკეთობებზეც, თხელ ფენებსა და მიკრომოცულობებში.

ინდიკატორზე მოქმედი P დატვირთვის მიხედვით, ასხვავებენ მაკროსისალეს ($P \geq 5$ კგ) და მიკროსისალეს ($P \leq 500$ გ).

*სისალის განსაზღვრა ბურთულის ჩაწნეხის მეთოდით
(ბრინელის ხერხი)*

ბრინელის ხერხით სისალის განსაზღვრის დროს გამოსაცდელ ნიმუშში რაღაც P ძალის ზემოქმედებით, გარკვეული დიამეტრის ფოლადის ნაწრობი ბურთულა ჩაიწნეხება. ამ მიზნით გამოიყენება ავტომატური ბერკეტული სისტემის წნეხი, რომლის საერთო ხედი №79 სურათზეა წარმოდგენილი. ბუნიკი, რომელშიც ჩამაგრებულია ფოლადის ნაწრობი ბურთულა (1), ხრახნის საშუალებით შპინდელში (2)



სურ. №79. ბრინელის წნეხის სქემა.
 1. ფოლადის ნაწრთობი ბურთულა,
 2. შპინდელი, 3. საგნის მაგიდა,
 4. სახელური, 5. სასიგნალო ნათურა,
 6. ძრავის ჩასართავი დილაკი, 7. რელე,
 8. სასწორი.

მაგრდება, ხოლო გამოსაცდელი ნიმუში საგნის მაგიდაზე (3) თავსდება. სახელურის (4) საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას მაგიდა ზემოთ გადაადგილდება და ნიმუში გამოსაცდელი ზედაპირით ბურთულას მიეხვება. ამით ნიმუშს წინასწარი დატვირთვა გადაეცემა, რის შესახებაც სიგნალს წითელი ნათურა (5) იძლევა. წინასწარი დატვირთვის სიდიდე 100 კგ-ს შეადგენს. დილაკზე (6) თითის დატყერით ჩაირთვება ძრავი, რის შედეგადაც ბურთულაზე დატვირთვა გაიზრდება და იგი გარკვეული დროის განმავლობაში ლითონში ჩაიწნება. შემდეგ დატვირთვა

მოიხსნება და ხელსაწყო ავტომატურად გამოირთვება. დატვირთვის ხანგრძლივობა გამოსაცდელი მასალის სისაღეზე დამოკიდებულებით 10-60 წამს შეადგენს და მისი რეგულირება ძრავის რელეს (7) საშუალებით ხდება. ნიმუშის გასანთავისუფლებლად საჭიროა სახელურის უკუშემობრუნება. დატვირთვის სიდიდე საწონების (8) საშუალებით შეიძლება შეიცვალოს.

ბურთულას ჩაწნების შედეგად, ნიმუშის გამოსაცდელ ზედაპირზე ანაბეჭდი მიიღება. სისაღის მნიშვნელობა გამოითვლება მოქმედი P ძალის შეფარდებით ანაბეჭდის F ფართობთან და HB ასოებით აღინიშნება:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

- სადაც P არის დატვირთვის სიდიდე, კგ;
- F – ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობი, მმ²;
- D – ბურთულის დიამეტრი, მმ;
- d – ანაბეჭდის დიამეტრი, მმ.

ბურთულის დიამეტრისა და დატვირთვის შერჩევა. ბრინელის ხერხით სისაღის გასაზომად, ბურთულის დიამეტრი (D=10; 5; 2,5 მმ) მასალის სისქის მიხედვით შეირჩევა. როგორც (1) ფორმულიდან გამომდინარეობს, სხვა თანაბარ პირობებში სისაღეს ანაბეჭდის დიამეტრი განსაზღვრავს. ცხადია, ანაბეჭდის დიამეტრი რაც უფრო დიდი მიიღება, სისაღე მით უფრო მცირე იქნება, მაგრამ დატვირთვის სი-

დიდესა და ანაბეჭდის დიამეტრს შორის მუდმივი თანაფარდობა, რაც სისალის ზუსტი განსაზღვრისათვის არის აუცილებელი, მხოლოდ გამოცდის გარკვეული პირობების დაცვის შემთხვევაში მიიღება. ცხადია, ეს თანაფარდობა სხვადასხვა სისალის მასალისათვის სხვადასხვა იქნება.

გამოსაცდელი მასალის თვისებებიდან გამომდინარე, დატვირთვის სიდიდე შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$P=KD^2 \quad (2)$$

სადაც K არის გამოსაცდელი მასალის მუდმივა და იგი 30, 10 ან 2,5-ის ტოლი აიღება;

D - ბურთულას დიამეტრი, მმ.

ბურთულას დიამეტრი და დატვირთვის სიდიდე, გამოსაცდელი მასალის თვისებებისა და სისქის გათვალისწინებით, №6 ცხრილიდან აიღება. როგორც ცხრილიდან ჩანს, სხვადასხვა დიამეტრის ბურთულის გამოყენებისას შესაბამისი დატვირთვა შეირჩევა. მაგალითად, თუ გამოცდის პირობებია HB 10(3000)30, ეს იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ შემთხვევაში სისალე განისაზღვრებოდა 10მმ დიამეტრის ბურთულით, დატვირთვის სიდიდე შეადგენდა 3000კგ, ხოლო დაყოვნების დრო – 30 წამს. დატვირთვის მაქსიმალური ცდომილება არ აღემატება 1%.

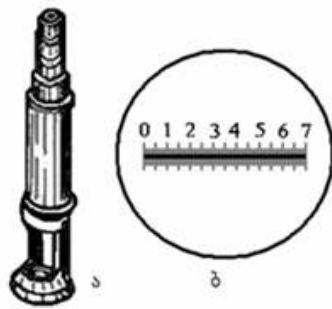
მკვეთრი ანაბეჭდის მისაღებად ნიმუშის ზედაპირი უნდა იყოს სწორი, გლუვი და სუფთა. ამ მიზნით იგი აბრაზიული მასალით ან ქლიბით მუშავდება.

ანაბეჭდის დიამეტრისა და სისალის განსაზღვრის მეთოდოლოგია. ანაბეჭდის დიამეტრი იზომება ლუპით (სურ. №80, ა) ან მიკროსკოპით ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით და გამოითვლება მისი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა. ლუპას აქვს სახაზავი (სურ. №80, ბ), რომლის დანაყოფის ფასი 0,1მმ-ს შეადგენს.

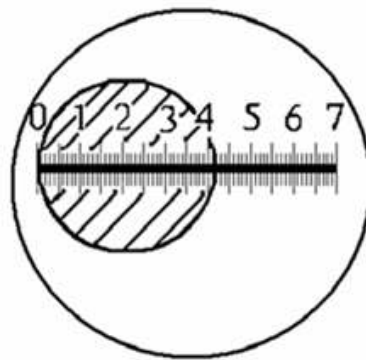
ანაბეჭდის დიამეტრის გასაზომად ლუპას ქვედა საყრდენით ნაკეთობის (ნიმუშის) გამოსაცდელ ზედაპირზე ათავსებენ და ისე გადაადგილებენ, რომ სკალის საწყისი დანაყოფი ანაბეჭდის გარშემოწერილობის ერთ-ერთ წერტილს შეუთავსდეს (სურ. №81), შემდეგ ითვლიან დანაყოფების რიცხვს, რომელზეც დიამეტრი ვრცელდება. მაგალითად, 81 სურათზე ნახვენები ანაბეჭდის დიამეტრი 4,2მმ-ის ტოლია. ლუპას ან ნიმუშს შემოაბრუნებენ 90°-ით და გაზომვას იმეორებენ. სისალის განსაზღვრა შესაძლებელია როგორც (1) ფორმულის გამოყენებით, ისე შესაბამისი სტანდარტული ცხრილებიდან, სადაც სისალე მოცემულია დატვირთვის სიდიდეზე და ანაბეჭდის დიამეტრზე დამოკიდებულებით. მაგალითად, თუ გამოცდა ჩატარებუ-

ბურთულის დიამეტრისა და დატვირთვის შესარჩევი ცხრილი

გამოსაცდელი მასალა	სისალის დიაპაზონი ბრინელის ერთეულებში	გამოსაცდელი მასალის მინიმალური სისქე, მმ	თანაფარდობა $P=KD^2$	ბურთულის დიამეტრი D, მმ	დატვირთვა P, კგ	დაყოვნების ხანგრძლივობა, წამი
შავი ლითონები	140-450	6-დან 3-მდე 4-დან 2 მდე 2-ზე ნაკლები	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
	<140	6-ზე მეტი 6-დან 3-მდე	$P=10D^2$	10,0 5,0	1000 250	10
ფერადი ლითონები	>30	6-დან 3-მდე 4-დან 2 მდე 2-ზე ნაკლები	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
	35-130	9-დან 3-მდე 6-დან 3-მდე	$P=10D^2$	10,0 5,0	1000 250	30
	8-35	6-ზე მეტი	$P=2,5D^2$	10,0	250	60



სურ. №80. ანაბეჭდის დიამეტრის განსაზომი ლუპა.
ა - საერთო ხედი, ბ - ლუპის სკალა.



სურ. №81. ანაბეჭდის დიამეტრის ათვლა ლუპის გამოყენებით.

