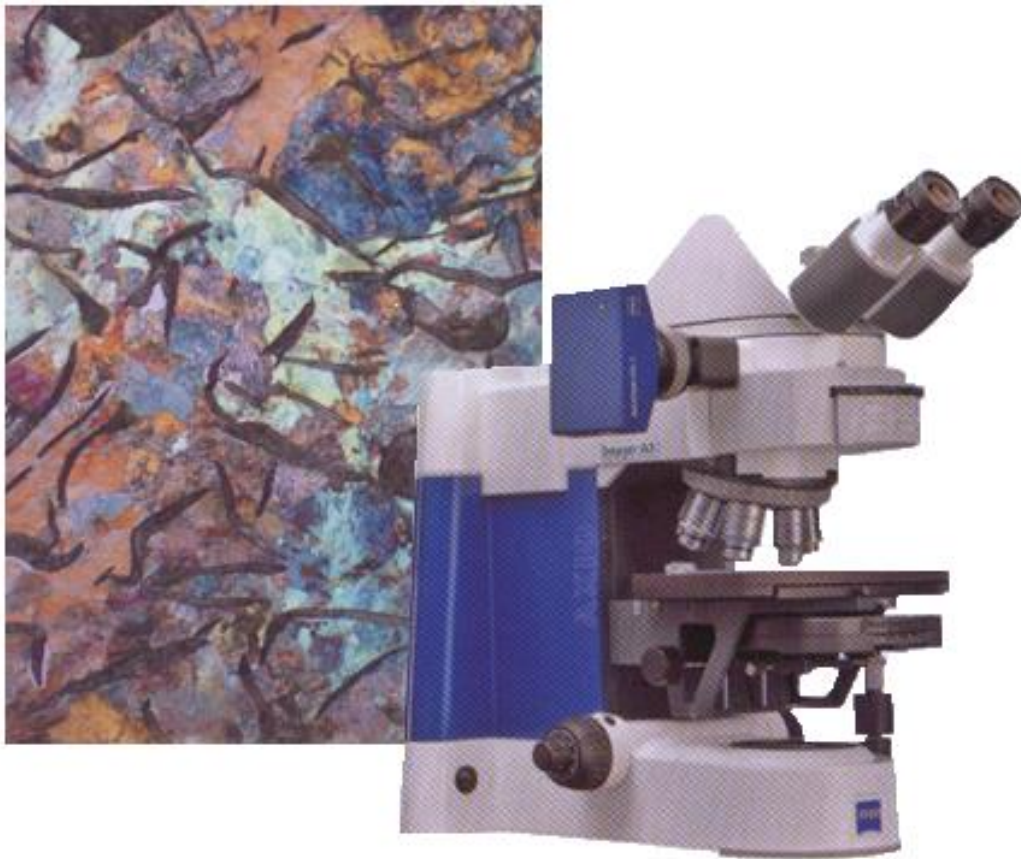


მ. ოქროსაშვილი, ლ. ბერეჟიანი

მეტალოგრაფია

კვლევის მეთოდები და
ლაბორატორიული სამუშაოები



„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. ოქროსაშვილი, ლ. ბერეჟიანი

მეტალობრავია

კვლევის მეთოდები და
ლაბორატორიული სამუშაოები



რეკომენდებულია სტუ-ის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 09.0.3.2012, ოქმი №1

თბილისი
2013

ლაბორატორიული სამუშაოების მიზანია სტუდენტს გააცნოს მეტალოგრაფიული კვლევის ძირითადი მეთოდები და დაეხმაროს მას სასწავლო ინფორმაციის დამოუკიდებლად დამუშავებაში საკითხების კონკრეტიზაციის გზით; გამოუმუშაოს პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად თეორიის გამოყენების ჩვევები; მიკროსტრუქტურული კვლევის მონაცემებზე დაყრდნობით შეაფასოს ლითონის თვისებები და მათი ფაზური შედგენილობის თავისებურებანი თხევადი მდგომარეობიდან კრისტალიზაციისა თუ სხვადასხვა სახით დამუშავების შემდეგ; სტუდენტს გამოუმუშაოს მეტალოგრაფიული კვლევის მონაცემების რაოდენობრივი ანალიზის უნარი.

სასწავლო გეგმით გათვალისწინებულ ლაბორატორიულ სამუშაოებს წინ უსწრებს შესაბამისი მეტალოგრაფიული კვლევის მეთოდების განხილვა, რაც სტუდენტს დაეხმარება მათი პრაქტიკული გამოყენების უნარ-ჩვევების გამოუმუშავებაში.

სახელმძღვანელოში დავალებები ორ პუნქტად არის ჩამოყალიბებული: I საფეხური – ბაკალავრიატისათვის, ხოლო II საფეხური – მაგისტრატურისთვის. რადგან ლითონმცოდნეობის სპეციალობის სტუდენტებისათვის კვლევის მეთოდები საერთოა როგორც მეტალოგრაფიაში, ისე მეცნიერული კვლევის საფუძვლებში, მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მაგისტრანტებისათვის გაგვეთვალისწინებინა აგრეთვე დავალებები რაოდენობრივ მეტალოგრაფიაში, რაც მეცნიერული კვლევის საფუძვლების შესწავლის საგანია.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია მეტალურგიის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის. იგი დიდ დახმარებას გაუწევს აგრეთვე დამხმარე პერსონალს მეტალოგრაფიისა და მასალათმცოდნეობის მიმართულებით კვალიფიკაციის ამაღლებაში.

რეცენზენტები: ასოცირებული პროფესორი დ. ბლუაშვილი,
ასისტენტ-პროფესორი ზ. ხუბულური

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2013

ISBN 978-9941-20-174-5

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



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

საავტორო უფლების დარღვევა ისჯება კანონით.

I. ლითონის აგებულების შესწავლა მაკროსკოპული და ფრაქტოგრაფიული ანალიზის მეთოდებით

ლითონის აგებულების შესწავლას შეუიარაღებელი თვალით ან მცირე გადიდებით ($\times 30$) კვლევის მაკროსკოპული მეთოდი ეწოდება. ამ შემთხვევაში ხედვის არეში საკმაოდ დიდი ფართობი ხვდება, რაც კარგ წარმოდგენას იძლევა ლითონის საერთო აღნაგობაზე.

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

მაკროანალიზი ვერ ავლენს ლითონის აღნაგობის 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 აღნაგობას, რომელიც შეუიარაღებელი თვალით ან მცირე გადიდებით მუდგანდება, 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 (არაუმეტეს $\times 50$, მაკროფრაქტოგრაფია) ხდება. აღნიშნული გამაღიანებლობის ზემოთ მიკროსკოპის გარჩევისუნარიანობის ზღვრამდე ზედაპირის შესწავლას მიკროფრაქტოგრაფია ეწოდება. სტრუქტურის უფრო მცირე დეტალების კვლევისათვის გამოიყენება ელექტრონული მიკროსკოპი. ტეხილის ზედაპირის კვლევას ელექტრონული მიკროსკოპით ელექტრონული ფრაქტოგრაფია ეწოდება.

ლაბორატორიული სამუშაო 1

ტეხილის მაკროანალიზი

მაკროსტრუქტურის კვლევა ნაკეთობის მთლიანობის დაურღვევლად 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. 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 ვითარდება ნაკეთობის ყველაზე შესუსტებულ ადგილას.

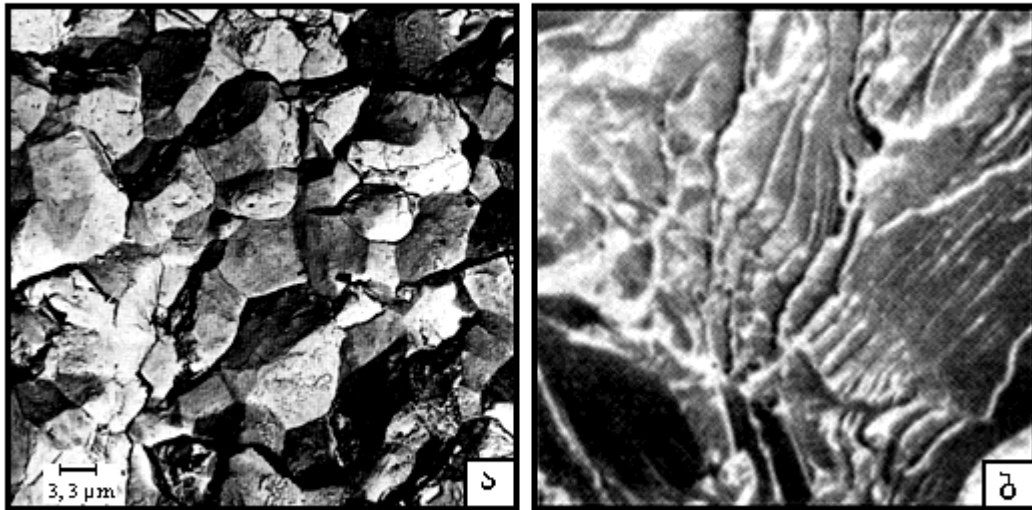
ჩვეულებრივ, ტეხილი ზედაპირის წინასწარი დამუშავების გარეშე შეისწავლება. ზოგ შემთხვევაში მაკროსტრუქტურის უფრო მკაფიოდ გამოძიების მიზნით, შეიძლება მისი რეაქტივით ამოჭმა.

ტეხილი შეიძლება იყოს მყიფე, ბლანტი და დაღლილობით გამოწვეული.

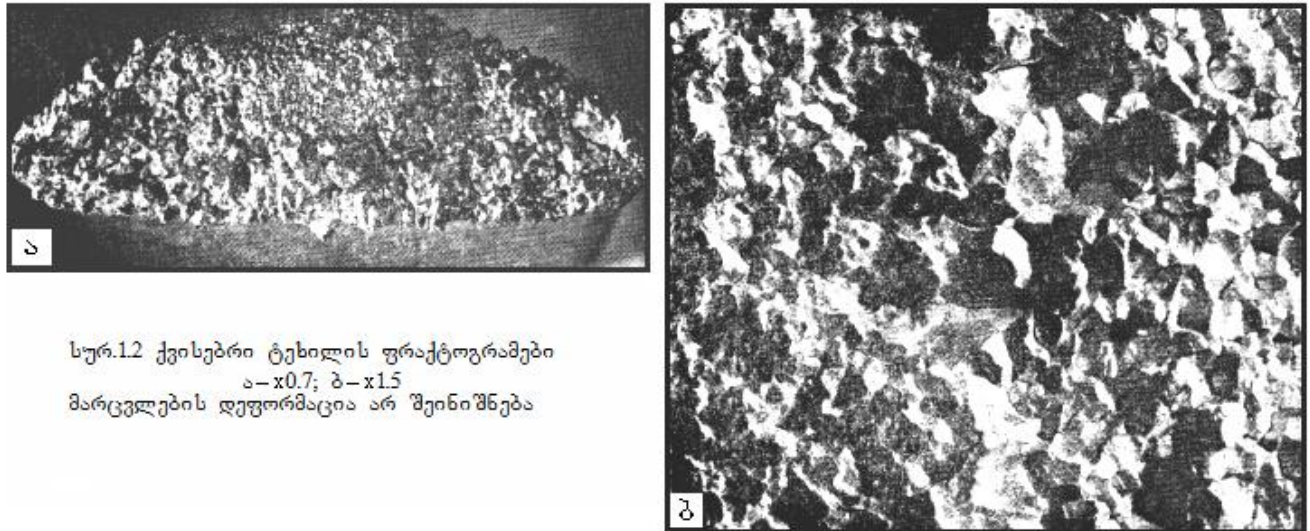
მყიფე ტეხილი კრისტალური აგებულებით ხასიათდება. ტეხილში კარგად ჩანს ლითონის მარცვლების ფორმა და ზომები, რადგან ნაკეთობის რღვევას უმნიშვნელო პლასტიკური დეფორმაცია უსწრებს და მარცვლის ფორმა თითქმის არ მახინჯდება. ტეხილი შეიძლება განვითარდეს როგორც მარცვლის საზღვრებზე, ისე მარცვალზე. პირველ შემთხვევაში ტეხილს ინტერკრისტალური (სურ.1.1,ბ) ანუ კრისტალთშორისი ეწოდება (სურ. 1.1, ა), მეორე შემთხვევაში – ტრანსკრისტალური ანუ შიგაკრისტალური (სურ.1.1,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. 1.2). იგი, ჩვეულებრივ, ცხელი მექანიკური დამუშავე-



სურ. 1.1. ტეხილის ფრაქტოგრამები
 ა – კრისტალთშორისი ტეხილი; ბ – ტრანსკრისტალური ტეხილი, x140

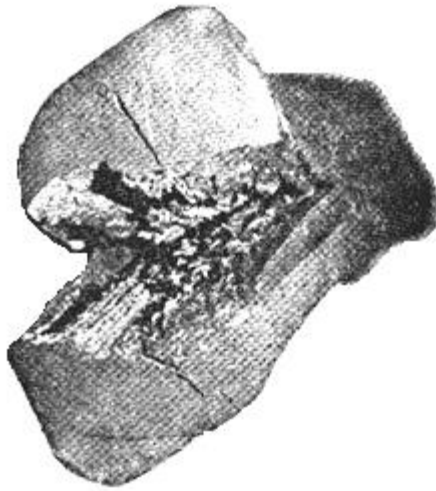


სურ.1.2 ქვისებრი ტეხილის ფრაქტოგრამები
 ა – x0.7; ბ – x1.5
 მარცვლების დეფორმაცია არ შეინიშნება

ბისას ლითონის გადახურების შედეგია. ასეთი ლითონი მსხვილმარცვლოვანი აგებულებით გამოირჩევა.

ტრანსკრისტალური ხასიათის რღვევის შედეგად ზოგჯერ ქერცლოვანი აგებულების ტეხილი მიიღება, რომელიც გარეგნულად ნაფთალისს მოგვაგონებს. ამიტომ მას ნაფთალისებრი ტეხილი ეწოდება. ასეთი ტეხილი შერჩევითი ბზინვარებით გამოირჩევა და ისიც ლითონის გახურებაზე მიუთითებს.

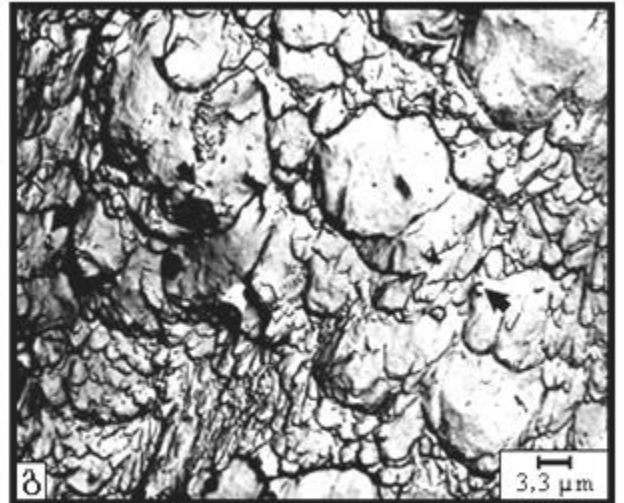
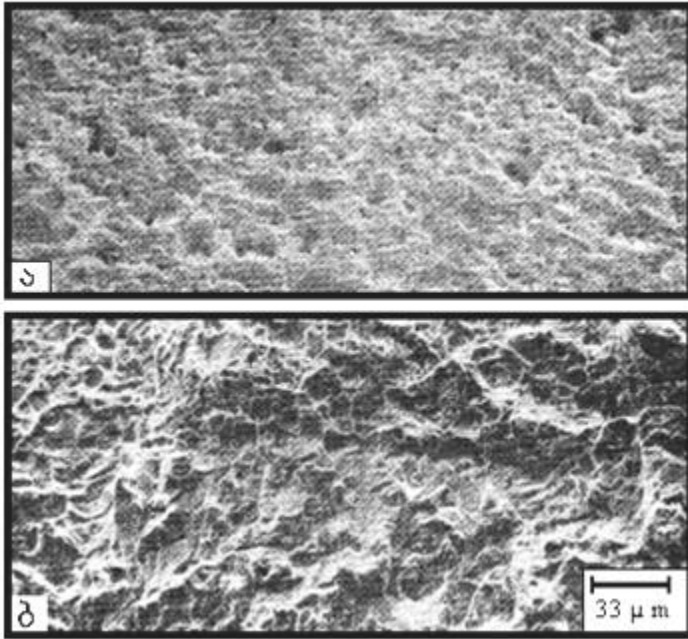
თუ სხმული ლითონის რღვევა დენდრიტული კრისტალების საზღვრებზე განვითარდა, მყიფე ტეხილს დენდრიტული ეწოდება (სურ 1.3).