ლია $D=10$ მმ ბურთულით, დატვირთვის სიდიდე შეადგენდა 3000კგ-ს, ხოლო დაყოვნების დრო - 10 წამს (გამოცდის პირობა HB 10(3000)10), 81 სურათის შესაბამისად სისალე 207HB-ს ტოლი იქნება. თუ გამოცდები ჩატარებულია $D=5$ მმ ან $D=2,5$ მმ ბურთულით, იგივე ცხრილით სისალის განსაზღვრისთვის საჭიროა ანაბეჭდის დიამეტრის მნიშვნელობა გამრავლდეს შესაბამისად 2-ზე ან 4-ზე.

მასალის სისალის სწორი დახასიათებისთვის გაზომვების სერია კიდევ ორჯერ მაინც უნდა განმეორდეს. განმეორებითი გაზომვების დროს მომდევნო ანაბეჭდის ცენტრი მეზობელი ანაბეჭდისგან და ნიმუშის კიდეებიდან დაცილებული უნდა იყოს, გამოყენებული ბურთულის არანაკლებ ორი დიამეტრისა. კერძო მონაცემების საფუძველზე გამოითვლება სისალის საშუალო მნიშვნელობა.

ხელსაწყოს შემოწმება. გაზომვების მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად მიზანშეწონილია, სერიული გაზომვების დაწყებამდე, შემოწმდეს ხელსაწყოს სიზუსტე, რაც სტანდარტული ფილების გამოყენებით ხდება. ფილების სისაღე წინასწარ არის ცნობილი (მითითებულია მის გვერდით ზედაპირზე). თუ ხელსაწყოს სიზუსტე არ არის დარღვეული, სტანდარტული ფილის სისაღის გაზომვის შედეგები უნდა თავსდებოდეს ფილაზე მითითებული სისაღის ზღვრებში. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა შესწორების სიდიდის განსაზღვრა და მისი გათვალისწინება სერიული გაზომვების შედეგებში.

*სისაღის განსაზღვრა კონუსის ან ბურთულის ჩაწნების მეთოდით
(როკველის ხერხი)*

როკველის ხერხით სისაღის განსაზღვრა გამოსაცდელ ნიმუშში აღმასის კონუსის ან ფოლადის ნაწრთობი ბურთულის ჩაწნებით ხდება. აღმასის კონუსის წვეროსთან მდებარე კუთხე 120°-ს შეადგენს, ხოლო ბურთულას დიამეტრი – 1,588მმ. განსახილველი მეთოდი ბრინელის მეთოდისგან პრინციპულად იმით განსხვავდება, რომ სისაღე ბუნიკის ჩაწნების სიღრმის მიხედვით განისაზღვრება.

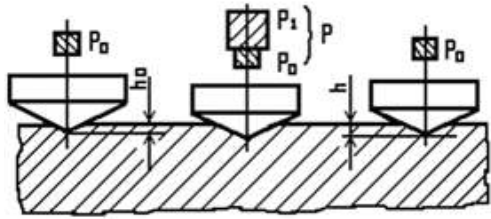
აღმასის კონუსი ან ფოლადის ბურთულა ნიმუშში თანმიმდევრულად, წინასწარი P_0 და ძირითადი P_1 დატვირთვების ზემოქმედებით იწნეება (სურ. №82). სრული დატვირთვა

$$P=P_0+P_1$$

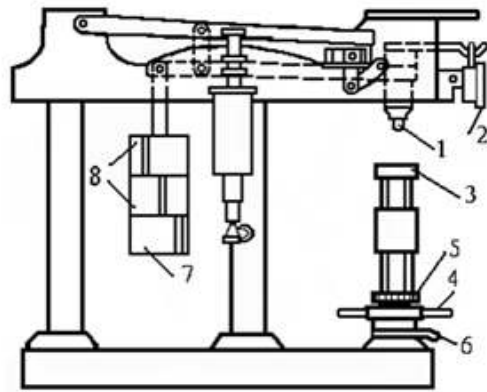
წინასწარი დატვირთვის სიდიდე ყველა შემთხვევაში 10კგ-ის ტოლია.

როკველის ხერხით სისაღე TK-2 ტიპის ხელსაწყოზე განისაზღვრება, რომლის სქემა №83 სურათზეა მოცემული. გამოსაცდელი ბუნიკი (1) ხრახნის საშუალებით შპინდელში მაგრდება. ინდიკატორის ციფერბლატზე (2) გათვალისწინებულია ორი სკალა - შავი C და წითელი B (სურ. №84). ანათვალის აღება დიდი ისრის (1) მიხედვით ხდება.

საგნის მაგიდაზე (3, სურ №83) მოთავსებული ნიმუში სახელურის (4) საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას ზევით გადაადგილდება და გამოსაცდელ ბუნიკს მიეხრება. სახელურის შემდგომი შემობრუნებით ბუნიკი იწყებს ნიმუშში შეჭრას და როდესაც პატარა ისარი (2, სურ. №84 ა) წითელ წერტილს (3) შეუთავსდება, წინასწარი დატვირთვის სიდიდე 10 კგ-ს შესაბამისი იქნება. ასეთ მდგომარეობაში დიდი ისარი C სკალის ნულოვანი დანაყოფის მახლობლობაში გაჩერდება (დასაშვებია ± 5 დანაყოფით აცდენა, სურ. 84, ბ). ინდიკატორის სკალის ნუ-



სურ. №82. ალუმინის კონუსის ჩაწნეხით სისაღის განსაზღვრის სქემა

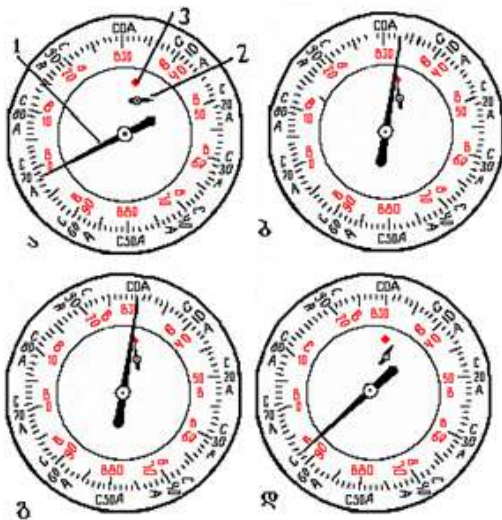


სურ. №83. TK-2 ხელსაწყო სქემა

- 1-გამოსაცდელი ბუნიკი; 2-ინდიკატორი;
- 3-საგნის მაგიდა; 4-სახელური; 5-დოლი;
- 6-კლავიში; 7-მუდმივი ტვირთი;
- 8-მოსახსნელი ტვირთი

ლოვანი დანაყოფის ისართან ზუსტად გასწორება (სურ. №84, გ) დოლის (5, სურ. №83) შემობრუნებით ხდება. კლავიშზე (6, სურ. №83) ხელის დაჭერით დატვირთვის ნორმალური ციკლი იწყება, რომელიც 4 წამს გრძელდება. ციკლის დამთავრების შემდეგ ძირითადი დატვირთვა ავტომატურად იხსნება. ინდიკატორის სკალაზე დიდი ისრის საბოლოო მდგომარეობა უჩვენებს სისაღეს როკელის ერთეულებში (სურ. №84, დ).

ალუმინის კონუსით გამოცდისას ანათვალი შავი (C) სკალიდან აიღება, ხოლო ბურთულით გამოცდის შემთხვევაში – წითელი (B) სკალიდან.



სურ. №84. TK-2 ხელსაწყო ინდიკატორის ციფერბლატზე ისრების თანმიმდევრული გადაადგილების სქემა.

დატვირთვისა და გამოსაცდელი ბუნიკის შერჩევა. დატვირთვა და ბუნიკი გამოსაცდელი ლითონის სისაღის მიხედვით შერჩევა. მუდმივი ტვირთი (7, სურ. №83) 50კგ დატვირთვას უზრუნველყოფს. მოსახსნელი ტვირთების (8) რეგულირებით შესაძლებელია დატვირთვის სიდიდე 100 ან 150 კგ-მდე გაიზარდოს.

ალუმინის კონუსით სისაღის განსაზღვრის დროს საერთო დატვირთვა 150 ან 60 კგ-ს უნდა შეადგენდეს. პირველ შემთხვევაში სისაღის მნიშვნელობა დიდი ისრით ნაჩვენები დანაყოფის მიხედვით ციფერბლატის C სკალიდან აიღება და HRC-თი აღინიშნება. მაგალითად, №84 დ სურათზე სისაღე შეესაბამება 62 HRC-ს.

ამ მეთოდით განისაზღვრება ნაწრთობი და დაბალმოშვებული ფოლადების

სისალე. რეკომენდებულია, აგრეთვე, საშუალო სისალის (230 HB და მეტი) მასალების გამოცდაც, რადგან პროცესი სწრაფად ხორციელდება და ბრინელის მეთოდთან შედარებით ნაკეთობაზე უმნიშვნელო კვალი რჩება. შესაძლებელია თხელი ზედაპირული ფენების, მაგალითად, ცემენტირებული შრის სისალის განსაზღვრა, ამასთანავე, ფენის სისქე 0,5 მმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

60 კგ დატვირთვით გამოიცდება მეტად სალი მასალები, მაგალითად, სალი შენადნობები (HRC>70), აგრეთვე, 0,3-0,5მმ სისქის შრეები. სისალის მნიშვნელობა იგივე სკალიდან აიღება და HRA ასოებით აღინიშნება. HRC და HRA სიდიდეებს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$HRC=2HRA-104.$$

ფოლადის ბურთულით გამოცდის დროს საერთო დატვირთვა 100კგ-ს შეადგენს. სისალის მნიშვნელობა დიდი ისრით ნაჩვენები დანაყოფის მიხედვით ციფერბლატის B სკალიდან აიღება და HRB ასოებით აღინიშნება. ამ მეთოდით გამოიცდება რბილი ფოლადი და მომწვარი ფერადი ლითონები, რომელთა სისქე 0,8-2მმ ზღვრებში იცვლება. როკველის ხერხით გამოცდის პირობები №7 ცხრილშია წარმოდგენილი.