სურ. 13 ხისმაგვარი (დენდრიტული) ტეხილის ფრაქტოგრამა. x0.5

ბლანტი ტეხილი ბოჭკოვანი აგებულებისაა (სურ. 14). ლითონის მარცვლების ფორმა და ზომები ძლიერ დამახინჯებულია, ვინაიდან რღვევა მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციის პირობებში მიმდინარეობს. ცხადია, ბოჭკოვანი ტეხილით ლითონის საწყისი აგებულების შესწავლა შეუძლებელია.

დადლილობით ტეხილში მკაფიოდ გაირჩევა სამი ზონა: რღვევის კერა (მიკრობზარის წარმოქმნის უბანი, რომელიც 1.5, ა სურათზე ისრითაა მითითებული), დადლილობისა და რღვე

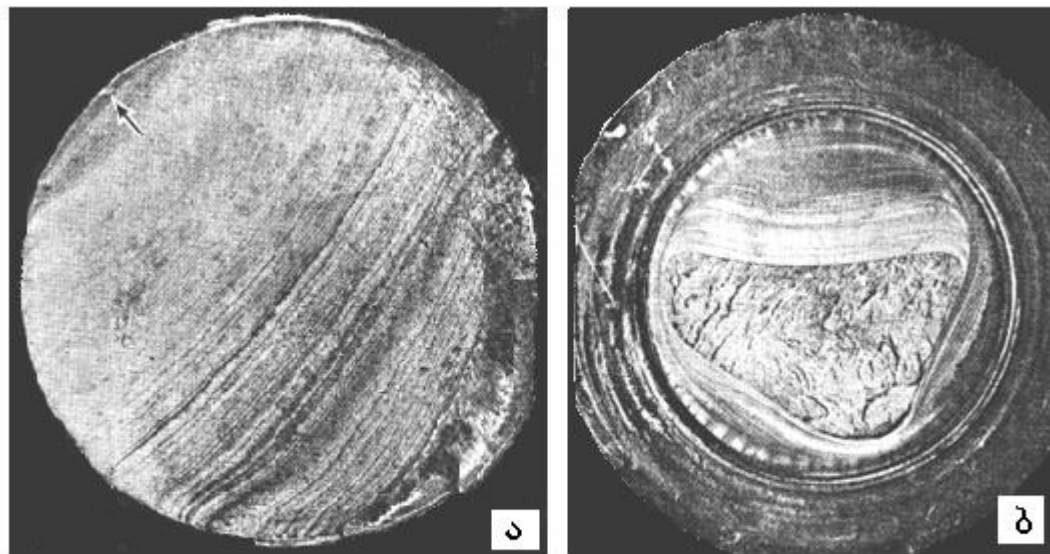


სურ. 14. ბლანტი ტეხილის ფრაქტოგრამები. ა- x47; ბ- x300; გ- x1200

ვის დამთავრების ზონები (სურ. 1.5, 1.6). ნგრევის კერა ესაზღვრება ზედაპირს და ხასიათდება გლუვი, თითქოს მილესილი, გაპრიალებული ზედაპირით. იგი თანდათანობით წარმოიქმნება დადლილობითი ნაპრალის (ბზარის) განვითარების შედეგად.

მეორე, დადლილობით ზონაში, როგორც წესი, მოჩანს დამახასიათებელი ნაღარები, რომლებსაც აქვს რგოლების კონფიგურაცია (სურ.15). ეს დადლილობითი ბზარის ნახტომისებრ წაწვევაზე მიუთითებს. 1.5, ა ფრაქტოგრამაზე დადლილობის ზოლები იმის მაჩვენებელია, რომ ნაკეთობის რღვევამდე ბზარი გავრცელდა განივკვეთის თითქმის

90%-ზე. 1.5 ბ ფრაქტოგრამაზე გამოსახულია ტეხილი, რომელიც მიღებულია მღუნავი ძაბვების სამი მიმართულებით ზემოქმედების შედეგად. სწორედ ასეთმა რთულმა დეფორმაციამ განაპირობა არაჩვეულებრივი ნაყმის მიღება დაღლილობითი ზოლების განვითარების გზით.



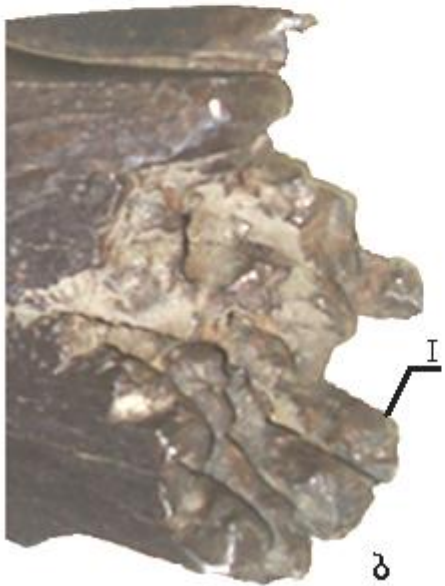
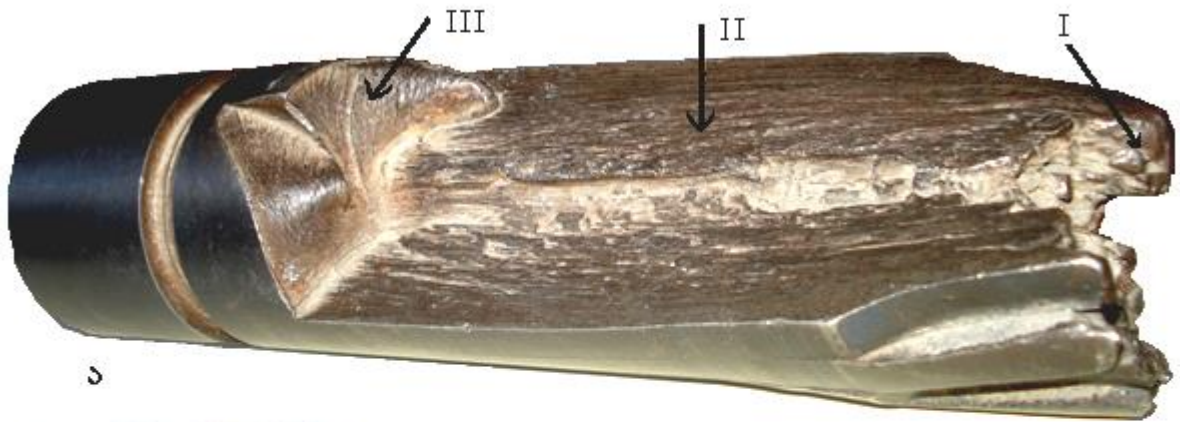
სურ. 1.5. დაღლილობითი ტეხილის ზედაპირის ფრაქტოგრამები
 ა- $\times 0.95$; ბ- $\times 0.65$

როდესაც ტეხილი დიდი დატვირთვისას, მგრესი ძაბვის ზემოქმედებით უწყვეტად ვითარდება, დაღლილობითმა ზონამ შეიძლება განსხვავებული აგებულებაც მიიღოს, როგორც ეს 1. 6 სურათზეა მოცემული (II უბანი).

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

რღვევის დამთავრების ზონა ლითონის აგებულებასა და თვისებებზე დამოკიდებულებით ბლანტი (III, სურ. 1. 6) ან მყიფე რღვევით ხასიათდება.

ტეხილზე სწორად ჩატარებული მაკროანალიზი ყველაზე სრულყოფილად ახასიათებს ლითონის რღვევის სურათს.



სურ. 16. ავტომანქანის ნახევარღერძის დაღლილობითი ტეხილის მაკროსტრუქტურა

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

დავალებათა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ ლითონის ნაკეთობის ზედაპირული აგებულება;
2. შეისწავლეთ სხვადასხვა სახის ტეხილი და დაადგინეთ მათი რღვევის ხასიათი;
3. სქემატურად ჩაიხაზეთ გამოკვლეული მაკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით.

ლაბორატორიული სამუშაო 2

შლივის მაკროანალიზი

2.1. დეჰიდრატებისა და სტრუქტურის გამომჟღავნება ლითონში ზედაპირული და ღრმად ამოჭმის მეთოდებით

მაკროხეხის მომზადება. მაკროხეხის მოსამზადებლად საჭიროა გამოსაკვლევი ნიმუშის ამოჭრა ნაკეთობის ყველაზე საინტერესო ადგილიდან და წინასწარ 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 დერძისათვის – სამ-სამი განივი ჭრილი, ამასთან ერთი ნიმუში ამოიჭრება დერძის შუა ნაწილიდან, თითო-თითო კი – თავსა და ბოლოში;
4. ფურცლოვანი რკინისათვის – ფურცლის თითოეული ბოლოდან 200 მმ სიგრძის სამ-სამი განივი ნიმუში ამოიჭრება, ფურცლის გვერდებიდან – თითო-თითო, შუაგულიდან – ერთი.

საფრეზ ან სარანდ ჩარხზე დამუშავების შემდეგ ნიმუშის საკვლევი ზედაპირი ჯერ სახეს 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 მეორე-

ზე გადასვლისას ნიმუშის ზედაპირი ირეცხება და ხეხვის მიმართულება 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 გამოიყენება სხმულებისა და ნაგლინის მაკროანალიზისათვის. რეაქტივების შედგენილობა მოცემულია 2.1 ცხრილში.

ღრმად ამოჭმისათვის მაკროხეხის ზედაპირს წინასწარ წმენდენ სპირტით ჭუჭყის მოსაცილებლად, ხოლო შემდეგ ჩატვირთავენ აბაზანაში, რომელშიც რეაქტივია ჩასხმული. ზოგიერთ შემთხვევაში ამოჭმა რეაქტივში დასველებული ტამპონით ხდება გამწოვ კარადაში. 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: 100 მლ H₂SO₄, 50 გ K₂Cr₂O₇, 100 მლ წყალი.

ღრმად ამოჭმის რეაქტივი ძლიერ ურთიერთქმედებს ფოლადის ზედაპირთან. ამასთან, კონცენტრირებული მჟავებისა და მათი ნარევების აგრესიული ზემოქმედება ლითონის ზედაპირზე არათანაბარია: იმ უბანში, სადაც არის ფორები, ნიჟარები, ბზარები ან ლიკვაციის გამო არის 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 ისი-

ცხრილი 2.1.

მაკროხეხის ამოსაჭმელი ზოგიერთი რეაქტივი და რეჟიმები

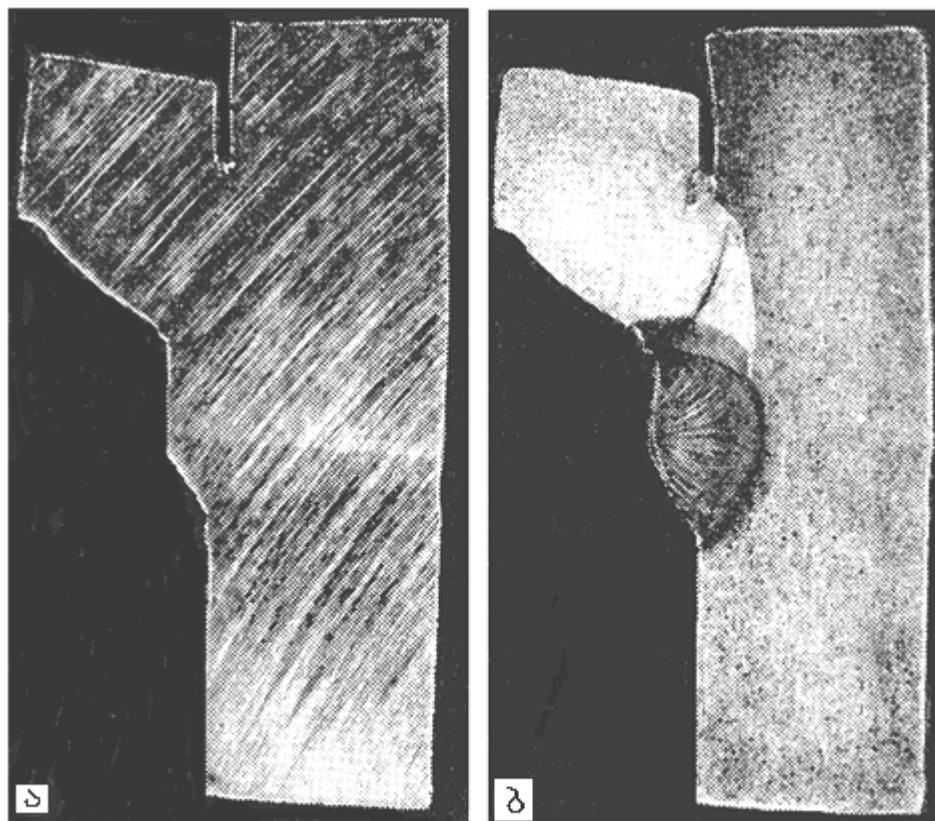
ფოლადის ღრმა ამოჭმისათვის		
შენადნობები	რეაქტივის შედგენილობა და ამოჭმის რეჟიმები	შენიშვნა
<p>ყველა ტიპის ფოლადი, გარდა აუსტენიტური და ფერიტული კლასის კოროზიამედები და მსურვალმედები ფოლადისა.</p> <p>კოროზიამედები, მსურვალმედები და სხვა აუსტენიტური კლასის ფოლადი.</p>	<p>მარილმუჟავა 100 მლ, წყალი 100 მლ; $t=60-80^{\circ}\text{C}$; $\tau=5-45$ წთ.</p> <p>1. მარილმუჟავა 100 მლ; აზოტმუჟავა 10 მლ; წყალი 100 მლ; $t=60-70^{\circ}\text{C}$; $\tau=5-10$წთ. 2. მარილმუჟავა 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 აზოტმუჟავას 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>გეინის რეაქტივი: NH_4Cl 53გ; CuCl_2 85 გ; წყალი 1000 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=0,5-1$ წთ.</p>	<p>ხეხის ზედაპირიდან ნალექს აცილებენ ბამბით წყლის ჭავლის ქვეშ. დეფექტური უბნები უფრო ძლიერ არის ამოჭმული.</p>
<p>სპილენძის შენადნობები</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; მარილმუჟავა 30 მლ; წყალი 120 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=2-5$წთ.</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>ალუმინის შენადნობები</p>	<p>მარილმუჟავა 40 მლ; HNO_3 40 მლ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $\tau=1-10$ წთ.</p>	<p>დურალუმინის ტიპის შენადნობისათვის ამოჭმის შემდეგ აუცილებელია გარეცხვა და გაშრობა</p>

ნი ვერ ცვლიან ღრმად ამოჭმის რეაქტივებს ფლოკენების, ბზარების, სიფხვიერისა და ისეთი ფორების გამოსამქლავნებლად, 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 ნიმუშში სპირტიანი ბამბით იწმინდება და რეაქტივში იტვირთება. წყალხსნარიდან გამოძევებული სპილენძი მაკროსხეხის 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.