ცხრილი №7

როკველის მეთოდით სისალეზე გამოცდის პირობები

როკველის სკალით სისალის განსაზღვრის დასაშვები ზღვრები	სკალის აღნიშვნა	ბუნიკის ტიპი	საერთო დატვირთვა, კგ	სისალის აღნიშვნა როკველის ერთეულებში
25-100	B	ფოლადის ბურთულა	100	HRB
20-67	C	ალმასის კონუსი	150	HRC
70-90	A	ალმასის კონუსი	60	HRA

გაზომვებში ცდომილების მინიმუმამდე შესამცირებლად, კონუსის ცენტრი ნიმუშის წიბოდან მოცილებული უნდა იყოს არანაკლები 1,5მმ-ისა. ბურთულას გამოყენების შემთხვევაში ეს მანძილი 4 მმ-მდე იზრდება. იგივე პირობების დაცვაა საჭირო ორი მეზობელი ანაბეჭდის ცენტრებს შორის. ნიმუშის როგორც გამოსაცდელი, ისე საყრდენი ზედაპირები უნდა იყოს სუფთა, სწორი, გლუვი და ურთიერთპარალელური.

ხელსაწყოს შემოწმება სიზუსტეზე სტანდარტული ფილების გამოყენებით

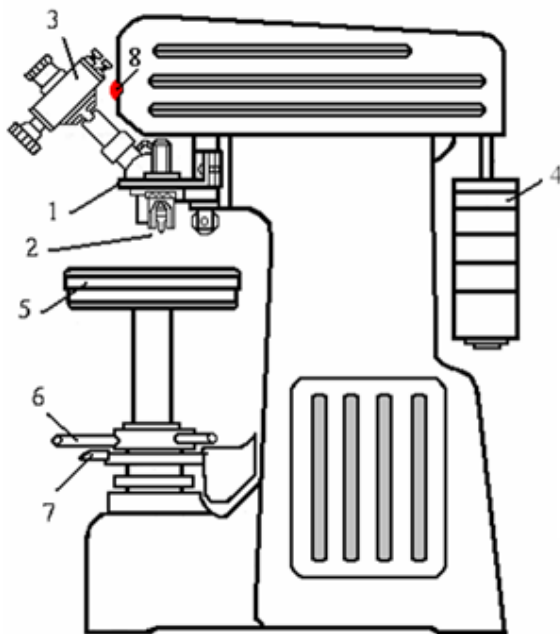
ხდება იგივე მეთოდით, როგორც ეს „სისალის განსაზღვრა ბურთულის ჩაწნების მეთოდით (ბრინელის ხერხით)“ მე-7 თავში იყო განხილული.

გამოსაკვლევ ნიმუშზე განმეორებითი გაზომვების რიცხვი სამზე ნაკლები არ უნდა იყოს. მიღებული მონაცემების საფუძველზე სისალის საშუალო მნიშვნელობა გამოითვლება.

*სისალის განსაზღვრა ალმასის პირამიდის ჩაწნებით
(ვიკერსის ხერხი)*

ვიკერსის ხერხით სისალის განსაზღვრა გამოსაკვლევ ნიმუშში ოთხჯახნაგა ალმასის პირამიდის ჩაწნებით ხდება, რომლის წვეროსთან მდებარე კუთხე 136⁰-ს შეადგენს. ამ მეთოდით სისალის გამოცდის დროს სხვადასხვა დატვირთვით მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალებს შორის ფარდობა მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს, რაც დატვირთვის ფართო ზღვრებში შეცვლის შესაძლებლობას იძლევა.

№85 სურათზე ნაჩვენებია ვიკერსის ხელსაწყოს სქემა. მის ძირითად ნაწილს შემოსაბრუნებელი თავურა (1) წარმოადგენს, რომელშიც ჩამაგრებულია სამართული ალმასის პირამიდით (2). სამართული ლითონის გარსაცმითაა დაცული. ანაბეჭდის დიამეტრი თავურაზე დამაგრებული მიკროსკოპით (3) იზომება.



სურ. №85. ვიკერსის ხელსაწყოს სქემა:
1-შემოსაბრუნებელი თავურა,
2-ალმასის პირამიდა,
3-მიკროსკოპი,
4-ტვირთი,
5-საგნის მაგიდა,
6-მქნევარა,
7-გამშვები მექანიზმის კლავიში,
8-ნათურა.

დატვირთვის შერჩევა. დატვირთვის სიდიდე გამოსაკვლევი შრის სისქის მიხედვით შეირჩევა. ზოგადად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გამოცდის შედეგად მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე, უკიდურეს შემთხვევაში, 1,5-ჯერ ნაკლები უნდა იყოს შრის სისქეზე. ცხადია, რაც უფრო მცირეა გამოსაცდელი შრის სისქე, დატ

ვირთვა მით უფრო ნაკლები აიღება.

თუ გამოსაცდელი შრის სისქე (ცემენტირებული, კონდენსირებული და ა.შ) წინასწარ არ არის ცნობილი, რეკომენდებულია გაზომვები თავდაპირველად სხვადასხვა დატვირთვით (მაგალითად, 10; 20 და 30 კგ) ჩატარდეს. თუ მასალის ძირითადი მასა გაზომვის შედეგებზე გაეყენას არ ახდენს, სისალის მნიშვნელობები თითქმის ერთნაირი მიიღება. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა დატვირთვის შემცირება დაახლოებით ერთნაირი მნიშვნელობების მიღებამდე.

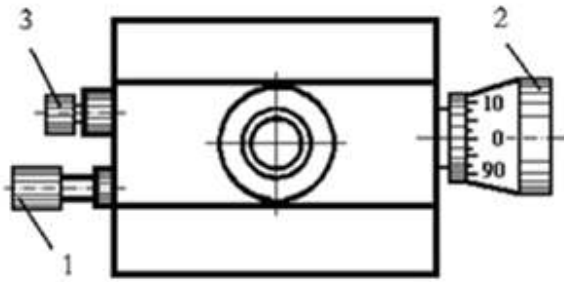
ვიკერსის მეთოდით გამოცდისას შემდეგი ტვირთები გამოიყენება: 5, 10, 20, 30, 50, 100 და 120კგ. შერჩეული ტვირთი (4, სურ. №85) სათანადო დეროზე იკიდება.

ანაბეჭდის მიღება. სწორი და მკაფიო ანაბეჭდის მისაღებად სისალეზე გამოსაცდელი ზედაპირი უნდა იყოს სწორი, გლუვი და სუფთა. ამ მიზნით ნიმუში აბრაზიული ქვით ან ზუმფარის ქაღალდით მუშავდება.

სათანადო სახელურის ქვედა კიდურა მდგომარეობამდე დაწვეით, საკიდზე მოთავსებული ტვირთი მალლა აიწვეს და ხელსაწყო მუშა მდგომარეობაში ჩადგება. შემოსაბრუნებელი თავურა (1, სურ. 85) მარცხენა კიდურა მდგომარეობაში დგება. გამოსაცდელი ნიმუში საგნის მაგიდაზე (5) თავსდება. მქნევარას (6) საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას მაგიდა ზემოთ გადაადგილდება და ნიმუში გარსაცმს მიეჭრება. გამშვები მექანიზმის კლავიშზე (7) ხელის დაჭერით იწყება დატვირთვის ციკლი, რომლის ხანგრძლივობის რეგისტრაციას ნათურა (8) ახდენს.

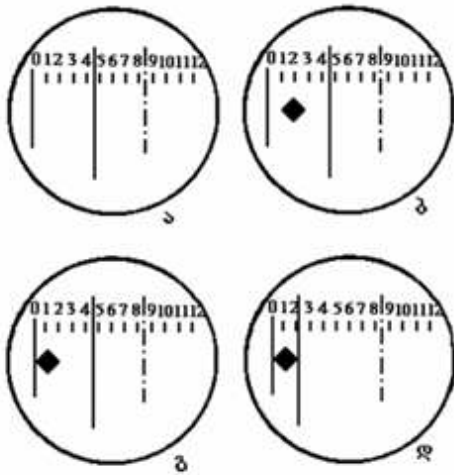
ციკლის დამთავრების შემდეგ მაგიდას ქვემოთ დასწევინ და თავურას საწინააღმდეგო მიმართულებით შემობრუნებით მიკროსკოპის ოპტიკურ დერძს ანაბეჭდის ცენტრს შეუთავსებენ. მაგიდის ვერტიკალურ სიბრტყეში გადაადგილებით ანაბეჭდი ფოკუსში მოჰყავთ და მისი დიაგონალის სიგრძეს ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით ზომავენ.

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გაზომვა. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გასაზომად მიკროსკოპი ადჭურვილია მიკრომეტრული ოკულარით (სურ. №86). ოკულარს აქვს დანაყოფებიანი სკალა, ორი ძირითადი და ერთი დამატებითი (პუნქტირიანი) შტრიხებით (სურ. №87 ა). გაზომვის წინ ძირითადი შტრიხები ანაბეჭდის დიაგონალთან შედარებით უფრო დიდ მანძილზე უნდა იყოს გაწეული (ბ). ოკულარის ხრახნის (1, სურ. №86) შემობრუნებით ანაბეჭდის დიაგონალის მარცხენა წერტილს მარცხენა ძირითად შტრიხს უთავსებენ (გ, სურ. №86), ხოლო მარჯვენა შტრიხს – მიკრომეტრული ხრახნის (2, სურ. №87) შემობრუნებით - დიაგონალის



სურ. №86. ვიკერსის ხელსაწყოების მიკროსკოპის მიკრომეტრული ხრახნი.

- 1-მარცხენა ძირითადი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი;
- 2-მარჯვენა ძირითადი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი ლიმბით;
- 3-დამატებითი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი.



სურ. №87. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრის სქემა

ბოლო წერტილს (დ, სურ. №87).

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე აიღება ოკულარის სკალასა და მიკრომეტრულ ხრახნზე დანაყოფების რიცხვით. 10^x გამადიდებლობის ობიექტივის გამოყენებისას სკალის ერთი დანაყოფი შეესაბამება 100 მიკრომეტრს (0,1მმ), ხოლო მარჯვენა მიკრომეტრული ხრახნის ლიმბაზე – ერთ მიკრონს (0,001მმ). მაგალითად, თუ მარჯვენა ძირითადი შტრიხი სკალის (2) და (3) დანაყოფებს შორის მდებარეობს (სურ. №87 დ), ხოლო ლიმბაზე დანაყოფების რიცხვი 15-ს შეადგენს,

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე 0,215მმ-ის ტოლი იქნება.

ვიკერსის ხერხით გაზომილი სისაღე HV ასოებით აღინიშნება (ინდექსად ხშირად დატვირთვის სიდიდის აღმნიშვნელი რიცხვი იწერება). სისაღე განისაზღვრება, როგორც ანაბეჭდის ერთეულზე მოსული დატვირთვა:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ კგ/მმ}^2$$

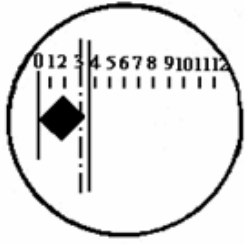
სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

α - პირამიდის მოპირდაპირე წახნაგებს შორის კუთხე, 136° ;

d – ანაბეჭდის ორი დიაგონალის სიგრძის საშუალო არითმეტიკული, მმ.

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძით სისაღის განსაზღვრისათვის შეიძლება სპეციალური ცხრილების გამოყენებაც.

მიკრომეტრული ოკულარის დამატებითი შტრიხი სერიული გამოცდების დროს გამოიყენება. დაუშვათ, დეტალების გარკვეული სერიისთვის დასაშვები სისაღე 300-დან 350 HV-მდე ინტერვალში მდებარეობს, რასაც 10 კგ დატვირთვის დროს 240-230 მიკრომეტრი დიამეტრის ანაბეჭდი შეესაბამება. მარჯვენა ძირითად



სურ. №88. ანაბეჭდის დიამეტრის განსაზღვრა დამატებითი შტრიხის გამოყენებით.

და დამატებით შტრიხებს დიაგონალის დასაშვები ზღვრების შესაბამისად აყენებენ (სურ. №88) და ამოწმებენ, თავსდება თუ არა მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალი ამ ზღვრებში.

ამა თუ იმ ხერხით გაზომილი სისაღების ურთიერთშედარებისათვის სთანადო გადამყვანი ცხრილით სარგებლობენ, სადაც სხვადასხვა მეთოდით გაზომილი სისაღის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულებაა მოცემული.

ხელსაწყოს შემოწმება. სიზუსტეზე ხელსაწყოს შემოწმება საკონტროლო სტანდარტული ფილების საშუალებით ხდება. ხელსაწყოს ჩვენება ფილაზე მითითებული სისაღის ზღვრებში უნდა მოთავსდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გაზომვის შედეგებში საჭიროა სათანადო შესწორების შეტანა.

მიკროსისაღის კონტროლი

მიკროსისაღის განსაზღვრა მასაღის ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ერთ-ერთი ძირითადი მეთოდია.

მაკროსისაღის განსაზღვრის დროს დეფორმირებული შრის მოცულობა ბევრად აღემატება ლითონის მარცვლების მოცულობას, ამიტომ, კონტროლის ამ მეთოდებით, ფაქტიურად, ლითონის „გასაშუალოებული“ სისაღის მნიშვნელობები აიღება. ლითონებისა და შენადნობების მრავალი თავისებურების გამომჟღავნებისათვის აუცილებელია არა მარტო „გასაშუალოებული“, არამედ სტრუქტურის ცალკეული ფაზებისა და სტრუქტურული შემდგენების სისაღის ცოდნაც. ამ ამოცანის გადაწყვეტა მიკროსისაღის გაზომვის მეთოდის გამოყენებით ხდება.

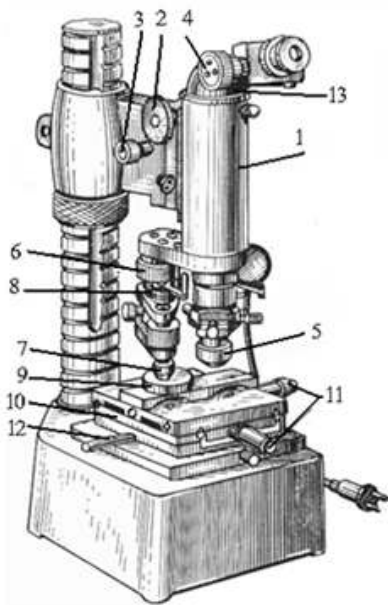
მიკროსისაღის განსაზღვრის დროს ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე იმდენად მცირე მიიღება, რომ შესაძლებელია ცალკეული მარცვლის სისაღის განსაზღვრა. აღნიშნული მეთოდი გამოიყენება, აგრეთვე, მეტად წვრილი ნაკეთობის ხარისხის შესამოწმებლად (მაგალითად, მაჯის საათის დეტალები), თხელი ნახევარფაბრიკატების (ლენტი, კილიტა, მავთული), გალვანური ფირების, ორთქლის ფაზიდან კონდენსირებული მასალების, მყიფე არალითონური მასალების (აბრაზივი, მინერალი, მინა) სისაღის განსაზღვრისათვის.

მიკროსისაღე გამოსაცდელ ნაკეთობაში აღმასის პირამიდის ჩაწნეხით განისაზღვრება. №89 სურათზე მოცემულია მიკროსისაღეზე გამოსაცდელი ПМТ-3 ტი-

პის ხელსაწყოს საერთო ხედი. ხელსაწყოს შტატივზე დამაგრებულია მიკროსკოპი (1), რომლის გადაადგილება ვერტიკალურ სიბრტყეში მაკრომეტრული (2) და მიკრომეტრული (3) ხრახნების საშუალებით ხდება. ტუბუსის ზედა ნაწილში ჩასმულია ოკულარული მიკრომეტრი (4), ხოლო ქვედა ნაწილში – ობიექტივი (5). ტუბუსზე დამაგრებულია დასატვირთი მექანიზმი (6) ალმასის პირამიდით (7), რომლის მოპირდაპირე წახნაგებს შორის კუთხეა 136° .

ანაბეჭდის მისაღებად ხელსაწყო აღჭურვილია მრგვალი ფორმის ტვირთების კომპლექტით, რომელთა წონა 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 და 500 გრამს შეადგენს. ტვირთი (8) დასატვირთი მექანიზმის ჭოკზე თავსდება.

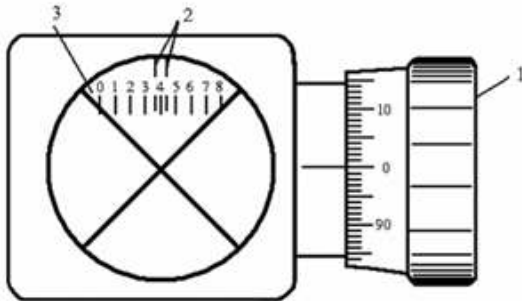
გამოსაცდელი ნიმუში (9) საგნის მაგიდაზე (10) სათანადო მიმჭერი თათებით ან პლასტილინით მაგრდება. ხრახნების (11) საშუალებით შესაძლებელია მაგიდის ზედა ნაწილის გადაადგილება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ურთიერთმართობი მიმართულებით, ხოლო სახელურით (12) - 180° -ით მაგიდის შემობრუნება ვერტიკალური ღერძის გარშემო. გამოსაკვლევი ნიმუშის ფოკუსირება მაკრო (2) და მიკრო-ხრახნების (3) საშუალებით ხდება. ნიმუში ილუმინატორში ჩაყენებული ნათურის საშუალებით ნათდება.