2.1 სურათზე გამოსახულია შენადული შეერთების მაკროსხეხი ამოჭმამდე (ა) და გეინის რეაქტივით (იხ. ცხრ. 2.1) ამოჭმის შემდეგ. მაკროანალიზით პირაპირ უბნებში გამომუდგენებულია ფორები. ძირითად ლითონში მოჩანს აგრეთვე მუქი ზოლები, რომლებიც ავლენს ნახშირბადით, გოგირდით და ფოსფორით გამდიდრებულ უბნებს.

თუჯში სხმული (დენდრიტული) სტრუქტურის გამოსამუდგენებლად გამოიყენება ბორის მჟავათი გაჯერებული მარილმჟავა. მოქმედების დასაჩქარებლად რეაქტივს შე-



სურ. 2.1. შენადული ნაკერის მაკროსტრუქტურა ამოჭმამდე (ა) და ამოჭმის შემდეგ (ბ)

იძლება მცირე რაოდენობით წყალი დაემატოს.

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

სხმული ფოლადის მაკროსტრუქტურის გამოსამუდგნებლად ამონიუმის პერსულფატის 15%-იანი წყალხსნარი გამოიყენება. მაკროხეხი 5-10 წუთის განმავლობაში იტვირთება 80-90°C-მდე გაცხელებულ რეაქტივში, რის შემდეგ წყლით ირეცხება და შრება.

მაღალი კონტრასტულობის მისაღებად ზემოთ აღნიშნული რეაქტივით დამუშავების შემდეგ ნიმუში 1-2 წუთის განმავლობაში 5%-იან აზოტმუავაში 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 წაგრძელებია, რის შედეგადაც დამახასიათებელი ბოჭკოვანი აგებულება მიიღება.

ფოლადში ბოჭკოვანი აგებულების გამოსამუდგნებლად შემდეგი რეაქტივები გამოიყენება:

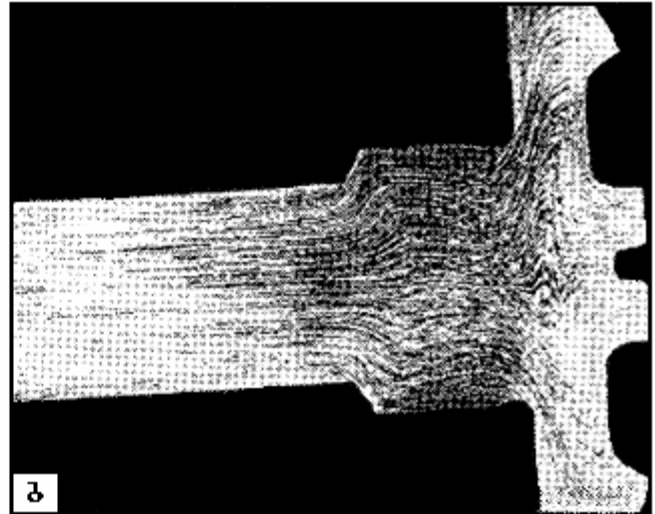
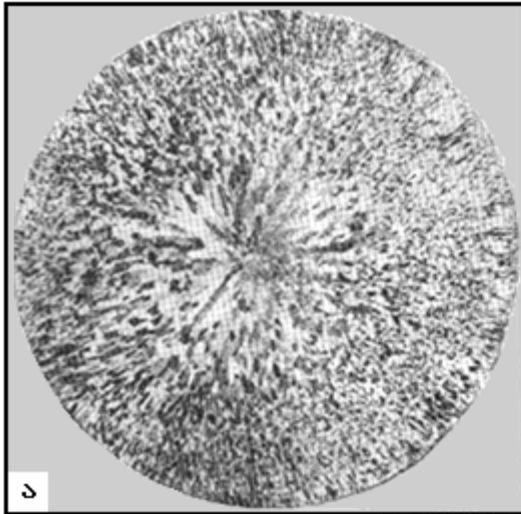
1. 85 გ ქლორიანი სპილენძი, 53 გ ქლორიანი ამონიუმი და 1000 სმ³ წყალი.

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

2. 50%-იანი მარილმუავა. ამოჭმის პროცესი გამწოვ კარადაში მიმდინარეობს.

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

2.2 სურათზე მოცემულია სხმული ფოლადისა (ა) და ავტომანქანის გამოჭედილი ნახევარდერძის (ბ) მაკროსტრუქტურები. როგორც ამ მასალიდან ჩანს, ბოჭკოების მიმართულება თანხვედნილია ნაჭედის გარეგნულ ფორმასთან.



სურ. 2.2. სხმული ფოლადისა (ა) და ავტომანქანის გამოჭედილი ნახევარღების (ბ) მაკროსტრუქტურა

დავალებათა:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. მოამზადეთ სამი სხვადასხვა ხერხით დამზადებული ფოლადის ნიმუშების მაკროსტრუქტურა;
2. გამოამუშავებთ მომზადებული ნიმუშების მაკროსტრუქტურა და მიუთითებთ, რომელი მათგანია დამზადებული ჩამოსხმით, რომელი – გლინვით და რომელი – შედუღებით;
3. სქემატურად გამოსახეთ გამოკვლეული ნიმუშების მაკროსტრუქტურა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. ნახშირბადიანი ფოლადის ნაგლინი ძელაკისაგან ამოჭრილია ორი ნიმუში – ერთი გრძივი მიმართულებით, ხოლო მეორე – განივი კვეთში. მაკროსკოპული ანალიზით დაადგინეთ, რომელი მათგანია ამოჭრილი გრძივი მიმართულებით;
2. სქემატურად გამოსახეთ გამოკვლეული მაკროსტრუქტურები;
3. ახსენით, რატომ იძლევა მაკროსკოპული ანალიზი ამ ამოცანის გადაწყვეტის შესაძლებლობას;
4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

2.2. ელემენტების ბანაჟილების არაერთგვაროვნების (ლიკვაციის) გამომჟღავნება ფოლადში

ქიმიური ანალიზი ლითონში შემავალი ელემენტების მხოლოდ საშუალო რაოდენობრივ თანაფარდობას განსაზღვრავს, რაც ნიმუშის კვეთში მათი განაწილების სურათზე არაფერს ამბობს. ქიმიურ ანალიზთან შედარებით მაკროანალიზს ის უპირატესობა აქვს, რომ იგი საშუალებას იძლევა გამოვავლინოთ მინარევებით მეტ-ნაკლებად დაბინძურებული უბნები და ვიმსჯელოთ მათი განაწილების არაერთგვაროვნებაზე (ლიკვაციაზე). ლიკვაცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ლითონის აგებულებაზე და, მაშასადამე, მის თვისებებზეც. ამიტომ მინარევების რაოდენობასა და მათი განაწილების სურათის დასადგენად ქიმიური და მაკროსკოპული ანალიზი საჭიროა პარალელურად ჩატარდეს.

ფოლადსა და თუჯში ლიკვაციის გამომწვევი ყველაზე მეტად ნახშირბადი და მავნე მინარევები – გოგირდი და ფოსფორია. ამასთან, ლიკვაციის ხარისხი დამოკიდებულია არა მარტო ლითონში მინარევების შემცველობაზე, არამედ კრისტალიზაციის პირობებსა (სხმულის ზომა, გაცივების სიჩქარე, ჩამოსხმის ხერხი და ა.შ.) და წნევით დამუშავების ხასიათზე.

ფოლადში ყველაზე მავნე მინარევი გოგირდია. გოგირდოვანი ნაერთი (სულფიდი) არამტკიცე და მყიფე არალითონურ ჩანართს იძლევა. ცხადია, რაც უფრო მეტია ლითონში ასეთი ჩანართი, მით უფრო დაბალია მისი ხარისხი. ამიტომ მოქმედი სტანდარტებით ფოლადში გოგირდის შემცველობა ზუსტად განისაზღვრება: ჩვეულებრივ ფოლადში მისი რაოდენობა 0,05%-ს არ უნდა აღემატებოდეს, ხოლო მაღალხარისხიანში – 0,02-0,03%-ს.

ფოლადის თვისებებზე გავლენას ახდენს არა მარტო ჩანართების რაოდენობა, არამედ მათი ფორმა და განაწილების ხასიათიც: მარცვლის შუაგულში მოქცეული ჩანართები გაცილებით უფრო ნაკლებად მავნეა, ვიდრე მარცვლის გარშემო გარსის სახით განლაგებული. ჩანართის ფორმა ბევრადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად ადვილდნობადია ნაერთი, ე.ი. მისი გამყარება წინ უსწრებს თუ ჩამორჩება ფოლადის გამყარებას. თუ ნაერთი ძნელდნობადია, მისი წარმოქმნა ჯერ კიდევ თხევად ფოლადში დაიწყება და ხშირად იგი, როგორც კრისტალიზაციის ცენტრი, მარცვლის შუაგულში შეიძლება აღმოჩნდეს. თუ ნაერთი ადვილდნობადია, იგი გამყარებული ლი-

თონის მარცვლების ირგვლივ განლაგდება. აღნიშნულის თვალსაჩინო მაგალითია ფოლადში სულფიდური ჩანართების განაწილების სურათი.

ფოლადში გოგირდი რკინის სულფიდს (FeS) ან მანგანუმის სულფიდს (MnS) წარმოქმნის. FeS შედარებით ადვილდნობადი ნაერთია (მისი გამყარების ტემპერატურაა 1193⁰C). ამასთან, იგი ფერიტთან კიდევ უფრო ადვილდნობად (988⁰C) ევტექტიკას (Fe-FeS) იძლევა. გოგირდოვანი ევტექტიკა განიცდის კოალესცენციას ანუ ევტექტიკის ფერიტი ერთიანდება ლითონის ძირითადი მასის ფერიტთან, ხოლო FeS ძირითადი მარცვლების გარშემო გარსის სახით განლაგდება. ასეთი ფოლადის წითელ ვარვარებად გახურება (რაც საჭიროა წნევით დამუშავების ოპერაციების ჩასატარებლად) ადვილდნობადი გარსის შემოდნობასა და მარცვლებს შორის კავშირის შესუსტებას გამოიწვევს. ამიტომ წნევით დამუშავებისას ფოლადის ზედაპირზე ბზარი, ნაპრალი და სხვა სახის დეფექტი ადვილად მიიღება. ამ მოვლენას ცხლადმეტეხობა ეწოდება.

რაც შეეხება მანგანუმის სულფიდს, იგი პირიქით, საკმაოდ ძნელდნობადია (1620⁰C) და ფოლადში განცალკევებული ჩანართების სახით ნაწილდება. ფოლადის ხარისხს MnS გაცილებით უფრო ნაკლებად აუარესებს, ვიდრე FeS. ამიტომ ფოლადში მანგანუმი ყოველთვის იმ რაოდენობით უნდა იყოს, რომ მან შებოჭოს მთელი გოგირდი და არ დაუშვას FeS-ის წარმოქმნა. FeS მხოლოდ იმ შემთხვევაში მიიღება, როდესაც ფოლადში მანგანუმი არასაკმარის რაოდენობითაა.

ამრიგად, FeS-ის რაოდენობისა და მისი განაწილების ხასიათის გამოვლენა შესაძლებლობას იძლევა ვიმსჯელოთ ფოლადის ხარისხზე.

ფოლადში გოგირდის ლიკვაციის გამოსავლენად გამოიყენება მეთოდი, რომელიც შემდეგი თანამიმდევრობით სრულდება:

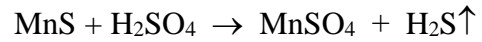
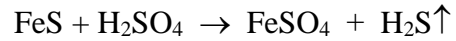
წინასწარ მომზადებული მაკროხეხი აბრაზიული მასალის ნარჩენებისა და ლითონის მტვრისაგან სპირტიანი ბამბით იწმინდება. ბრომ-გერცხლიანი ფოტოქადალდი 5-10 წუთის განმავლობაში სინათლეზე სველდება გოგირდმუავას 5%-იან წყალხსნარში და შემდეგ, ჭარბი ხსნარის მოცილების მიზნით, ოდნავ აშრობენ ფილტრის ქადალდებს შორის. ასეთნაირად დამუშავებულ ფოტოქადალდს ემულსიური მხრით მჭიდროდ აკრავენ მაკროხეხს, 2-3 წუთის შემდეგ მას ფროთხილად ხსნიან, რეცხავენ წყლით, აფიქსირებენ ჰიპოსულფიტის 25%-იან წყალხსნარში, კვლავ რეცხავენ გამდინარე წყლით და აშრობენ.

მაკროხეხის იმ უბნებში, სადაც თავმოყრილია გოგირდის ნაერთები, მიმდინარე-

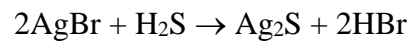


სურ. 2.3. გოგირდის ლიკვაცია ფოლადში

ობს რეაქცია ამ ნაერთებსა და ფოტოქა-
ლალით შეწოვილ გოგირდმუკავას შორის:



რეაქციის შედეგად გამოყოფილი გო-
გირდწყალბადი ურთიერთქმედებს ფოტო-
ემულსიის შედგენილობაში შემავალი ბრო-
მიანი ვერცხლის კრისტალებთან და მუქ-
ყავისფერ გოგირდოვან ვერცხლს წარმოქმ-
ნის:



ცხადია, გოგირდით მდიდარ უბნებში
მეტი H_2S გამოიყოფა და, მაშასადამე, მეტი

Ag_2S მიიღება. ფოტოქადალდზე წარმოქმნილი ყავისფერი უბნები სულფიდების (გო-
გირდის) თავმოყრის ადგილებს უჩვენებს და მაკროსხეხის კვეთში მათი განაწილების
საკმაოდ ნათელ სურათს იძლევა.

თუ გამოსაკვლევი ფოლადის ცალკეულ უბნებში ფოსფორი დიდი
რაოდენობითაა, ისიც მონაწილეობს რეაქციაში, რის შედეგადაც მუქად შეფერილი
ფოსფიდები წარმოიქმნება.

2.3 სურათზე ჩანს გოგირდის შესამჩნევი არათანაბარი განაწილება ფოლადში.

ნახშირბადისა და ფოსფორის ლიკვაციის გამოსავლენად რეკომენდებულია შემ-
დეგი რეაქტივის გამოყენება: ქლორიანი სპილენძი (CuCl_2) - 85 გ; ამონიუმქლორიდი
(NH_4Cl) - 53 გ; წყალი - 1000 მლ.

წინასწარ მომზადებულ მაკროსხეხს სპირტში დასველებული ბამბით წმენდენ და
1-2 წუთის განმავლობაში ტვირთავენ რეაქტივში. დაყოვნების პერიოდში რკინა იხსნე-
ბა რეაქტივში და გამოდევნის სპილენძს, რომელიც ნიმუშის ზედაპირზე ილექება. აბა-
ზანიდან ამოღების შემდეგ ნიმუშის მთელი ზედაპირი დაფარული უნდა იყოს სპილენ-
ძით. წყლის ჭავლით ნიმუშის ზედაპირიდან ჩამორეცხავენ სპილენძის ფენას და მაკ-
როსხეხს ასუფთავებენ სველი ბამბით. ნიმუშს აშრობენ.

ნახშირბადითა და ფოსფორით მდიდარ უბნებში სპილენძი ნაკლები ინტენსიურო-
ბით გამოიყოფა ხსნარიდან, ამიტომ ლითონის ეს ზედაპირი ნაკლებად იქნება დაცუ-

ლი ქლორიანი მარილების ზემოქმედებისაგან და უფრო მუქად შეიღებება. შესაბამისად, ღია უბნები მაკროსხეხის ზედაპირზე ფოსფორის მცირე შემცველობაზე მიუთითებს.