სურ. №89. ИИМТ-3 ტიპის ხელსაწყოს საერთო ხედი:
 1-მიკროსკოპი, 2-მაკრომეტრული ხრახნი, 3-მიკრომეტრული ხრახნი, 4-ოკულარული მიკრომეტრი, 5-ობიექტივი, 6-დასატვირთი მექანიზმი, 7-ალმასის პირამიდა, 8-ტვირთი, 9-ნიმუში, 10-საგნის მაგიდა, 11-მაგიდის გადასადგილებელი ხრახნები, 12-მაგიდის შემოსაბრუნებელი სახელური, 13-ოკულარის ჩამოსაცმელი კორპუსი.

თუ კვლევის მიზანს შენადნობის ცალკეული სტრუქტურული შემდგენების სისალის განსაზღვრა წარმოადგენს, საჭიროა მიკროხეხის წინასწარ მომზადება და რეაქტივით დამუშავება, მეტალოგრაფიაში ცნობილი მეთოდებით.

ანაბეჭდის მიღება. გაზომვების დაწყებამდე ოკულარ-მიკრომეტრის ლიბსს (1, სურ. №90) ნულთან დანაყოფზე ასწორებენ. ამ მდებარეობაში ოკულარ-მიკრომეტრის ორმაგი შტრიხი (2) უძრავი სკალის (3) მე-4 დანაყოფს შეუთავსდება, ხოლო დიაგონალების გადაკვეთის წერტილი მხედველობის არის ცენტრში აღმოჩნდება.

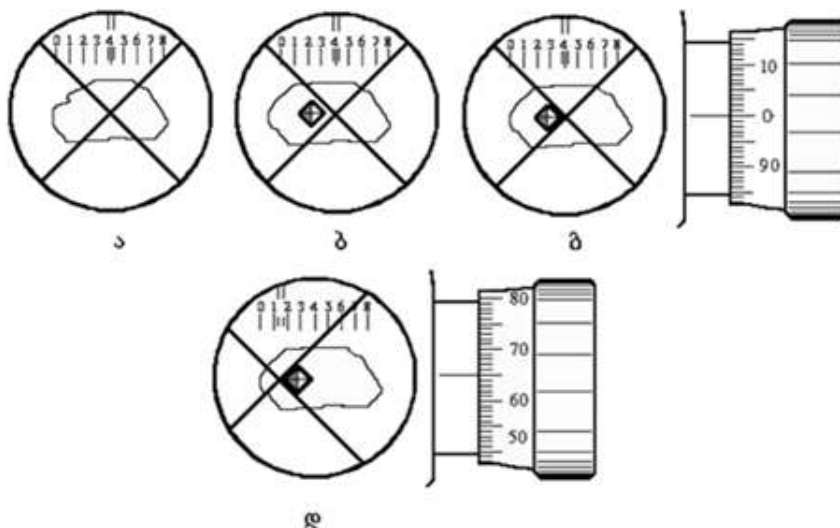


სურ. №90. ხრახნული ოკულარ-მიკრომეტრი. 1-ლიბსი, 2-ორმაგი შტრიხი, 3-უძრავი სკალა.

საგნის მაგიდაზე დამაგრებულ ნიმუშს ფოკუსში აყენებენ და კვლევისათვის საინტერესო მიკროუბანს (მაგალითად, ლითონის მარცვალს) მაგიდის გადაადგილებით ოკულარ-მიკრომეტრის დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს უთავსებენ (სურ. №91, ა). წინასწარ შერჩეული ტვირთი საკიდზე თავსდება. საგნის მაგიდის მარცხენა კიდურა მდგომარეობამდე (180⁰-ით)

შემობრუნებით სისხლის გამოსაცდელად შერჩეული მიკროუბანი აღმასის პირამიდის ცენტრის ქვეშ მოექცევა. დასატვირთი მექანიზმის სახელურის თანაბარი, მღორე შემობრუნებით სათანადო დატვირთვა ვითარდება.

10-15 წამის შემდეგ დატვირთვა მოიხსნება და საგნის მაგიდა საწყის მდებარეობას უბრუნდება. თუ ხელსაწყო სწორად არის ცენტრირებული, ანაბეჭდი ოკულარ-მიკრომეტრის დიაგონალების გადაკვეთის წერტილში ან მის უშუალო მახლობლობაში მიიღება (სურ. №91 ბ).



სურ. №91. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრის სქემა.

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გაზომვა და სისხლის განსაზღვრა. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრა, უმეტეს შემთხვევაში, შემდეგი თანმიმ-

დევრობით ხდება: ხრახნების (11) (სურ. №89) შემობრუნებით საგნის მაგიდას ისეთ-ნაირად გადაადგილებენ, რომ ანაბეჭდის მარჯვენა წვერო დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს შეუთავსდეს (სურ. №91, გ). ამის შემდეგ, ოკულარ-მიკრომეტრის ლიმბის დოლს შემოაბრუნებენ და დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს ანაბეჭდის მარცხენა წერტილს შეუთავსებენ. ბუნებრივია, გადაადგილდება ორმაგი შტრიხიც და იგი უძრავი სკალის რაღაც დანაყოფებს შორის აღმოჩნდება (დ). ანათვალის ოკულარ-მიკრომეტრის უძრავი სკალიდან აიღება და მას ლიმბის დანაყოფების რიცხვი ემატება. უძრავი სკალის დანაყოფის ფასი 100 მიკრომეტრს შეადგენს, ხოლო ლიმბის დოლისა – 1 მიკრომეტრს. ამგვარად, №91 დ ნახაზზე წარმოდგენილი ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე, ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფებში ტოლი იქნება 165 ერთეულისა.

მოქმედი სტანდარტის თანახმად, ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით უნდა განისაზღვროს და მათი საშუალო არითმეტიკული გამოითვალოს. ამ მიზნით, ჰორიზონტალური დიაგონალის სიგრძის გაზომვის შემდეგ, ოკულარ-მიკრომეტრს 90⁰-ით შემოაბრუნებენ, გაზომვას იმეორებენ და ანგარიშობენ დიაგონალების სიგრძეთა საშუალო მნიშვნელობას \bar{z} .

ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფებში გამოსახული ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე მიკრომეტრებში შემდეგი ფორმულის საშუალებით გადაჰყავთ:

$$d = \bar{z} q,$$

სადაც $q=0,31$.

ზემოთ განხილულ მაგალითში დიაგონალის სიგრძე

$$d = 165 \times 0,31 = 51,15 \text{ მკმ.}$$

სისაღე H განისაზღვრება ფორმულით:

$$H = 1,854 \frac{P}{\bar{d}^2} \text{ კგ/მმ}^2 \quad (\text{ან } H = 1,854 \frac{P}{\bar{d}^2} \times 9,8 \text{ მგ/კა}),$$

სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

\bar{d} - ანაბეჭდის ორი დიაგონალის სიგრძის საშუალო არითმეტიკული, მმ.

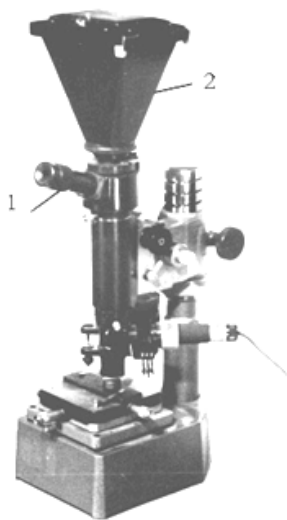
თუ დატვირთვა p გამოსახება გრამებში, დიაგონალის სიგრძე d – მიკრომეტრებში, მაშინ, სისაღის გამოსათვლელი ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$H = 1854 \frac{P}{\bar{d}^2} \text{ კგ/მმ}^2 \quad (\text{ან } H = 1854 \frac{P}{\bar{d}^2} \times 9,8 \text{ მგ/კა}).$$

სისაღის განსაზღვრისათვის, პრაქტიკაში, სტანდარტული ცხრილებითაც სარგებლობენ, რომლებიც შედგენილია 5, 10, 20, 50, 100, 200 და 500 გრამი დატვირთვებისათვის, დიაგონალის სიგრძეზე დამოკიდებულებით.

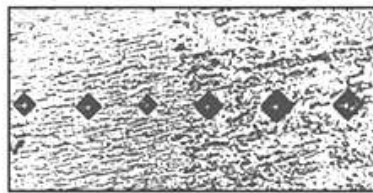
გაზომვების ცდომილება. მიკროსისალის განსაზღვრის დროს დაშვებულ ცდომილებას, ძირითადად, ანაბეჭდის დიაგონალის გაზომვის სიზუსტე განაპირობებს. ცდომილების ერთ-ერთი მიზეზი შეიძლება იყოს ოკულარ-მიკრომეტრის დიაგონალებისა და სკალის არასაკმარისი სიმკვეთრე, რაც ოკულარის ფრონტალური ლინზის შემობრუნებით გამოსწორდება. დიაგონალის სიგრძის მაღალი სიზუსტით გაზომვას უზრუნველყოფს, აგრეთვე, ნიმუშის მკვეთრი, თანაბარი განათება და გამოსახულების გაზრდილი კონტრასტულობა, რაც დიაფრაგმირებითა და შუქფილტრების სწორი შერჩევით მიიღწევა.