საუკეთესო შედეგი მიიღება ფოლადებში, რომლებიც ნახშირბადს 0,6%-მდე შეიცავენ. თუ ფოლადში ნახშირბადის რაოდენობა მეტია, სპილენძის ნალექი მაკროსხეხიდან ძნელად ირეცხება.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. მოამზადეთ მაკროსხეხი და აღწერეთ მისი მომზადების თანამიმდევრობა;
2. გამოამუღავნეთ გოგირდის განაწილების სურათი ფოლადში და ახსენით სათანადოდ.
3. წერილობით აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. ჩატარეთ ორი სხვადასხვა დნობის ტემპერატურის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული ლილვაკის ნიმუშების მაკროანალიზი და განსაზღვრეთ, რომელი მათგანია დამზადებული უფრო მაღალი ხარისხის ფოლადისაგან გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობის მიხედვით;
2. სქემატურად გამოსახეთ გამოამუღავნებული მაკროსტრუქტურები;
3. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 3

კრისტალიზაციის პროცესის შესწავლა. ფოლადის ზოდის აგებულება

კრისტალიზაციის პროცესი მიმდინარეობს თხევად ფაზაში კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვითა და მათი ზრდით. კრისტალიზაციის ცენტრთა რიცხვი და კრისტალების ზოდის სიჩქარე დამოკიდებულია გადაცივების ხარისხზე.

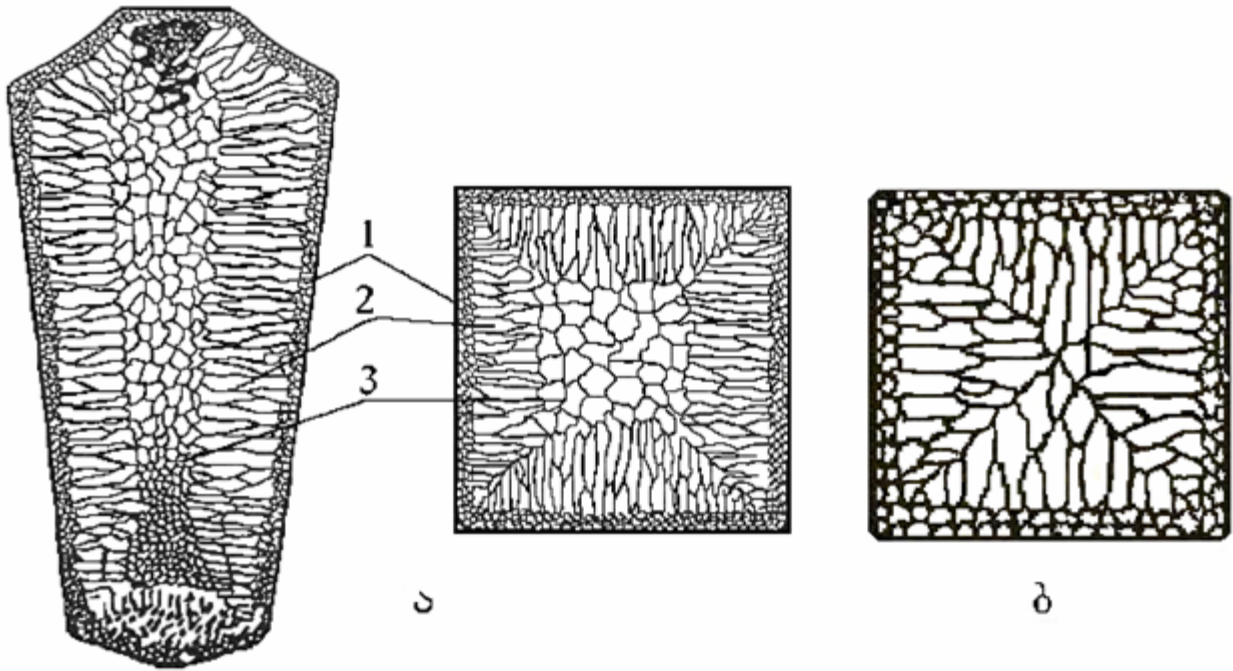
რეალურ პირობებში მიმდინარე კრისტალიზაციის პროცესი გართულებულია მრავალი ფაქტორის ზეგავლენით, რომლებიც ისე ძლიერად მოქმედებენ პროცესზე, რომ გადაცივების ხარისხი შეიძლება რაოდენობრივად მეორეხარისხოვანი გახდეს. რეალურ პირობებში კრისტალიზაციის პროცესზე მოქმედი ფაქტორებიდან პირველხარისხოვან როლს ასრულებს სითბოს გაცემის სიჩქარე, მიმართულება და ლითონში უხსნადი ნაწილაკების არსებობა, რომლებიც შეიძლება კრისტალიზაციის მზა ცენტრებად მოგვევლინოს.

სითბოს გაცემის საპირისპირო მიმართულებით კრისტალი უფრო სწრაფად იზრდება, ვიდრე ნებისმიერი სხვა მიმართულებით. თუ მზარდ კრისტალზე წარმოიქმნა გამონაზარდი, მაშინ კრისტალი უნარს ღებულობს გაიზარდოს ამ მიმართულებითაც და მიიღება განშტოებები. ამრიგად, გამყარების შემდეგ ფორმირდება ხისმაგვარი აგებულების კრისტალი, რომელსაც დენდრიტი ეწოდება. დენდრიტებს შორის არსებული სიცარიელე შემდგომში მარცვლამდე ივსება.

როგორც აღვნიშნეთ, რეალურ პირობებში მიმდინარე კრისტალიზაციის პროცესი გართულებულია სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებით. ამ გაუთვალისწინებელი ფაქტორების შეხამება კრისტალიზაციის საერთო კანონზომიერებებთან განსაზღვრავს სწორედ ფოლადის ზოდის აგებულების თავისებურებას.

ზოდის აგებულება ადვილად შეისწავლება მაკროსტრუქტურული კვლევით მის გრძივ ან განივ კვეთში. 3.1 ა სურათზე მოცემულია ფოლადის ზოდის აგებულების სქემა. ზოდის ჩამოსხმა და მისი კრისტალიზაცია თუჯის ბოყვში ხდება. მაქსიმალური სიჩქარით ლითონი ბოყვის კედლებთან ცივდება, ამიტომ აქ გამყარება დიდი გადაცივებით ხდება. ეს უზრუნველყოფს კრისტალიზაციის ცენტრების დიდ რაოდენობას და, ამრიგად, ბოყვის კედლებთან წარმოიქმნება ლითონის ძალიან წვრილმარცვლოვანი შრე, რომელსაც ზოდის ქერქი ეწოდება (სურ. 3.1 ა, ზონა 1).

ქერქის წარმოქმნის მომენტიდან ლითონის გაცივების სიჩქარე მცირდება, რად-



სურ. 3.1. ფოლადის ზოდის აგებულებისა (ა) და ტრანსკრისტალიზაციის (ბ) სქემები

გან ქერქი და აგრეთვე ბოყვსა და ქერქს შორის წარმოქმნილი ჰაერის თხელი შრე ერთგვარ საიზოლაციო ფენის როლს ასრულებენ. იცვლება სითბოს გაცემის პირობები, ტემპერატურული გრადიენტი თხევადი ლითონის მიმდებარე ფენებში მკვეთრად მცირდება. მცირდება აგრეთვე ლითონის გადაცივების ხარისხი. მცირე რაოდენობის ცენტრებიდან იწყება ქერქის ზედაპირისადმი ნორმალურად ორიენტირებული სვეტისებრი კრისტალების ზრდა. ახალი კრისტალები ქერქის მარცვლებზე იწყებს დაშენებას და ერთმანეთის პარალელურად, სითბოს გაცემის საპირისპირო მიმართულებით (ქერქიდან შიგნით) იზრდება. ამ ზონას სვეტისებრი კრისტალების ზონა ეწოდება (სურ. 3.1 ა, ზონა 2).

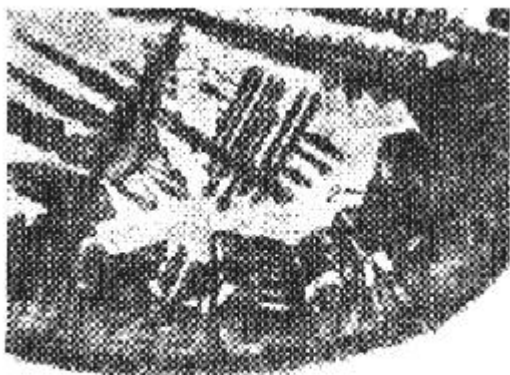
სვეტისმაგვარი კრისტალების ზონის წარმოქმნის შემდეგ კიდევ უფრო მცირდება გადაცივების ხარისხი. ზოდის ცენტრალურ ზონაში აღარ არის სითბოს გაცემის უპირატესი მიმართულება. ლითონის ტემპერატურა მის სხვადასხვა უბანში თითქმის თანაბრდება და ჩანასახის ცენტრებიდან კრისტალი ყველა მიმართულებით პრაქტიკულად ერთნაირი სიჩქარით იზრდება. ამის გამო მიიღება შედარებით მსხვილი, დაახლოებით ტოლდერძა და არაორიენტირებული კრისტალები. ამ ზონას ზოდის გული

ეწოდება (სურ. 3.1 ა, ზონა 3). ზოდის გულის წარმოქმნისას ჩანასახის ცენტრების როლს სხვადასხვა წვრილი ჩანართი ასრულებს, რომლებსაც თხევადი ლითონი შეიცავს ან შემთხვევით არის მასში მოხვედრილი.

თუ ზოდი შედარებით დიდი სიჩქარით ცივდება, შესაძლებელია მზარდი სვეტისებრი კრისტალები ერთმანეთს შეხვდნენ. მათი შეხვედრის ადგილზე კრისტალების მჭიდრო დაკავშირება არ ხდება და ზოდში სუსტი ადგილები მიიღება. ასეთ კრისტალიზაციას ტრანსკრისტალიზაცია ეწოდება (სურ. 3.1, ბ).

ლითონის კრისტალიზაციის პროცესზე უშუალო, ვიზუალური დაკვირვება გაძნელებულია. ამიტომ ხშირად კრისტალიზაციის პროცესს სხვადასხვა მარილის წყალხსნარზე დაკვირვებით შეისწავლიან ბინოკულარული მიკროსკოპის გამოყენებით.

ისევე, როგორც ლითონის ზოდის გამყარებისას, მარილის გადაჯერებული წყალხსნარის წვეთის კრისტალიზაციის პროცესშიც სამი ზონა შეინიშნება (სურ. 3.2). პირველი ზონა შედგენილია სწორი გეომეტრიული ფორმის წვრილი კრისტალებისაგან; მეორე ზონა ხასიათდება მსხვილი სვეტისებრი კრისტალური აგებულებით, ხოლო მესამე ზონაში გარკვევით ჩანს მკვეთრად გამოხატული დენდრიტული სტრუქტურა.



სურ. 3.2. NH_4Cl მარილის წვეთის აგებულება გამოკრისტალების შემდეგ

დავალება :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. ბინოკულარული მიკროსკოპის საშუალებით დააკვირდით სხვადასხვა მარილის გადაჯერებული წყალხსნარის წვეთის კრისტალიზაციის პროცესს;
2. სქემატურად ჩახაზეთ პროცესისათვის დამახასიათებელი რამდენიმე საფეხური, გამოკრისტალებული წვეთის სტრუქტურა და დაახასიათეთ იგი;
3. ჩახაზეთ ფოლადის ზოდის განივი ტეხილის მაკროსტრუქტურა. ახსენით კრისტალიზაციის რამდენიმე ზონის წარმოქმნის მიზეზი.
4. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში

II. მიკროსკოპული ანალიზი

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

ლითონის აგებულების კვლევას სპეციალურად მომზადებულ ნიმუშზე მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საშუალებით (50-2000-ჯერ გადიდებისას), კვლევის მიკროსკოპული მეთოდი ეწოდება. უფრო დიდ გადიდებაზე (100 000-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 შენადნობის შინაგანი აგებულების ცვლილებაზე;
3. ლითონში არსებული მიკრომანკები – მიკრობზარები, ნიჟარები და სხვა;

4. არალითონური ჩანართები – სულფიდები, ჟანგეულები, 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 თანამიმდევრობით დამუშავდეს (ხეხვა, გაპრიალება, ამოჭმა). მიკროკვლევისათვის მომზადებულ ნიმუშს მიკროხეხი ეწოდება.

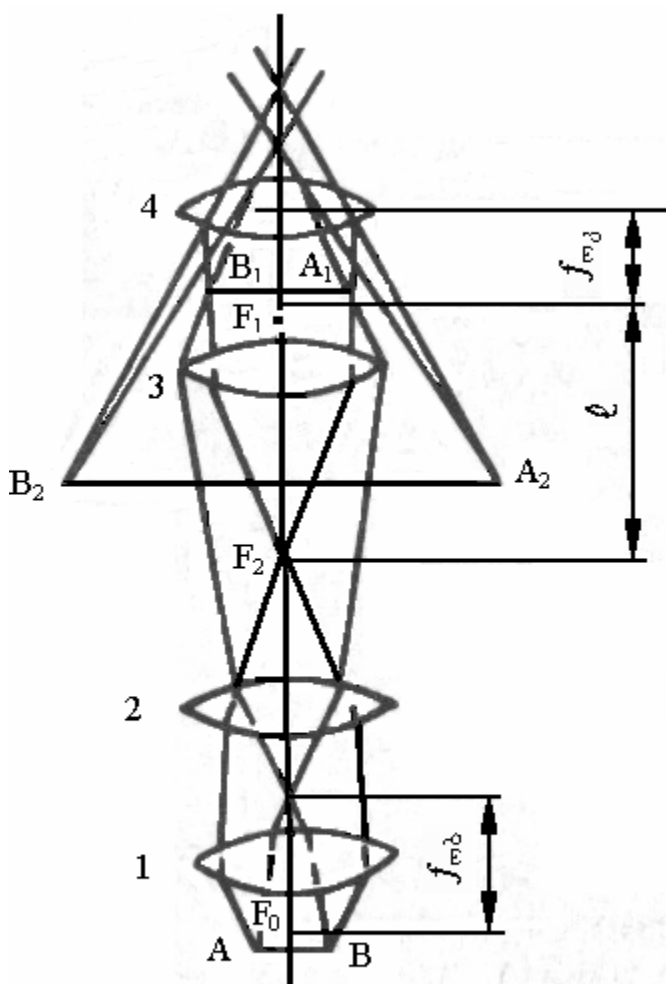
ამრიგად, მიკროსკოპული ანალიზი ორ ძირითად ეტაპს მოიცავს: 1. მიკროხეხის მომზადებას; 2. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საშუალებით მიკროხეხის კვლევას.

ლაბორატორიული სამუშაო 4

მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის გაცნობა და მასზე მუშაობის პრაქტიკული გამოცდილების შექმნა

მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპში (სურ. 4.1) ორი გამადიდებელი ოპტიკური 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 გამოძედილებული.

ობიექტივი არის ლინზების რთული კომპლექსი, რომელიც ერთ კორპუსშია აკრეფილი. მისი ფრონტალური ბრტყელ-ამოხნეკილი ლინზა განსაზღვრავს ობიექტივის გამადიდებლობას, ხოლო რამდენიმე საკორექციო ლინზა ხსნის არასასურველ ოპტიკურ ეფექტს – ქრომატულსა და სფერულ აბერაციებს, რომლებიც წარმოიქმნება სინათლის სხივის ფრონტალურ ლინზაში გავლისას. ობიექტივის კორპუსზე მითითებულია მისი F ფოკუსური მანძილი და A აპერტურა.



სურ. 4.1. მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემის გამარტივებული სქემა

ობიექტივის გამადიდებლობას, ხოლო რამდენიმე საკორექციო ლინზა ხსნის არასასურველ ოპტიკურ ეფექტს – ქრომატულსა და სფერულ აბერაციებს, რომლებიც წარმოიქმნება სინათლის სხივის ფრონტალურ ლინზაში გავლისას. 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 ნიმუში თავსდება ობიექტივის წინ მისი F ფოკუსიდან მცირე მანძილზე. საგნის განათებისას სინათლის სხივი ნიმუშიდან აირეკლება, გარდატყდება ობიექტივის 1 და 2 ლინ-

ზებში, გაივლის ოკულარის 3 ლინზაში და იძლევა საგნის ნამდვილ, შებრუნებულ და გადიდებულ B_1A_1 გამოსახულებას. თვალთ დაკვირვებისას ლინზა, რომელიც ამ შემთხვევაში ლუბის როლს ასრულებს, იძლევა საგნის წარმოსახვით, გადიდებულ და შებრუნებულ B_2A_2 გამოსახულებას, რომელიც მიკროსკოპში შესასწავლი საგნის საბოლოო სახეა. ჩვეულებრივ, გამოსახულება ოკულარიდან 250 მმ-ზე პროექტირდება.

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

$$d = \frac{\lambda}{A},$$

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

A – ობიექტივის რიცხობრივი აპერტურა.

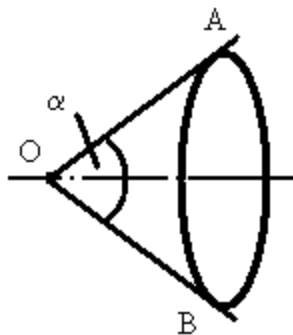
გამოსაკვლევი ნიმუში ობიექტივში არეკლავს სინათლის კონუსისებურ ნაკადს. კონუსის კუთხე ისეთია, რომ მიკროსკოპის ობიექტივში ყველა სხივი ვერ გაივლის. აქედან გამომდინარეობს ობიექტივის რიცხობრივი აპერტურის ცნება.

ობიექტივის ლინზის რიცხობრივი აპერტურა განისაზღვრება ფორმულით:

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

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

α - ობიექტივის ნახვრეტის ანუ აპერტურული კუთხე, რომელსაც ქმნის საკვლევი ნიმუშიდან არეკვლილი OA და OB ზღვრული სხივები (სურ. 4.2).



სურ. 4.2. ობიექტივის ლინზის აპერტურული კუთხე

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

ჩვეულებრივ პირობებში მომუშავე მიკროსკოპში ობიექტივისა და გამოსაკვლევ საგანს შორის ჰაერია.

ასეთ ობიექტივს მშრალი ობიექტივი ეწოდება.

რადგან ობიექტივის აპერტურული კუთხე პრაქტიკულად 144° -ს შეადგენს,

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0,95 \approx 1.$$

ჰაერის გარდატეხის კოეფიციენტი $\lambda - 1$; ამ პირობებისათვის რიცხობრივი აპერტურის უდიდესი მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$2n \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,$$

ხოლო გარჩევის უნარი

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

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

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

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

$$N_m = N_{ob} N_{ok}$$

ობიექტივის გამადიდებლობა

$$N_{ok} = \frac{\ell}{f_{ob}},$$

სადაც ℓ არის ტუბუსის ოპტიკური სიგრძე, ე.ი. მეზობელ F_1 და F_2 ფოკუსებს შორის მანძილი (სურ. 4.1);

f_{ob} – ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

ოკულარის გამადიდებლობა $N_{ok} = \frac{250}{f_{ok}},$

სადაც f_{ok} არის ოკულარის ფოკუსური მანძილი.

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

$$N_m = \frac{\ell}{f_{ob}} \times \frac{250}{f_{ok}}.$$

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

$$M = \frac{d_1}{d_2},$$

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

$$M = \frac{300}{0,3} = 1000,$$

ხოლო იმერსიული ობიექტივით მუშაობისას

$$M = \frac{300}{0,2} = 1500.$$

სიმკვეთრის სიღრმე. სიმკვეთრის სიღრმე არის ობიექტივის თვისება, მკაფიოდ ასახოს გამოსაკვლევ 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 რიცხობრივი აპერტურის მქონე ობიექტივის გამოყენება.

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

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

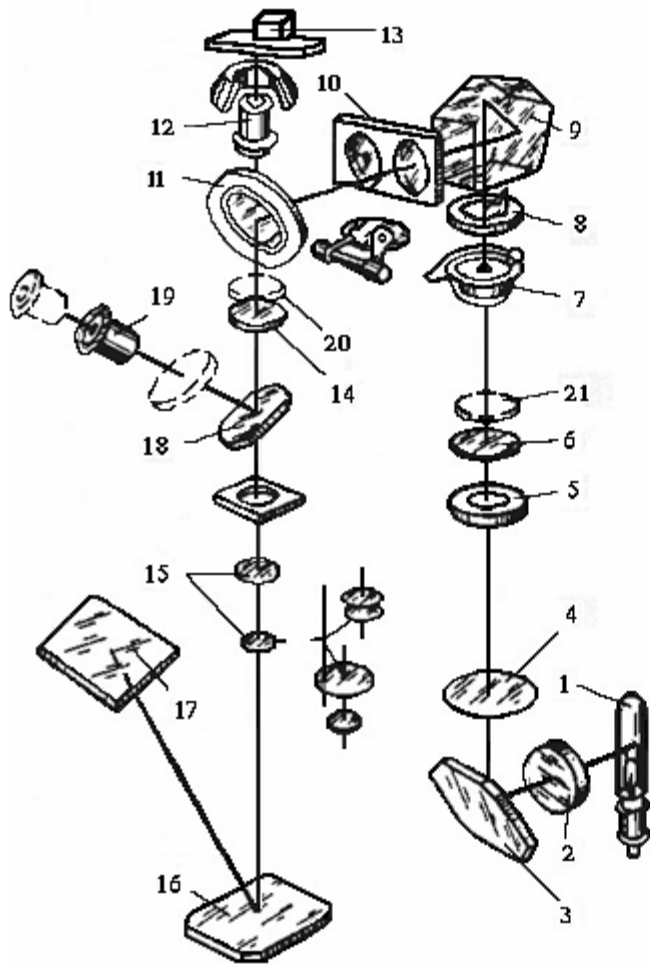
ა. ოპტიკური სისტემა. МИМ-7 ტიპის მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემა შედგება ობიექტივის, ოკულარისა და მრავალი დამხმარე ოპტიკური ელემენტისაგან (სურ. 4.3).

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

ვიზუალური დაკვირვებისას ოპტიკურ სისტემაში ჩართულია 18 სარკე, რომელიც სხივს 19 ოკულარის მიმართულებით გადახრის. მიკროსტრუქტურის ფოტოგადაღებისათვის 18 სარკე ტუბუსის ზედა კიდურა მდგომარეობამდე ამოწვევით გამოითიშება ოპტიკური სისტემიდან და სხივი 15 ფოტოოკულარის გავლით მიემართება 16 სარკისკენ, 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 მიკროხესიდან არეკვლილი პოლარიზებული სხივის კონცენტრაციას ახდენს, ოკულარის წინ ან ობიექტივსა და ოკულარს შორის მაგრდება.

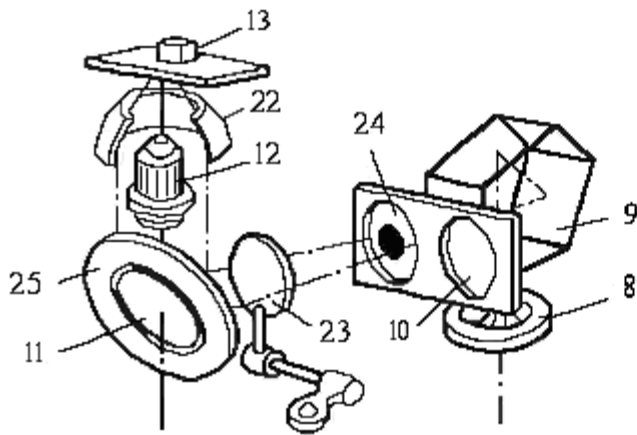
პოლარიზებული სინათლის სხივით შეისწავლება შენადნობები, რომელთა ფაზები შედგენილია არაკუბური სისტემის კრისტალური გისოსისაგან. თუ გამოსაკვლევ ობიექტი ოპტიკურად იზოტროპულია, პოლარიზატორისა და ანალიზატორის შესა



სურ. 4.3. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემის სქემა
 1. ნათურა; 2. კოლექტორი; 3. სარკე; 4. მუქ-ფილტრი; 5. აპერტურული დიაფრაგმა; 6. ლინზა; 7. ფოტოჩამკეტი; 8. მხედველობის არის დიაფრაგმა; 9. პენტაპრიზმა; 10. ლინზა; 11. ამრეკლი ფიფიტა; 12. ობიექტივი; 13. გამოსაკვლელი ობიექტი; 14. აქრომატული ლინზა; 15. ფოტოკულარი; 16. სარკე; 17. ფოტოკამერის მქრქალი მინა; 18. სარკე; 19. ოკულარი; 20. ანალიზატორი; 21. პოლარიზატორი

ბამისი ურთიერთმდებარეობით შეიძლება სინათლე სრულად შთაინთქას, წინააღმდეგ შემთხვევაში სინათლე სრულად არ შთაინთქმება და ზოგი მარცვალის განათებული იქნება, ზოგი კი მუქად გამოჩნდება. თუ ჩანართები გამჭვირვალეა, ნიმუშიდან არეკე-ლილი სინათლის ნაწილი გარდატყდება მის გარე და შიგა ზედაპირებზე, ამიტომ ასეთი ხასიათის ჩანართები მიკროსკოპში ნათელი ლაქის სახით მოჩანს ან სხვა-დასხვაფრად იღებება. მაგალითად, სპილენძის შენადნობებში სპილენძის ქვეყანგის ჩანართები წითლად მოჩანს. ჩანართის გამჭვირვალეობის, ფერისა და ანიზოტროპიულო-ბის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გამოსაკვლელი ნიმუშის ბუნებაზე მსჯელობა.

მიკროსტრუქტურის წვრილი, რელიეფური აგებულების მკვეთრი გამომჟღავნები-სათვის (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 სის-



სურ. 4.4 მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემის სქემა მუქარიანი განათებისას

22. პარაბოლური სარკე; 23. საფარი; 24. ლინზა; 25. წრიული სარკე

ტემაში ჩართულია 24 ლინზა (სურ. 4.4), რომლის ერთ-ერთი ზედაპირის ცენტრალური ნაწილი დისკოს ფორმის გაუმჭვირი ლაქით არის დაფარული. იგი აკავებს სინათლის ნაკადის ცენტრალურ ნაწილს და ატარებს მხოლოდ განაპირა სხივებს, რომელიც 25 სარკეს წრიული რგოლის სახით ეცემა. იმისათვის, რომ სინათლის სხივი არ მოხდეს 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 მიკროსკოპს ეცემა. ამრიგად, მუქ არეში დაკვირვებისას ობიექტივი გამანათებელი სისტემიდან გამოთიშულია.

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

მიკროსკოპის ირიბი განათებით გამოკვლევისთვის საჭიროა 5 აპერტურული დიფრაგმა (სურ. 4.3) ან 1 სინათლის წყარო ოპტიკური ღერძის მიმართ გადაადგილდეს. მიკროსკოპში მიკროსკოპის გამოშვერილი ადგილები უფრო ნათლად მქლავდება და ჩრდილავს შესასწავლი მიკროსკოპის დანარჩენ ზედაპირს. აქედან გამომდინარე, კვლევის ამ მეთოდის ძირითადი უპირატესობა გამოსახულების კონტრასტის მკვეთრად გაზრდაა.

როგორც მუქ არეში დაკვირვებისას, ისე ირიბი განათების შემთხვევაში კარგად მქლავდება მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის წუნი – ნაკაწრები, წერტილოვანი დეფექტები, რელიეფი, რომლებიც მიკროსკოპის მომზადებისას მიიღება. ამიტომ კვლევის ეს

მეთოდები ხშირად მიკროსხეხის მომზადების ხარისხის შესამოწმებლად გამოიყენება.

ბ. 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 ვ სიმძლავრეზე), რომელიც დენს Tp-17 დამადაბლებელი ტრანსფორმატორიდან ღებულობს.

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

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

მიკროსხეხი თავსდება 8 საგნის მაგიდაზე (სურ. 4.5) გამოსაკვლევი ზედაპირით ქვემოთ, ობიექტივის ოპტიკური ღერძის პერპენდიკულარულად. მაგიდას აქვს ფანჯარა, რომელშიც იდგმება სხვადასხვა დიამეტრის ცენტრალური ხვრელის მქონე საცვლელი 18 ქვესადები. სინათლის სხივი მიკროსხეხს ქვესადების ხვრელის გავლით ეცემა. ჰორიზონტალური სიბრტყის ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით საგნის

მაგიდის გადაადგილება ხორციელდება სათანადო 9 ხრახნების საშუალებით, რაც უზრუნველყოფს მიკროსხეხის სხვადასხვა უბნის გამოკვლევას შერჩეული ფოკუსური მანძილის შეუცვლელად.

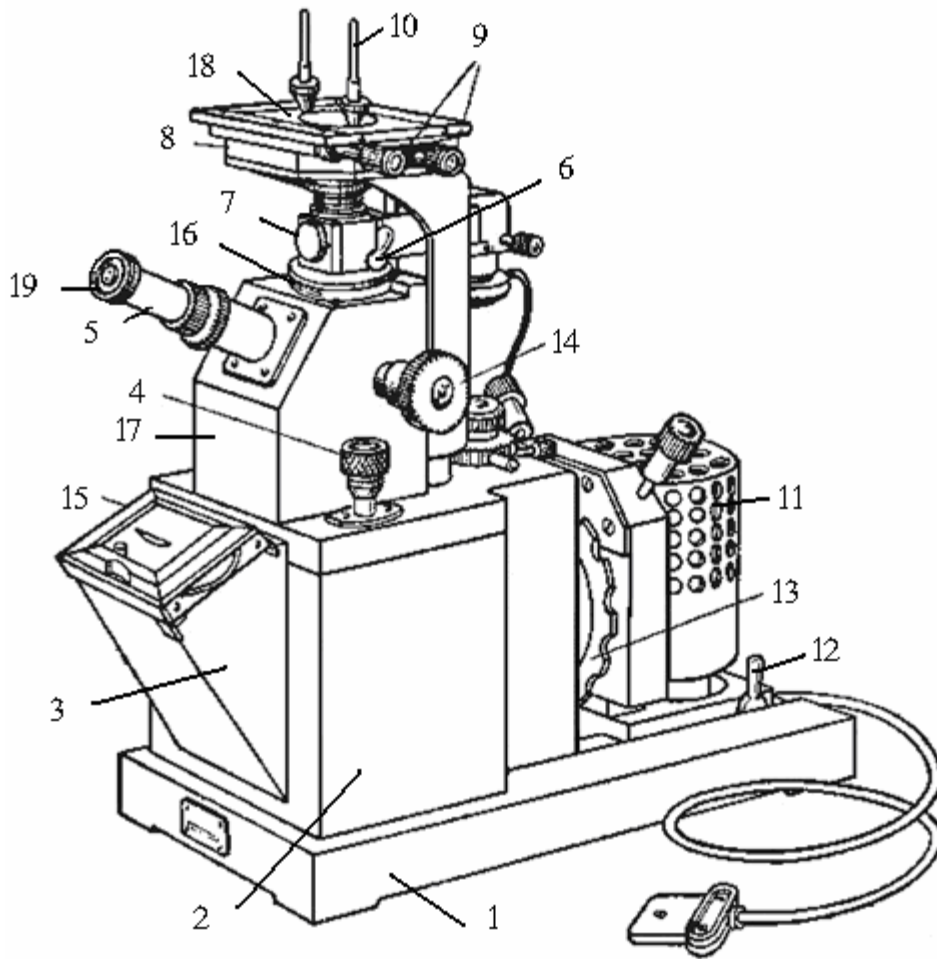
მკაფიო გამოსახულების მისაღებად საჭიროა, ნიმუშის გამოსაკვლევი ზედაპირი ფოკუსში დადგეს. ამ მიზნით მიკროსკოპის კორპუსში გათვალისწინებულია 14 მაკრომეტრული ხრახნი, რომლის შემობრუნებით საგნის მაგიდა ვერტიკალურ სიბრტეში გადაადგილდება. ეს უზრუნველყოფს ობიექტივთან ნიმუშის მიახლოებას ან დაშორებას და ამით მის დაახლოებით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

19 ოკულარი თავსდება ვიზუალური 5 ტუბუსის სიდრეში, ხოლო ობიექტივი – ილუმინატორის 7 ტუბუსში.