ჯამური ცდომილების ერთ-ერთი შემდგენია ოკულარ-მიკრომეტრის ხრახნების უქმი სვლა. მისი გამორიცხვის მიზნით გაზომვების ყველა სერია რეკომენდებულია დიაგონალების ერთი და იგივე მიმართულებით გადაადგილებისას ჩატარდეს, როგორც წესი, სკალის დიდი დანაყოფებიდან მცირე დანაყოფებისაკენ (მარჯვნიდან მარცხნივ).



სურ. №92. PMT-3 ტიპის მიკროსისალის მზომი ხელსაწყო ფოტომოწყობილობით
1-ოკულარი, 2-ფოტოკამერა.

ფოტოგადაღება. PMT-3 ტიპის სისალის საზომ ხელსაწყოზე შესაძლებელია გამოსაკვლევი ობიექტისა და ანაბეჭდის ფოტოგადაღება. ფოტოგადაღებისთვის ოკულარის ჩამოსაცმელი კორპუსის (13, სურ. №89) ნაცვლად მიკროსკოპის ტუბუსში ფოტომოწყობილობა მაგრდება (სურ. №92). ფოტომოწყობილობა აღჭურვილია ფოტოკამერით (2) და ვიზუალური ტუბუსით, რომელ-



სურ. №93. მიკროსისალის ანაბეჭდი.

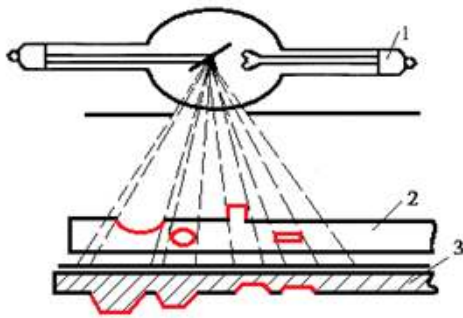
შიც ჩადგმულია ოკულარი (1). ფოტოგადაღებისათვის გამოიყენება 7^x , 10^x ან 15^x გამადიდებლობის სტანდარტული ოკულარები. ანაბეჭდისა და მიკროსტრუქტურის ფოტოგადაღება ჩვეულებრივი მეთოდით ხორციელდება, ფოტოფირფიტის ან ციფრული ფოტოაპარატის გამოყენებით. №93 სურათზე წარმოდგენილია ალმასის პირამიდის ანაბეჭდები კონდენსირებული ნიკელის ფირზე.

VIII თავი. ლითონის ხარისხის კონტროლის ფიზიკური მეთოდები

ლითონების დიაგნოსტიკის ფიზიკური მეთოდები მზა დეტალის ზედაპირზე ან მის მოცულობაში არსებული მაკროსკოპული ზომის სხვადასხვა დეფექტის აღმოჩენის საშუალებას იძლევა. აღნიშნულ დეფექტებს მიეკუთვნება: ფორები, ნიჟარები, ჩაჯდომის სიცარიელები, ბზარები, ნაკერის უკმარშენადული ადგილები, განშრევების უბნები და არალითონური ჩანართები. დეფექტოსკოპიის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. ისინი კონტროლის არამრღვევ მეთოდებს მიეკუთვნება, რადგან პროცესი ხორციელდება არა ნიმუშებზე, არამედ მზა დეტალებზე.

1. რენტგენული დეფექტოსკოპია

რენტგენული დეფექტოსკოპიის მეთოდი ნივთიერებაში გამავალი რენტგენის სხივების შესუსტების ხარისხზეა დაფუძნებული.



სურ. №94. გაჭვირვის გზით ფოტოგრაფიულ ფირზე ნაკეთობის პროექციის მიღების სქემა:
1-რენტგენის მილაკი, 2-კვლევის ობიექტი,
3-ფოტოგრაფიული ფირი.

მილაკიდან (1, სურ. №94) გამოსხივებული რენტგენის სხივები გაჭოლავს გამოსაკვლევ ობიექტს (2) და ფოტოგრაფიულ (რენტგენის) ფირზე ხვდება. რადგან სხივები ობიექტის სხვადასხვა სისქისა და სიმკვრივის უბანში გადის, ისინი სხვადასხვა ხარისხით განიცდიან შესუსტებას. ამიტომ, ფირის ფოტომულსიაზე რენტგენის სხივების ზემოქმედების ინტენსიურობა სხვადასხვა იქნება. აქედან გამომდინარე, ფოტოგრაფიულად დამუშავების შემდეგ, რენტგენის ფირის გაშავების ხარისხი სხვადასხვა უბანზე განსხვავებული აღმოჩნდება. აქვე გასათვალისწინებელია, რომ რენტგენის სხივების გაჭოლვის უნარი იზრდება, დ. მენდელევის პერიოდულ სისტემაში ელემენტის რიგითი ნომრის შემცირებასთან და გამოსხივების სიხისტის ზრდასთან ერთად.

ამგვარად, კვლევის ობიექტის იმ უბნებში გავლისას, სადაც სიცარიელე, ბზარი, ნიჟარა ან ფორები არსებობს, რენტგენის სხივები ნაკლები ხარისხით შესუსტდება, რადგან აღნიშნული დეფექტები, პრაქტიკულად, არ შთანთქავს სხივებს და მასალის სისქე დეფექტის არსებობის ადგილებში, სხვა უბნებთან შედარებით,

უფრო მცირე აღმოჩნდება. ამიტომ, რენტგენის ფირზე ასეთი დეფექტები მუქი ლაქების გამოჩენით გამოვლინდება.

რენტგენით გაშუქებას მეტად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება და ფართოდ გამოიყენება როგორც ინდივიდუალურ, ისე მასობრივ წარმოებაში დეტალებისა და მეტალურგიული ნახევარფაბრიკარების (სხმული, ნატვიფრი, შენადული შეერთებები) კონტროლისათვის.

2. გამა-დეფექტოსკოპია

დიდი სისქის ნაკეთობის კონტროლისათვის γ -სხივებით გაშუქების მეთოდი გამოიყენება. გამა-დეფექტოსკოპია საშუალებას იძლევა დეფექტები 300მმ-მდე სისქის ფოლადის ნაკეთობაში გამოძვლავნდეს.

თავისი ბუნებით γ -სხივები რენტგენის სხივების მსგავსია, მაგრამ, მისგან უფრო მაღალი სიხისტით გამოირჩევა. γ -სხივების წყაროს რადიოაქტიული იზოტოპები წარმოადგენენ. γ -დეფექტოსკოპიაში ძირითადად კობალტის ^{60}Co და ირიდიუმის ^{192}Ir ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპები გამოიყენება, რომელთა გამოსხივების ხანგრძლივობა შესაბამისად 5,3 წელს და 75 დღეს შეადგენს. ^{60}Co -ის გამოყენების შემთხვევაში ფოლადის ნაკეთობის ზღვრული სისქე 250-300, ხოლო ^{192}Ir -ის გამოყენების შემთხვევაში – 50-60 მილიმეტრია. ეს უკანასკნელი უფრო მაღალი მგრძობიარობით გამოირჩევა ^{60}Co -თან შედარებით, რაც გამოსხივების უფრო დაბალ სიხისტესთან არის დაკავშირებული.

γ -სხივებით დეფექტების გამოსამჟღავნებლად გამოსხივების წყაროს დეტალის წინ ათავსებენ, ხოლო დეტალის უკან – მარეგისტრირებელ მოწყობილობას. დეტალში გავლილი γ -სხივების ინტენსიურობის ცვლილება ინდიკატორით რეგისტრირდება. ლითონის მთლიანობის დარღვევის ადგილებში სხივის ინტენსივობა ნაკლებად სუსტდება, რაც დეფექტის გამოვლენის შესაძლებლობას იძლევა.

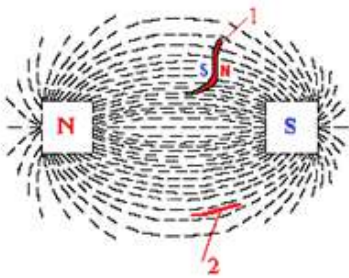
γ -სხივებით გაშუქება არ მოითხოვს ისეთი დიდი ზომის აპარატურას, როგორც რენტგენული დეფექტოსკოპისთვის არის აუცილებელი. γ -სხივებით გაშუქება დეტალის ძნელად მისადგომ ადგილებში შეიძლება განხორციელდეს, სადაც რენტგენის სხივებით კვლევა შეუძლებელი ან გაძნელებულია.

3. მაგნიტური დეფექტოსკოპია

მაგნიტური დეფექტოსკოპია ფერომაგნიტური მასალებისგან დამზადებული დეტალების არამრღვევი კონტროლის ერთ-ერთ მეთოდს წარმოადგენს. იგი სხვა-

დასხვა ისეთი გვარის დეფექტების გამოქვადენების შესაძლებლობას იძლევა, რომლებიც არღვევენ მასალის მთლიანობას (წვრილი ბზარები, ნიჟარები, ბეწვბზარები და ა.შ). დეფექტების გამოსამქვადენებლად სპეციალური ხელსაწყო, მაგნიტური დეფექტოსკოპი გამოიყენება. დეფექტების აღმოსაჩენად მაგნიტურ ფხვნილებს ან მაგნიტურ სუსპენზიას იყენებენ. მაგნიტურ ფხვნილს რკინისგან, ფერომაგნიტური მაგნეტიტისა (Fe_3O_4) ან რკინის ჟანგისგან (Fe_2O_3) ამზადებენ. სუსპენზიის მისაღებად ფერომაგნიტურ ფხვნილს ზეთში, ნავთში ან სხვა სითხეში ურევენ.