გამადიდებლობის შერჩევა. ნიმუშის მიკროსტრუქტურული კვლევისათვის წინასწარ ირჩევენ გამადიდებლობას, რასაც ობიექტივისა და ოკულარის წყვილი განსაზღვრავს. ამ მიზნით პრაქტიკულად 4.1 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 $N=1000A$ – ზედას. თუ მიკროსკოპის საერთო გამადიდებლობა ქვედა ზღვარზე ნაკლებია, სრულად არ იქნება გამოყენებული მიკროსკოპის გარჩევის უნარი, ხოლო 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 $0,37 \times 500 \div 0,37 \times 1000$ ანუ 185-სა და 370-ს შორის. რადგან $0,37$ აპერტურის მქონე ობიექტივის გამადიდებლობა 24,5-ის ტოლია, ამიტომ ამ პირო-



სურ. 4.5 МИМ-7 მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის საერთო ხედი

1. სადგარი; 2. ფოტოკამერის კორპუსი; 3. ფოტოკამერა; 4. მიკრომეტრული ხრახნი; 5. ვიზუალური ტუბუსი; 6. საფარი; 7. ილუმინატორის ტუბუსი; 8. საგნის მაგიდა; 9. პორიზონტალურ სიბრტყეში სამასალო მაგიდის გადასადგილებელი ხრახნები; 10. საკვლევი ობიექტის სამაგრი; 11. გამანათებლის ფარანი; 12. გამანათებელი სისტემის ფიქსატორი; 13. შუქფილტრების დისკო; 14. მაკრომეტრული ხრახნი; 15. მქრქალმინიანი ჩარჩო; 16. დაცენტრების მექანიზმი; 17. მიკროსკოპის კორპუსი; 18. საცვლელი ქვესადები; 19. ოკულარი

ბას 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.

ცხრილი 4.1.

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) გამოიყენება მხოლოდ ნათელ არეში მუშაობისას	575	1000	1350	500	720	1080	1440
71,7 ^x (F=2,79; A=1,00)	575	1000	1350	500	720	1080	1440

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 საილუსტრაციო მასალად გამოყენებისა, იგი მკვლევარს დიდ დახმარებას გაუწევს მიკროსტრუქტურული კვლევის შედეგად მიღებული ინფორმაციის ანალიზის ჩატარებისას. არც თუ ისე იშვიათად, მიკროფოტოგრაფიით მუდავნდება სტრუქტურის ისეთი ახალი თავისებურებანი, 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 ქაღალდზე ჩახატვა სქემის სახით შედარებით უფრო იოლია. გარდა ამისა, ჩახატვით შეიძლება სტრუქტურის არსებითი დეტალების ფიქსირება მეორეხარისხოვანი, შემთხვევითი დეტალების უგულვებელყოფით, რომლებიც შეიძლება ნიღბავდნენ 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 ხასიათდება ობიექტურობით და საშუალებას იძლევა ადვილად გამრავლდეს გამოსახულების ასლი, რაც ხშირად აუცილებელია პრაქტიკული მუშაობისათვის.

მიკროსტრუქტურის გადასაღებად უნდა შეირჩეს გამოსაკვლევი ზედაპირის ყველაზე საინტერესო და სახასიათო უბანი, რის შემდეგ მიკროხეხიდან არეკვლილი სხივი წინასწარ დაყენებული საპროექციო ოკულარის (ფოტოოკულარის) გავლით მიკროსკოპის ფოტოკამერის მქრქალ მინაზე გადააქვთ. ამ მიზნით ვიზუალურ ტუბუსს (5, სურ. 4.5) ზედა კიდურა მდგომარეობამდე ამოსწევენ. ცხადია, ამ შემთხვევაში ვიზუალური დაკვირვებისათვის გათვალისწინებული ოკულარი სისტემიდან გამოთიშულია და მიკროსკოპის გამადიდებლობას ობიექტივთან ერთად ფოტოოკულარი (15, სურ. 4.3) განსაზღვრავს. მიკროსტრუქტურის დაფოკუსების შემდეგ მქრქალი მინა სპეციალურ კასეტაში მოთავსებული ფოტოფირით იცვლება.

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

მიკროსტრუქტურის გადაღებისათვის გამოიყენება ფერადი შუქისადმი მგრძობი-

არე 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.

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ МИМ-7 მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის მუშაობის პრინციპი;
2. შეისწავლეთ წინასწარ მომზადებული მიკროხეხი სხვადასხვა გადიდების შემთხვევაში და სქემატურად ჩაიხაზეთ მისი მიკროსტრუქტურა კვადრატში, რომლის ზომებია 60x60 მმ;
3. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. შეირჩიეთ ობიექტივი და ოკულარი მიკროსტრუქტურის სხვადასხვა გამაღიძვლებლობისათვის გარჩევის უნარისა და სიმკვეთრის სიღრმის გათვალისწინებით;
2. დააკვირდით სუფთა ლითონების სხვადასხვა ნიმუშს ნათელი და მუქარიანი განათების პირობებში და გამოავლინეთ სტრუქტურის თავისებურებანი;
3. ციფრული ფოტოაპარატით დააფიქსირეთ გამოკვლეული მიკროსტრუქტურის სახასიათო მიკროუბნები და წარმოადგინეთ ელექტრონული ვერსიით;
4. ახსენით, რა პრინციპით იძლევა მიკროანალიზი მარცვლის საზღვრების გამომჟღავნებას;
5. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 5

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.

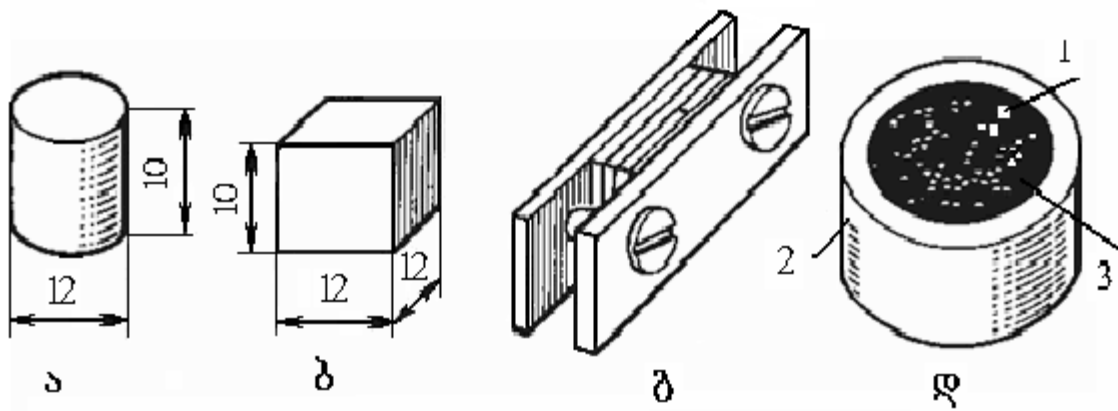
ა. ნიმუშის ამოჭრა და მონტაჟი. მიკროსკოპული ანალიზის ჩასატარებლად განკუთვნილი ნიმუში უნდა ამოიჭრას გამოსაკვლევი მასალის იმ ადგილიდან, რომელიც კვლევისთვის ყველაზე საინტერესო უბანს წარმოადგენს. მასალის უფრო სრულყოფილად დახასიათებისთვის მიზანშეწონილია ნიმუშის ამოჭრა რამდენიმე ადგილიდან. ერთი და იმავე კვლევის 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 მიკროსხეი უნდა მომზადდეს. მაგალითად, თუ გამოსაკვლევი ობიექტი ნაგლინია, მაშინ მიკროსხეი იმ ზედაპირზე უნდა მომზადდეს, რომელიც კარგად დაახასიათებს გლინვის დროს ლითონის დინების მიმართულებას.

რბილი მასალიდან, მაგალითად, მომწვარი ფოლადიდან ნიმუშის ამოჭრა შეიძლება განხორციელდეს ლითონსაჭრელ ჩარხზე, მექანიკური ან ხელის პატარა ხერხით, ხოლო სალი მასალებიდან, მაგალითად, ნაწრთობი ფოლადიდან – თხელი აბრაზიული ქარგოლის გამოყენებით. ამასთან მხედველობაში მივიღოთ, რომ ამოჭრისა და შემდგომი მექანიკური დამუშავების დროს ნიმუში არ უნდა გახურდეს 100°C -ზე მეტად, რადგან ამან შეიძლება გამოიწვიოს სტრუქტურისა და, აქედან გამომდინარე, ლითონის თვისებების შეცვლა.

მიკროსკოპული ანალიზისათვის ნიმუშის ყველაზე ხელსაყრელი ცილინდრული ($d=10\div 15$ მმ, $h=(0,7\div 0,8)d=7\div 12$ მმ) ან კუბური ($a=10\div 15$ მმ) ფორმაა (სურ. 5.1, ა, ბ).

თუ მასალის კვეთი იმდენად მცირეა, რომ მისგან აღნიშნული ზომის ნიმუშის დამზადება შეუძლებელია (მაგალითად, მავთული, ფურცელი, წვრილი მჭრელი იარაღი და სხვა), მაშინ მიკროსხეის დამუშავების გასაადვილებლად გამოსაკვლევი ლი-



სურ. 5.1. მეტალოგრაფიული ნიმუშის ნორმაკური ზომები (ა,ბ) და სამარჯვები მიკროსხვის ჩასამაგრებლად (გ,დ)

1. ნიმუში; 2. მილაკი; 3. ადვილდნობადი შენადნობი

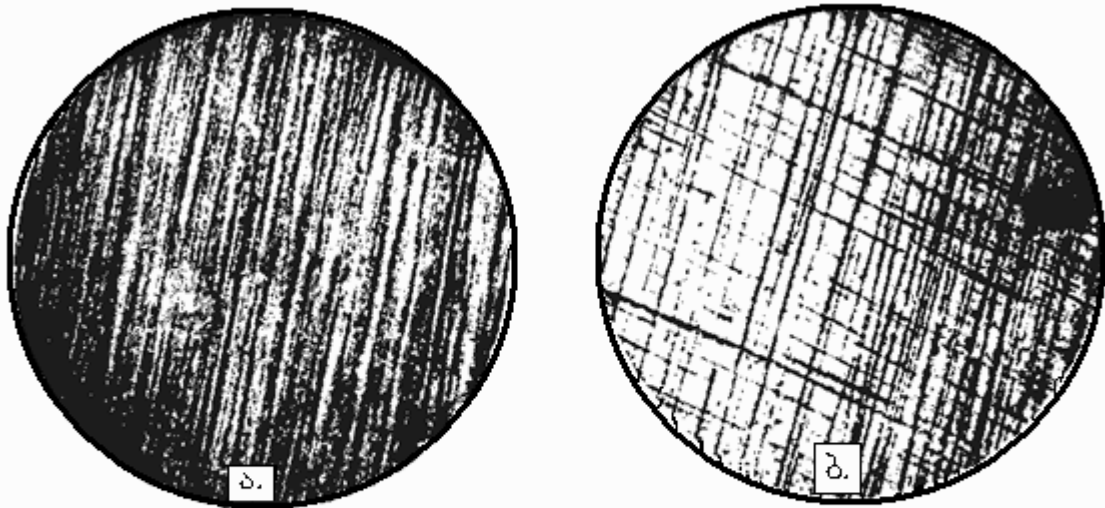
თონის ნაჭერი სხვადასხვა სახის სამარჯვში მაგრდება (სურ. 5.1, გ, დ). ადვილდნობად მასალაში ნიმუშის ჩამაგრება შემდეგნაირად ხდება: ცილინდრული ნიმუშის ზომის მილაკში, რომელიც ლითონის ან კერამიკულ ფილაზეა მოთავსებული, ნიმუში ისე ჩაიდგმება, რომ გამოსაკვლევი ზედაპირით ფილას შეეხოს. ასეთნაირად მომზადებული მილაკი გამდნარი გოგირდით (დნობის ტემპერატურა 110-112⁰C), ეპოქსიდით ან რომელიმე ადვილდნობადი შენადნობით (50%Bi, 26,5%Pb, 10%Cd, 13,5%Sn. დნობის ტემპერატურა 70⁰C) შეივსება. წვრილი ნიმუშის ჩამაგრება პლასტმასაში (ბაკელიტი, პოლისტიროლი) ჩაწნეხითაც შეიძლება.

ბ. ნიმუშის ხეხვა. მიკროსხვის დამზადება ნიმუშის გამოსაკვლევი ზედაპირის გასწორებით იწყება, რაც ქლიბით (თუ მასალა რბილია) ან ხეხვით ხორციელდება. მიღებული ბრტყელი ზედაპირი შემდგომ სხვადასხვა მარცვლოვნების მქონე (სხვადასხვა ნომრის) ზუმფარის ქაღალდზე მუშავდება. აბრაზიულ მასალად გამოიყენება სილიციუმის კარბიდი (SiC), ალუმინის ჟანგი (Al₂O₃), ალუმინის ჟანგისა და რკინის ჟანგის ნარევი (Al₂O₃+Fe₃O₄), ბორის კარბიდი (B₄C), აგრეთვე ალმასის ფხვნილი და პასტა.

ხელით ხეხვის დროს ზუმფარის ქაღალდს სქელ მინასა 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 თან-

დათანობით 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. ამასთან, ხეხვის მიმართულება 90⁰-ით იცვლება, რაც აადვილებს მოცემული ნომრის ზუმფარის ქაღალდზე ხეხვის დამთავრების მომენტის განსაზღვრას – მოცემული მარცვლოვნების ქაღალდს მანამ ხეხავენ, სანამ სრულად არ მოისპობა წინა ოპერაციის შედეგად მიღებული ნაკაწრები. 5.2. სურათზე ნახვენებია 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.

კარგი ხარისხის ზედაპირის მისაღებად ხეხვის პროცესი თავიდანვე სწორად და გულდასმით უნდა ჩატარდეს. დაუშვებელია მსხვილმარცვლოვანი ზუმფარის ქაღალდიან წვრილმარცვლოვანზე გადასვლა შუალედური ნომრების გამოტოვებით. ასეთ შემთხვევაში ნიმუშის ზედაპირზე არსებული ღრმა ნაკაწრები სრულად არ იხსნება,



სურ. 5.2. მიკროხეხის მომზადების სხვადასხვა ხარისხი

- ა. ზედაპირი მზადაა შედარებით წვრილ აბრაზივზე დამუშავებისთვის;
- ბ. საჭიროა მოცემული მარცვლოვნების აბრაზივზე დამუშავების გაგრძელება

მათ შორის სიცარიელე ლითონის მტვერითა და აბრაზივით ივსება და ზედაპირი ერთი შეხედვით კარგად მომზადებული გვეჩვენება (ასეთ დამუშავებას ცრუ ხეხვა ეწოდება). ზედაპირის შემდგომი დამუშავებისას (გაპრიალება, რექტივით დამუშავება) ადვილად ხსნადი ლითონის მტვერი ზედაპირს მოსცილდება და ღრმა ნაკაწრები კვლავ მკაფიოდ გამოჩნდება (სურ. 5.3).



სურ. 5.3 ცრუ ხეხვის სქემა

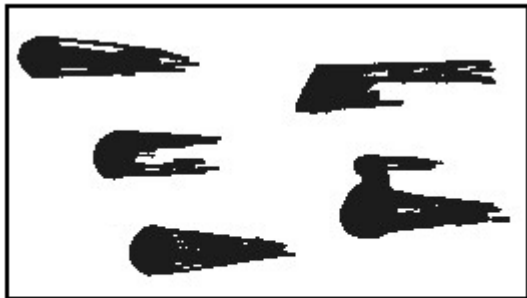
მიკროხეხვის ზედაპირი: ა. უხეში ხეხვის შემდეგ
 ბ. წმინდა ხეხვის შემდეგ;
 გ. რექტივით დამუშავების შემდეგ

მექანიკური ხეხვა ხორციელდება სპეციალურ სახეხ ჩარხზე, რომელსაც 200-250 მმ დიამეტრის რამდენიმე საცვლელი დისკო აქვს. დისკოებზე, რომლებიც ბრუნვას ელექტროძრავიდან ღებულობენ, აკრავენ ან აწებებენ ზუმფარის ქაღალდს. მექანიკური ხეხვა ანალოგიური მეთოდიკით ხორციელდება.

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

საპრიალებელი სითხე შემდეგი პროპორციით მზადდება: 1 ლ წყალში ვყრით 10-15 გ ქრომის ქანგს ან 5 გ ალუმინის ქანგს. შავი ლითონის გასაპრიალებლად უმრავლეს შემთხვევაში გამოიყენება პასტა, რომელიც შედგება ქრომის ქანგის, სტეარინის, ნავთის, ოლეინის მუავასა და სოდისაგან. გამაცივებელ სითხედ ბენზინი გამოიყენება. კარგი შედეგის მისაღებად საპრიალებელ დისკოზე ნიმუშის ძლიერად მიჭერა არ არის მიზანშეწონილი, რადგან ამან შეიძლება ზედაპირული ფენების დეფორმაცია და სტრუქტურის შეცვლა გამოიწვიოს. სასურველია ნიმუში ისე

დავიკავოთ, 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. 5.4).



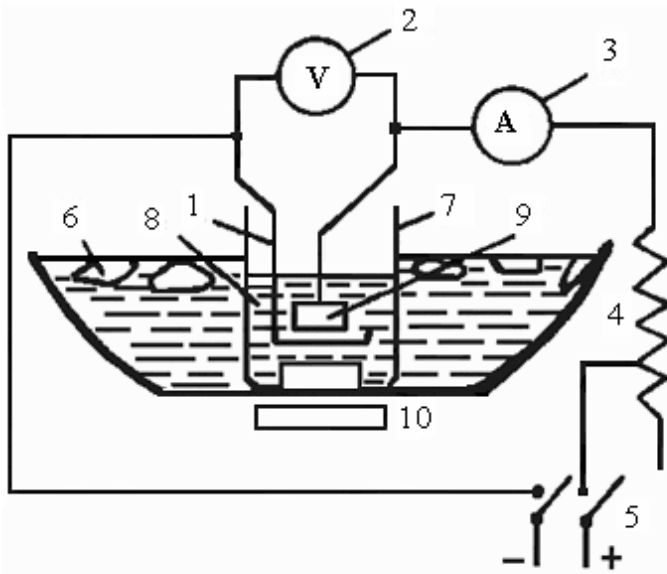
სურ. 5.4. მეტალოგრაფიული ხეხის მომზადების წუნი "კომეტის კუდი"

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 დეფორმაციას და სტრუქტურის დამახინჯებას. თუმცა ეს

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

ელექტროლიტური გაპრიალებისას ნიმუში ელექტროლიტურ აბაზანაში ანოდის როლს ასრულებს. 5.5 სურათზე მოცემულია ელექტროლიტური გაპრიალების ლაბორატორიული დანადგარის სქემა. 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. 5.1).



სურ. 5.5. ელექტროლიტული გაპრიალების ლაბორატორიული დანადგარის სქემა

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

ცხრილი 5.1.

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

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

ზოგიერთ შემთხვევაში ქიმიური გაპრიალების შედეგად ზედაპირი მართალია, სარკისებრი მიიღება, მაგრამ ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული რელიეფით. 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.

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

მიკროხეხის გაუცხიმოებისათვის გამოიყენება ეთილის (C_2H_5OH) ან მეთილის (CH_3OH) სპირტი, ეთილ-ეთერი $[(C_2H_5)_2O]$, ბენზოლი (C_6H_6) და აცეტონი $[(CH_3)_2CO]$. მომზადებული მიკროხეხის დაჟანგვისაგან 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), უნდა ინახებოდეს სათანადო კოლოფში, რომელშიც ჩაფენილი იქნება ბამბა ან ხავერდის ნაჭერი.

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. ამოჭერთ, დაამონტაჟეთ და მოამზადეთ ერთფაზა შენადნობის მიკროსხეხი;
2. შეამოწმეთ მიკროსხეხის მომზადების ხარისხი მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპზე ნათელ არეში და მუქი არის განათებისას; დამახასიათებელი დეფექტები ამოხაზეთ კვადრატში, რომლის ზომებია 60x60 მმ.
3. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა):

1. მოამზადეთ ნიმუშები ელექტროლიტური გაპრიალებისათვის;
2. შეირჩიეთ ელექტროლიტი და გაპრიალების რეჟიმები გამოსაკვლევი ლითონების სახეობის გათვალისწინებით;
3. ჩაატარეთ ელექტროლიტური გაპრიალება და შეამოწმეთ ნიმუშების მომზადების ხარისხი ნათელი და მუქი არის განათებისას;
4. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 6

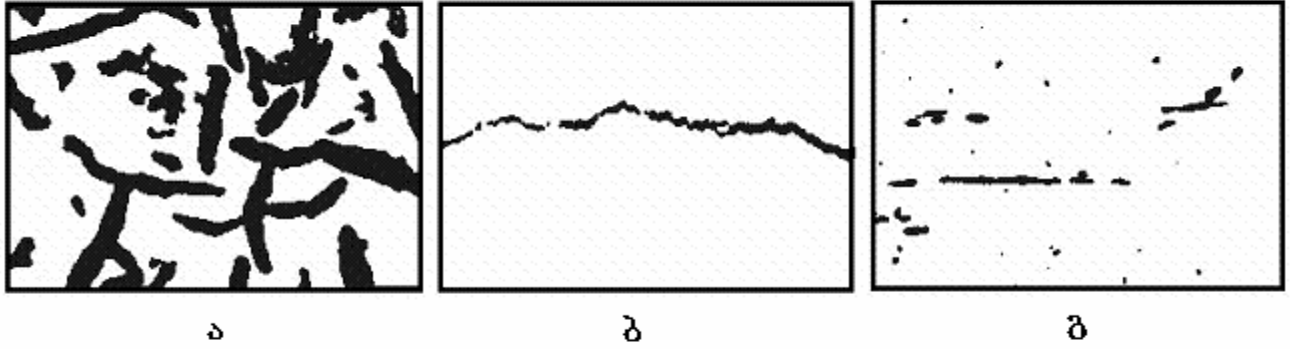
მიკროსტრუქტურის გამოქვავების მეთოდები

6.1. მიკროხუნის 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, წიდისა და გრაფიტის) დადგენის საშუალებას იძლევა. მიკროსკოპში მოუწამლავი მიკროსხეხი 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.

მოუწამლავი მიკროსხეხი გადიდების ორ დიაპაზონში (50÷100) უნდა იქნეს გამოკვლეული. მცირე გადიდებისას მკვლევარი დებულობს საერთო ინფორმაციას ნიმუშის აღნაგობის 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 და ა.შ. ლითონის არადამაკმაყოფილებელი ხარისხის მაჩვენებელია. 6.1 სურათზე გამოსახულია მოუწამლავი ნიმუშის მიკროსტრუქტურები.

6.2. მიკროსტრუქტურის გამოქვავება ფაზების შერჩევითი ბახსნის მეთოდით (ქიმიური მოწამლვა). მიკროსტრუქტურის გამოსამქვავებლად მიკროსხეხის გაპრიალებულ ზედაპირს მუავა, ტუტის ან მარილის წყალხსნარით ამუშავებენ. რეაქტი-



სურ. 6.1. მოწამლავი ლითონის მიკროსტრუქტურები. x100

ა. გრაფიტის ჩანართები რუხ თუჯში; ბ. მიკრობზარი, რომელიც ფოლადში თერმული ძაბვის შედეგად წარმოიქმნა; გ. არალითონური ჩანართები

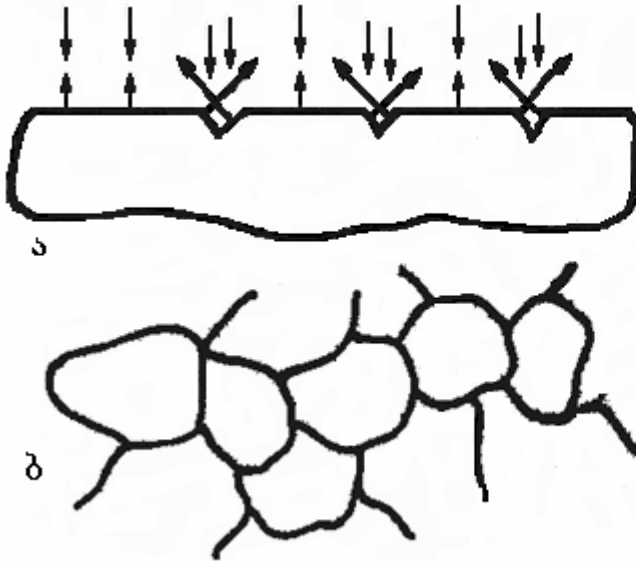
ვით დამუშავების ანუ მოწამვლის პროცესის არსი ისაა, რომ ცალკეული სტრუქტურული შემდგენები (სუფთა ლითონის, მყარი ხსნარის ან ქიმიური ნაერთის მარცვლები) რეაქტივით სხვადასხვა სიჩქარით იხსნება ან სხვადასხვაფერად იღებება.

რეაქტივი, რომლითაც დაფარულია მიკროსხეხის ზედაპირი, ელექტროლიტია. შენადნობის სტრუქტურული შემდგენი, რომელსაც შედარებით ელექტროუარყოფითი ელექტროდული პოტენციალი აქვს, ანოდია და იხსნება, ხოლო დანარჩენი სტრუქტურული შემდგენები შედარებით დადებითი ელექტროდული პოტენციალით კათოდის როლშია და თითქმის უცვლელი რჩება. რადგან ასეთი ანოდისა და კათოდის უბნები ბევრია, მოწამვლის შედეგად მიკროსხეხის ზედაპირზე მიიღება მრავალი ღრმული და ამოშვერილი უბნები. 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 მჟღავნდება 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.

მოწამლული 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 გა-

მოსაკვლევ ნიმუშის ზედაპირის მდგომარეობასა და ამ ზედაპირიდან არეკვლილი სხივების რაოდენობაზე.

6.2 სურათზე მოცემული სქემით ადვილად შეიძლება აიხსნას სუფთა ლითონის მარცვლის საზღვრების ხილვადობა მიკროსკოპში.



სურ. 6.2. მიკროსკოპში მარცვლების ხილვადობის სქემები

- ა. სხივის არეკვლა მიკროსხეხის ზედაპირის სხვადასხვა უბნიდან
- ბ. მიკროსტრუქტურა მკვეთრად გამოხატული მარცვლის საზღვრებით

მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნების ქიმიური მოწამვლის მეთოდიკა შეირჩევა როგორც გამოსაკვლევ ლითონის, ისე რეაქტივის ქიმიური შედგენილობის მიხედვით. თუ ნიმუშის მოწამვლის ხანგრძლივობა დიდია ან გამოყენებული რეაქტივი შეიცავს დამუანგველ რეაგენტებს, ნიმუში გაპრიალებული ზედაპირით რეაქტივში თავსდება, რათა გამოირიცხოს მასზე ჰაერის ბუშტულების წარმოქმნა და რეაქციის პროდუქტების დალექვა. ამასთან, 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 მიკროსხეხს რეაქტივით დასველებული ბამბითაც წამლავენ.

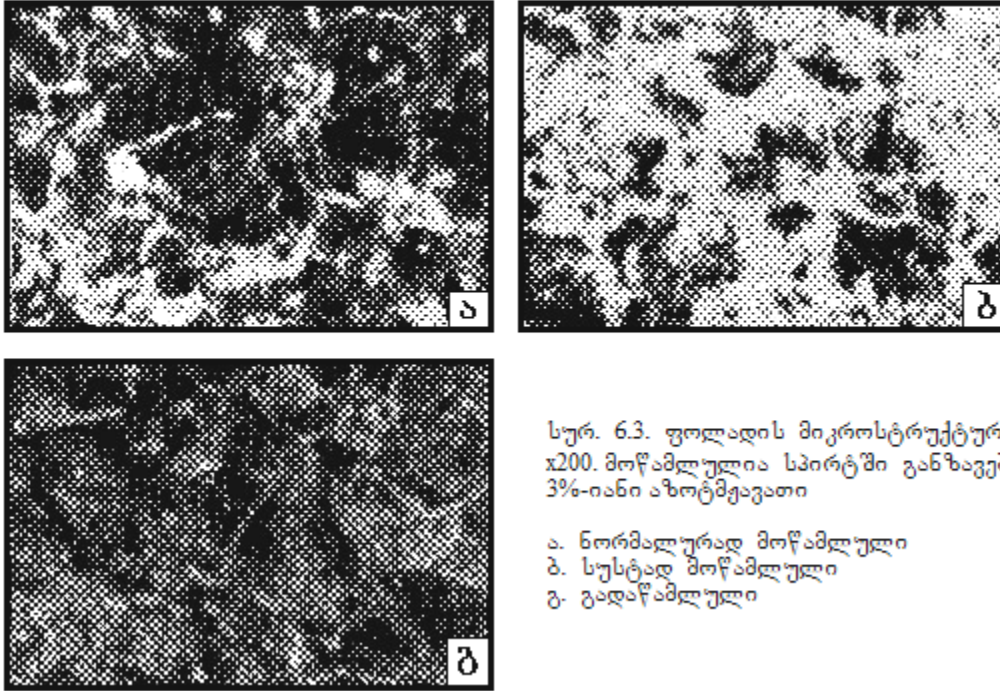
მოწამვლის პროცესი, ჩვეულებრივ, რამდენიმე წამს გრძელდება. მოწამვლის შემდეგ ნიმუში ირეცხება თბილ წყალში, შემდეგ მეთილის სპირტში და შრება თბილი ჰაერით ან იწმინდება ბამბით. 6.1 ცხრილში მოცემულია შავი და ფერადი ლითონების სტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად გამოყენებული ზოგიერთი რეაქტივის შედგენილობა.

ცხრილი 6.1.

შავი და ფერადი ლითონებისა და მათი შენადნობების მიკროსტრუქტურის გამოსამქლავნებელი 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, ამქლავნებს ფერიტის მარცვლის საზღვრებს, მარტენსიტულ და მოშვების პროდუქტებს. გამოიყენება ნახშირბადიანი ფოლადისა და თუჯის, აგრეთვე დააზოტებული და დაცემენტებული ფოლადების სტრუქტურის გამოსამქლავნებლად. უქანგავი ფოლადისა და შენადნობების სტრუქტურის გამოსამქლავნებლად
2. პიკრინმჟავას ხსნარი სპირტში	პიკრინმჟავა (კრისტალური)-4გ; ეთილის სპირტი - 100 მლ.	
3. სამეფო ხსნარი	მარილმჟავა (სიმკვრივე 1,19გ/სმ ³ - 3 ნაწილი; აზოტმჟავა (სიმკვრივე 1,4 გ/სმ ³) - 1 ნაწილი	
სპილენძისა და მისი შენადნობებისათვის		
4. ამონიუმის პერსულფატის ხსნარი	ამონიუმის პერსულფატი -10გ; წყალი - 90 გ	სპილენძის, თითბრისა და კალიანი ბრინჯაოს სტრუქტურის გამომქლავნებისათვის
ალუმინის შენადნობებისათვის		
5. წყალბადფთორმჟავა	წყალბადფთორმჟავა - 0,5 მლ; წყალი - 99,5 მლ	დურალუმინისა და ალუმინის ფუძეზე დამზადებული სამსხმელო შენადნობების სტრუქტურის გამოსამქლავნებლად

მოწამვლამ უნდა უზრუნველყოს მიკროსტრუქტურის მკაფიოდ გამომქლავნება (სურ. 6.3, ა). თუ მარცვლის საზღვრები და ცალკეული ფაზები მკაფიოდ არა ჩანს (სურ. 6.3, ბ), ეს არასაკმარისი მოწამვლით აიხსნება და ამიტომ საჭიროა პროცესის გამეორება. გადაწამვლის შემთხვევაში კი მიკროსტრუქტურა მუქად მოჩანს, იკარგება კონტრასტი (გ) და საჭირო ხდება ნიმუშის ხელახალი გაპრიალება და რეაქტივით თავიდან დამუშავება.



სურ. 6.3. ფოლადის მიკროსტრუქტურა x200. მოწამლულია სპირტში განზავებული 3%-იანი აზოტმჟავათი

- ა. ნორმალურად მოწამლული
- ბ. სუსტად მოწამლული
- გ. გადაწამლული

6.3. ელექტროლიტური ამოჭმა. ელექტროლიტური ამოჭმა არსებითად ელექტროლიტური გაპრიალების ანალოგიურია, მხოლოდ ამ პროცესისათვის შედარებით მცირე ძაბვა და დენის სიმკვრივეა საჭირო. ანოდი არის ნიმუში, ხოლო კათოდად შეირჩევა ელექტროლიტში შედარებით უხსნადი ელექტროგამტარი მასალა, მაგალითად, უჟანგავი ფოლადი, პლატინა ან გრაფიტი. უმეტეს შემთხვევაში ელექტროლიტური ამოჭმისათვის გამოიყენება მუდმივ დენზე მომუშავე ელექტროლიტები (ცხრილი 6.2). ელექტროლიტური ამოჭმისათვის, ჩვეულებრივ, იგივე დანადგარი გამოიყენება, რაც ელექტროლიტური გაპრიალებისას განვიხილეთ (სურ. 5.5).

6.4. ამოჭმა დაქანგვის მეთოდით. გაპრიალებული მიკროსხეხის დამუანგველ ატმოსფეროში გახურებისას ცალკეული ფაზა განსხვავებული ფერის ჟანგეულის თხელი ფენით იფარება. თუ შერჩეულ ტემპერატურაზე ჰაერის ატმოსფეროში გახურებისას არ მიიღება სათანადო სისქის ჟანგეულის ფენა, საჭიროა დაქანგვის ეფექტის გაზრდა. ამ მიზნით მიკროსხეხის ზედაპირზე ათავსებენ ძლიერად დამუანგველ კრისტალებს, მაგალითად, კალიუმის ბიქრომატს ($K_2Cr_2O_7$). ამ მეთოდით შეიძლება გამოიმუდგანდეს აგრეთვე ფოლადის მარცვლის ზომები.

მიკროხეხის 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 გამოსამუღავნებლად. ძაბვა 3-6 ვ
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

6.5. 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 მუღავნდება. თანამედროვე დანადგარებით შესაძლებელია სტრუქტურის შესწავლა სხვადასხვა აირით ამოჭმის შემდეგაც, რომელსაც გამახურებელ კამერაში სპეციალურად აწვდიან. ეს მეთოდი გახურებისას მარცვლის ზრდასა და ფაზური გარდაქმნის მიმდინარეობაზე დაკვირვების შესაძლებლობასაც იძლევა.

6.6. 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 მიკროსხეხის ზედაპირი წააგავს ქიმიური ან ელექტროლიტური მეთოდით ამოჭმულ ზედაპირს. ვაკუუმში კათოდური ამოჭმის მეთოდის უპირატესობა ქიმიურთან შედარებით ისაა, რომ ამ დროს შესაძლებელია მრავალფაზა შენადნობში სხვადასხვა სტრუქტურული შემდგენის აგებულების ერთდროული გამომჟღავნება.

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.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეარჩიეთ რეაქტივი შენადნობის წინასწარ მომზადებული ნიმუშის ფაზების შერჩევითი გახსნის (ქიმიური) მეთოდით მიკროსტრუქტურის გამოსამჟღავნებლად;
2. მოწამლეთ მიკროსხეხი შერჩეული რეაქტივით;
3. გამოიკვლიეთ ნიმუშის მიკროსტრუქტურა და შეარჩიეთ ყველაზე დამახასიათებელი უბანი;
4. გამოსახეთ ნიმუშის მიკროსტრუქტურის სქემა კვადრატში, რომლის ზომებია 60x60 მმ;
5. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

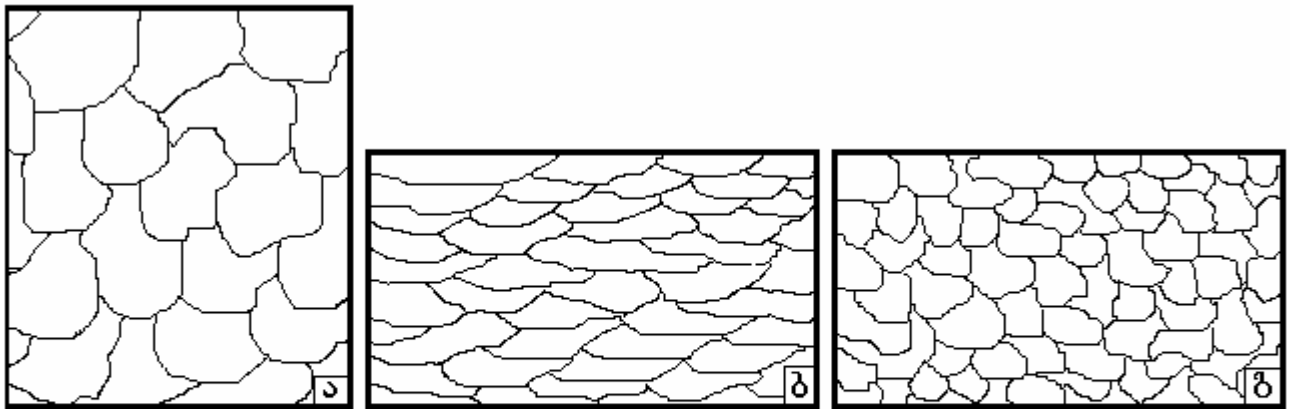
II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. შეარჩიეთ რეაქტივი და რეჟიმები მოცემული შენადნობის წინასწარ მომზადებული ნიმუშების ელექტროლიტური ამოჭმისათვის;
2. ჩაატარეთ ნიმუშების ელექტროლიტური ამოჭმა და შეამოწმეთ მისი ხარისხი;
3. გამოიკვლიეთ ნიმუშების მიკროსტრუქტურა და მიეცით სათანადო ახსნა;
4. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 7

ცივნაჭედი და რეკრისტალიზებული ლითონის მიკროსტრუქტურული კვლევა

პლასტიკურ დეფორმაციას ლითონი სტრუქტურულად არაწონასწორულ მდგომარეობაში გადაჰყავს. ცივჭედვის შედეგად მახინჯდება კრისტალური მესრის გეომეტრიული ფორმა, ხოლო მარცვლები ღებულობს გარკვეულ ორიენტაციას – წაგრძელება დეფორმაციის მიმართულებით და მიიღება ტექსტურა (სურ. 7.1 ა, ბ). სტრუქტურის ასეთი დამახინჯება იწვევს ცივნაჭედი ლითონის თვისებების შეცვლას: იზრდება სისალე და სიმტკიცე, პლასტიკურობის მაჩვენებლები კი მკვეთრად მცირდება.



სურ. 7.1. ტექნიკურად სუფთა რკინის მიკროსტრუქტურის სქემა.
ა- მომწვარ მდგომარეობაში; ბ- ცივჭედვის შემდეგ (დეფორმაციის ხარისხი 40%)
გ- ცივჭედვის და რეკრისტალიზაციის შემდეგ

ლითონში თავისთავად უნდა მიმდინარეობდეს გარდაქმნები, რომლებიც მას სტრუქტურულად უფრო მდგრად მდგომარეობაში დააბრუნებს. ამისათვის საჭიროა ნაწილაკების გადაადგილება, რაც ოთახის ტემპერატურაზე ძლიერ შეზღუდულია. მაგრამ თუ ცივნაჭედ ლითონს გავახურებთ, ტემპერატურის ზეგავლენით მასში დაიწყება გარკვეული ცვლილებები.

გახურებისას ლითონი თავდაპირველად ძაბვისგან თავისუფლდება, შედეგად მისი მიკროსტრუქტურა არ იცვლება და ამავე დროს იხსნება კრისტალური მესრის დამახინჯება, ვინაიდან ამისათვის საჭიროა ატომების უმნიშვნელო გადაადგილება. ასეთ მოვლენას გამობრუნება ეწოდება. რკინისთვის ეს პროცესი 300-400°C ტემპერა-

ტურაზე იწეება. გამობრუნების შედეგად ლითონის სისალე და სიმტკიცე 20-30%-ით მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა მატულობს.

ცივნაჭედი ლითონის შემდგომი გახურებით იწეება რეკრისტალიზაცია ანუ ახალი მარცვლების წარმოქმნა ძველი, დამახინჯებული მარცვლების ხარჯზე.

პირველადი რეკრისტალიზაციის პროცესში დამახინჯებული მარცვლების საზღვრებზე ჩაისახება კრისტალიზაციის ახალი ცენტრები და მათ ირგვლივ იწეება წონასწორული კრისტალების ზრდა ძველი, დამახინჯებული კრისტალების ხარჯზე (სურ. 7.1) პირველადი რეკრისტალიზაციის შედეგად მთლიანად აღდგება ლითონის სტრუქტურა ნორმალურ მდგომარეობამდე, სისალე მცირდება პირვანდელ სიდიდემდე, პლასტიკურობა კი შესაბამისად იზრდება. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მთლიანად ისპობა ცივჭედის ეფექტი.

პირველადი რეკრისტალიზაციის დამთავრებისთანავე იწეება მეორეული რეკრისტალიზაცია – ახალჩამოყალიბებული მარცვლების ზრდა. სარეკრისტალიზაციო მოწვის შემდეგ მარცვლის ზომას ცივნაჭედი ლითონის გახურების ტემპერატურა განსაზღვრავს, მაგრამ მუდმივი ტემპერატურის პირობებში ეს პარამეტრი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წინასწარი დეფორმაციის ხარისხზე.

მცირედ დეფორმირებულ ლითონში პირველადი რეკრისტალიზაციის პროცესი ძნელად ხორციელდება, მეორეული რეკრისტალიზაცია კი თითქმის არ შეინიშნება.

3-8%-ით დეფორმირებულ ლითონში უპირატესად მარცვლის საზღვრებზე წარმოიქმნება შედარებით მცირე სიმკვრივის დისლოკაციები. შემდგომი გახურებისას ხდება მარცვლების შერწყმა და შედეგად საკმაოდ მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურა ჩამოყალიბდება. დეფორმაციის ხარისხს, რომელიც ცივნაჭედი ლითონის გახურებისას მარცვლის გიგანტური სიჩქარით ზრდას იწვევს, დეფორმაციის კრიტიკული ხარისხი ეწოდება.

ზეკრიტიკული ხარისხით დეფორმაციის შემთხვევაში დეფექტების სიმკვრივე იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ მარცვლების შერწყმის მექანიზმის რეალიზაცია შეუძლებელი ხდება. ასეთ შემთხვევაში მარცვლის ზრდა მიმდინარეობს საზღვრების მიგრაციით, რაც სხვა თანაბარ პირობებში უფრო მცირე ზომის მარცვლებს იძლევა.

მრიგად მეორეული რეკრისტალიზაციის დროს მარცვლის ზომა დამოკიდებულია როგორც რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე, ისე ლითონის წინასწარი დეფორმაციის ხარისხზე. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მარცვლის

ზომა განუსრულად იზრდება, მაგრამ მოწვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში წინასწარი დეფორმაციის ხარისხი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ნაკეთობის მარცვლის საბოლოო ზომას.

დავალებათა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ ტექნიკურად სუფთა რკინის ნიმუშები მომწვარ და ძლიერად დეფორმირებულ მდგომარეობაში; სქემატურად ჩაიხაზეთ მათი მიკროსტრუქტურები და ახსენით მათ შორის განსხვავების მიზეზი;

2. გამოიკვლიეთ სხვადასხვა ხარისხით დეფორმირებული ნიმუშები რეკრისტალიზაციის შემდეგ (რეკრისტალიზაციის ტემპერატურა მუდმივია); სტანდარტულ სკალასთან შედარების მეთოდით დაადგინეთ თითოეული ნიმუშის მარცვლოვნების ნომერი და პირობითი საშუალო დიამეტრი; შედეგები შეიტანეთ 7.1 ცხრილში;

3. გამოკვლეული ლითონებისათვის ააგეთ მარცვლის ზომასა და დეფორმაციის ხარისხს შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მრუდი და დაადგინეთ კრიტიკული დეფორმაციის ხარისხი.

4. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ცხრილი 7.1

ნიმუშის №	დეფორმაციის ხარისხი $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} 100\%$	მარცვლოვნების ნომერი	მარცვლის პირობითი საშუალო დიამეტრი d, მკმ.
21	—		
28	2		
29	5 – 6		
30	13 – 15		
31	20		
32	30		
33	40		

ლაბორატორიული სამუშაო 8

მიკროსკოპული ობიექტის კვითის წირითი ზომების დადგენა

მეტალოგრაფიული გაზომვა, ჩვეულებრივ, მიზნად ისახავს გამოსაკვლევი შენადნობის მიკროსტრუქტურის შემდგენების ურთიერთშეფარდების, აგრეთვე მარცვლის ზომებისა და მათი განაწილების ხასიათის შესახებ ინფორმაციის მიღებას. მარცვლის ზომის დადგენას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სუფთა ლითონების და ერთფაზა შენადნობების სტრუქტურის დახასიათებისათვის, რადგან ამის საფუძველზე ხდება შესაძლებელი მასალის თვისებების შესახებ მსჯელობა. ასეთ გაზომვებს ზოგჯერ მიმართავენ მრავალფაზა შენადნობის შესწავლის დროსაც მატრიცის მარცვლის ზომის დასადგენად, მაგალითად, მანგანუმიან ფოლადში ფერიტის მარცვლების დახასიათებისათვის.

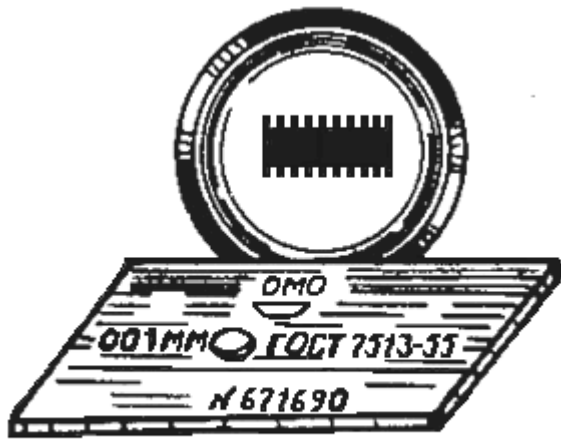
მიკროსტრუქტურის შეფასების სამი ძირითადი მეთოდი არსებობს: ხარისხობრივი-აღწერითი, ნახევრად რაოდენობრივი (გამოსაკვლევი მიკროსტრუქტურის შედარება სტანდარტული სკალის მიკროსტრუქტურებთან, ე.წ. ბალური შედარება) და მკაცრად რაოდენობრივი. უკანასკნელ შემთხვევაში მიკროსკოპული ობიექტის ზომების დადგენა უშუალო გაზომვებით ხდება.

მიკროსტრუქტურის შეფასების პირველი ორი ხერხი სუბიექტური ხასიათისაა და ამიტომ ამ