გამოსაკვლევ დეტალს მაგნიტურ დეფექტოსკოპში ამაგნიტებენ. დეფექტურ უბნებში მაგნიტური ნაკადი დეფექტის ზედაპირზე გამოდის და ყალიბდება გაბნევის მაგნიტური ველი, რომელიც დეფექტის კიდებთან მაგნიტურ პოლუსებს წარმოქმნის (სურ. №95). ზედაპირზე მაგნიტური ფხვნილის არსებობის შემთხვევაში, ადგილობრივი პოლარობა დეფექტის კონტურზე ფხვნილის ინტენსიურ დაფენას გამოიწვევს.



სურ. №95. მაგნიტური ველის გავრცელება და მაგნიტური პოლუსების წარმოქმნა დეფექტების საზღვრებში.

ამგვარად, დამაგნიტების შემდეგ გასაკონტროლებელ დეტალს მაგნიტური ფხვნილით (მშრალი მეთოდი) ან მაგნიტური სუსპენზიით (სველი მეთოდი) ფარავენ. ფხვნილის ნაწილაკები, რომლებიც მაგნიტური გაბნევის ზონაში მოხვდება, მაგნიტური ძალების ზემოქმედებით დეფექტის საზღვრებში მიიზიდება და მის კონტურს შემოხაზავს. შედაგად, მანამაღე უთვალადო, შენიღბული დეფექტი კარგად შესამჩნევი ხდება. კონტროლის დამთავრების შემდეგ დეტალს განამაგნიტებენ.

4. გრიგალური დენის მეთოდი

შიგა დეფექტების გამოქვადენება გრიგალური დენის გამოყენებითაც არის შესაძლებელი. მეთოდს ელექტრომაგნიტური ინდუქცია უდევს საფუძვლად.

თუ ინდუქციურ კოჭას, რომელშიც ცვლადი დენი გადის, ლითონურ სხეულს მიუახლოვებთ, ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით მასში გრიგალური დენი აღიძვრება. გრიგალური დენის სიდიდე და მისი შეღწევალობის სიღრმე, კოჭას ცვლადი მაგნიტური ველის სიხშირეზე დამოკიდებულებით იცვლება. გრიგალური დენის სიდიდის განსაზღვრა სპეციალური გამზომი კოჭის გამოყენებით არის შესაძლებელი.

მეთოდი სუფთა ლითონებისა და შენადნობებისაგან დამზადებულ პროდუქციაში ზედაპირული და მასთან მიმდებარე ქვეშრეში არსებული დეფექტების გა-

მოსამუდგენებლად გამოიყენება. დეტალის ფორმა მარტივი (მილი, პროფილი, ძე-
ლაკი, ზოლი) უნდა იყოს, თანაბარი განივკვეთის მქონე, არ უნდა ხასიათდებოდეს
უხეში სტრუქტურული არაერთგვაროვნებით.

გარდა ამისა, მეთოდი ელექტროგამტარობის უკონტაქტო განსაზღვრისა და
ამ პარამეტრის ცვლილების მიხედვით, ზედაპირული ან კრისტალთშორისი კორო-
ზიით დაზინებული ზონების გამოვლენის შესაძლებლობას იძლევა; აფიქსირებს
ძაბვის ქვეშ კოროზიის შედეგად ბზარწარმოქმნის ფაქტს; ალუმინის შენადნობების
ნახევარფაბრიკატებში აკონტროლებს გადახურების ფაქტს (გადახურება გამოუს-
წორებელი წუნია, რომელიც შეიძლება ალუმინის ზოგიერთ შენადნობში წრთობის
წინ გახურების პროცესში განვითარდეს); გაიზომოს ფურცლის, ფოლგის, დანაფა-
რის და ა.შ. სისქე.

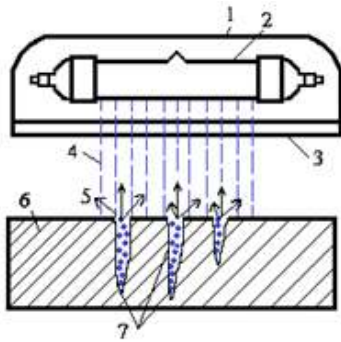
გრიგალური დენის მეთოდის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი
გამოყენებით შესაძლებელია დეფექტების გამომუდგენება არამაგნიტურ მასალებში
(ალუმინში, მაგნიუმში, სპილენძში და ა.შ.).

5. ლუმინესცენტული მეთოდი

ლუმინესცენტული მეთოდი მხოლოდ ღია, ზედაპირული დეფექტების (მაგა-
ლითად, წვრილი ბზარების) გამომუდგენების შესაძლებლობას იძლევა. მაგნიტურ
მეთოდთან შედარებით, რომლის საშუალებითაც მხოლოდ ფერომაგნიტური მასა-
ლების კონტროლია შესაძლებელი, ლუმინესცენტული მეთოდი ნებისმიერი, რო-
გორც ლითონური (მაგნიტური და არამაგნიტური), ისე არალითონური მასალების
(მაგალითად, პლასტმასის) კონტროლისათვის გამოიყენება.

ლუმინესცენტული მეთოდით კონტროლი შემდეგი თანმიმდევრობით ხორცი-
ელდება: დეტალის ზედაპირს ჭუჭყისგან გულდასმით ასუფთავებენ, შემდეგ კი ჩატ-
ვირთავენ აბაზანაში, რომელშიც ფლუორესცენტული სითხეა ჩასხმული (ტრანს-
ფორმატორის ზეთის, ნავთის და სპეციალური, მომწვანო-ოქროსფერი ფხვნილის
ნარევი). გამოსაკვლევ დეტალს აბაზანაში 10-15 წუთს აყოფენ. ხსნარი არა მარ-
ტო ასველებს დეტალს, არამედ მიკროსკოპულ ბზარებშიც შეიჭონება. შემდეგ დე-
ტალის ზედაპირს ჩამორეცხავენ, ჰაერზე აშრობენ და დეფექტების უფრო მკვეთ-
რად გამომუდგენების მიზნით, მაღალი შთანთქმის უნარის მქონე ფხვნილს აყრიან
(მაგნიუმის ჟანგის წვრილად დაქუცმაცებული ფხვნილის ნარევის ნახშირმჟავა მაგ-
ნიუმთან). ფხვნილი დეფექტების სიღრუიდან სითხეს შეიწოვს, სველდება და დეტა-
ლის ზედაპირს ეკვრის. ჭარბ ფხვნილს ჰაერის შებერვით აცილებენ. ასეთნაირად
დამუშავებული დეტალის ზედაპირს, სიბნელეში, სპეციალური აპარატის გამოყენე-

ბით ულტრაიისფერი სხივებით აშუქებენ (სურ. №96). ულტრაიისფერი გამოსხივების წყაროდან სხივები (2) ფილტრის (3) გავლით (ფილტრი ხილული სინათლის სხივებს აკავებს) ეცემა გამოსაკვლავი დეტალის ზედაპირს. ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით ფლუორესცენტული სითხე იწყებს მომწვანო შეფერილობის ნათებას, რაც დეფექტის კონტურებს ამჟღავნებს.



სურ. №96. ზედაპირული დეფექტების აღმოჩენის ლუმინოსცენტული მეთოდის სქემა:
 1-რეფლექტორი, 2-კვარცის სინდიციანი ნათურა,
 3-შუქფილტრი, 4-ულტრაიისფერი სხივები,
 5-დეფექტის სიცარიელეში არსებული ნივთიერების ლუმინესცენციის ნაკადი, 6-ნაკეთობა,
 7-ზედაპირული დეფექტები.

6. შეფერადების (საღებავების) მეთოდი

ეს მეთოდი წვრილი დეფექტების გამოსამჟღავნებლად გამოიყენება და საინდიკატორო სითხეების საშუალებით ხორციელდება. საინდიკატორო სითხე ჭუჭყისა და ცხიმისაგან გულდასმით გასუფთავებულ საკონტროლო დეტალის ზედაპირზე დაიტანება. გაუღენტის შემდეგ სითხეს ზედაპირიდან აცილებენ და მასზე თეთრი გამოსამჟღავნებელი საღებავი დააქვთ. დატანილი საღებავი დეფექტების ღრმულებიდან საინდიკატორო სითხეს ამოიწოვს. ამასთან, სითხე რამდენადმე გაინთხევა დეფექტის უბნებში და მისი ფერის ტონის მიხედვით დეფექტების შეუიარაღებელი თვალით გამომჟღავნების შესაძლებლობას იძლევა.

შეფერადების მეთოდისათვის არაერთი საინდიკატორო სითხე გამოიყენება. მაგალითად, 80% ნავთი, 20% სკიპიდარი სპეციალური საღებავის (სუდანი IV) დანამატებით (15 გრამი 1 ლიტრ სითხეზე, წყალი – 0,6 ლიტრი. წითელი დანაფარი). გამოსამჟღავნებელ საღებავად შემდეგ შემადგენლობას იყენებენ: 0,4 ლიტრი სპირტი, 300 გრამი ცარცი, 1 ლიტრი სითხე (თეთრი დანაფარი).

7. ულტრაბგერითი მეთოდი

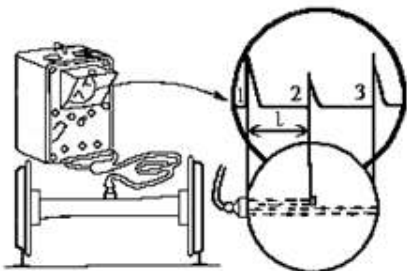
შიგა წვრილი დეფექტების (ზომით 1-2მმ-დე) გამოსამჟღავნებლად ულტრაბგერა გამოიყენება, რომლის რხევის სიხშირე წამში 20000 ჰერცს აღემატება. ამასთანავე, რაც უფრო მეტია სიხშირე, მით უფრო მცირეა ბგერის ტალღის სიგრძე და მით უფრო მცირე ზომის დეფექტის აღმოჩენაა შესაძლებელი.

ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპია დაფუძნებულია ბგერის ტალღის უნარზე, აირეკლოს შემხვედრი დაბრკოლებიდან. რაც უფრო მცირეა დეტალის მოცულობაში არსებული დეფექტის ზომები, მის აღმოსაჩენად მით უფრო მცირე სიგრძის ულტრაბგერის გამოყენებაა საჭირო.

ხელსაწყოს, რომლის საშუალებითაც მასალის შიგა დეფექტებს აღმოაჩენენ, ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპი ეწოდება. იგი ელექტრულ ენერგიას აკუსტიკურ, ულტრაბგერით ტალღებად გარდაქმნის. გარდამქმნელები დამზადებულია კვარცის, სეგნეტის მარილის, ფიროვანი ნახევრადგამტარების და სხვა, ე.წ. პიეზოელექტრული მასალებისგან.

თუ კვარცის ფირფიტას ლითონის ორ ფირფიტას შორის მოვათავსებთ, რომლებიც ცვლადი დენის გამანათებელ ქსელთან იქნება შეერთებული, ელექტრული განმუხტვების ზემოქმედების შედეგად, კვარცის მინა განმუხტვების ტაქტის შესაბამისად შეკუმშვას და გაფართოებას დაიწყებს.

გასაკონტროლებელ ნაკეთობასთან გარდამქმნელის უშუალო კონტაქტის შემთხვევაში ულტრაბგერითი ტალღები დეტალის მთელ განივკვეთში გავრცელდება, დეტალის მოცულობაში დეფექტის (ბზარის, ნიჟარის და ა.შ) არსებობის შემთხვევაში კი ულტრაბგერითი ტალღების ნორმალური გავრცელების ხასიათი ირღვევა. ტალღების ნაწილი დეფექტებიდან აირეკლება და კვლავ ნაკეთობის ზედაპირზე ბრუნდება, ანუ ულტრაბგერითი ეხო წარმოიქმნება. როდესაც კვარცის ფირფიტა ეხოს იჭერს, ლითონის ფირფიტებში ცვლადი ელექტრული მუხტი აღიგზნება. შესაძლებელია ამ მუხტის გაძლიერება და ელექტრული ხელსაწყოთი მისი გაზომვა. დეფექტის მდებარეობის სიღრმის განსაზღვრისათვის საკონტროლო დეტალში ულტრაბგერა არა უწყვეტად, არამედ პერიოდულად, დიდი შუალედებით იგზავნება. დეფექტის მდებარეობის სიღრმეს ულტრაბგერის გაგზავნასა და მისი უკან დაბრუნებას (ულტრაბგერითი ეხო) შორის დროის შუალედებით განსაზღვრავენ. დროის ამ შუალედის დადგენისათვის ელექტრონულ-სხივურ მილაკს იყენებენ. იმ მომენტში, როდესაც საკვლევი დეტალის ზედაპირზე ულტრაბგერის ტალღა იგზავნება, მილაკის ეკრანზე პიკი (ამოვარდნა) (1) (სურ. №97) ფიქსირდება. ამასთანავე,



სურ. №97. ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპი და სურათი, რომელიც მის ეკრანზე აისახება შიგა დეფექტების მქონე დეტალის გაშიქებისას.

ელექტრონული სხივი მარცხნიდან მარჯვნივ მოძრაობს და ეკრანზე ჰორიზონტალურ წრფეს ხაზავს. როდესაც ხელსაწყოსთან კონტაქტში მყოფი დეტალის ზედაპირზე დეფექტიდან უკუარეკვლილი ულტრაბგერის ტალღა ბრუნდება, კრანზე 1 პიკის მარჯვნივ პიკი (2) აისახება. და ბოლოს, დეტალის ძირიდან (ფსკერიდან) არეკვლილი ულტრაბგერის დაბრუნებისას, ეკრანის მარჯვენა მხარეს პიკი (3) ჩნდება. ნაკეთობაში დეფექტის განლაგების ადგილს მე-2 პიკამდე მანძილის გაზომვით ადგენენ.

ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპია უპირატესად დიდი განივკვეთის მქონე დეტალებსა და ნახევარფაბრიკატებში დეფექტების გამოსავლენად გამოიყენება. ამ მეთოდით შესაძლებელია ისეთი ტიპის დეფექტების დადგენა, რის საშუალებასაც მაგნიტური, ლუმინესცენტული, ზოგჯერ კი რენტგენული მეთოდები არ იძლევა.

1. И.В. Фиргер. Термическая обработка сплавов. Справочник. Л., «Машиностроение», 1982, с.302.
2. Термическая обработка в машиностроении. Справочник. Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Лахтина и д-ра техн. наук, проф. А.Г. Рахштадта. М., «Машиностроение», 1980, с. 783.
3. Я. Йех. Термическая обработка стали. Справочник. М., «Металлургия», 1979, с. 215.
4. მ. ოქროსაშვილი, გ. გოგოლაძე. მასალათმცოდნეობა. თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008, გვ. 262.
5. И.С. Каменичный. Краткий справочник технолога-термиста. М., «Машгиз», 1963, с. 285.
6. М.Е. Блантер. Металловедение и термическая обработка. М., «Машгиз», 1963, с.416.
7. А.И. Самохоцкий. Технология термической обработки металлов. М., «Машгиз», 1962, с.427.
8. Ю.А. Барабаш, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. Технология термической обработки стали. М., «Металлургия», 1986, с. 424

	წინასიტყვაობა	3
I თავი.	ლითონის კონსტრუქციული სიმტკიცე	4
	1. საკონსტრუქციო მასალების ზოგადი მახასიათებლები	4
	2. ლითონის კონსტრუქციული სიმტკიცის მახასიათებლები	6
	3. შენადნობის ფაზური შედგენილობის გავლენა კონსტრუქციულ სიმტკიცეზე	14
	4. საკონსტრუქციო მახასიათებლების ამაღლების მეთოდები	17
II თავი.	გარემოს გავლენა საკონსტრუქციო მასალის თვისებებზე	22
	1. მაღალი ტემპერატურები	22
	2. დაბალი ტემპერატურები	23
	3. კოროზიულად აქტიური არეები	26
	4. წყალბადის, წყლისა და წყლის ორთქლის გარემო	30
	5. რადიაციული დასხივება	33
	6. მაღალი წნევა და ღრმა ვაკუუმი	38
	7. შეჯახება მყარ ნაწილაკებთან	41
	8. კონტაქტი თხევად ლითონებთან	41
	9. ელექტრული და მაგნიტური ველი	44
III თავი.	თერმული და ქიმიურ-თერმული დამუშავების გავლენა ნაკეთობის თვისებებზე	46
	1. ფოლადის თერმული დამუშავების სახეების მიმოხილვა	46
	2. ფოლადის ქიმიურ-თერმული დამუშავება	57
IV თავი.	თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის დეფექტები და მათი წარმოშობის მიზეზები	62
	1. წუნის სახეები თერმულად დამუშავებულ ნაკეთობაში	63
	2. თერმულად დამუშავებულ ნაკეთობაში დეფექტების წარმოქმნის წყაროები	64
V თავი.	თერმულად დამუშავებული ნაკეთობის ხარისხის კონტროლი.	83
	1. ზოგადი მიმოხილვა	83
	2. დეტალების ხარისხის კონტროლი თერმული დამუშავების შემდეგ	85
	3. ინსტრუმენტის კონტროლი თერმული დამუშავების შემდეგ	88
VI თავი.	ლითონის ხარისხის კონტროლის სტრუქტურული მეთოდები	90
	1. მაკროსკოპული და ფრაქტოგრაფიული ანალიზი	90

2.	შლიფის მაკროანალიზი	95
3.	მიკროსკოპული ანალიზი99
4.	მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნების მეთოდები	118
VII თავი.	ლითონის მექანიკური თვისებების კონტროლის მეთოდები	125
1.	დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაცია125
2.	ლითონის მექანიკური თვისებების კონტროლი 127
3.	სისხლის კონტროლი	136
VIII თავი.	ლითონის ხარისხის კონტროლის ფიზიკური მეთოდები	152
1.	რენტგენული დეფექტოსკოპია152
2.	გამა-დეფექტოსკოპია153
3.	მაგნიტური დეფექტოსკოპია153
4.	გრიგალური დენის მეთოდი154
5.	ლუმინესცენტული მეთოდი	155
6.	შეფერადების (საღებავების) მეთოდი	156
7.	ულტრაბგერითი მეთოდი156
	ლიტერატურა159

რედაქტორი ლ. კვინიკაძე

გადაეცა წარმოებას 05.03.2018. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 11.05.2018. ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 10.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent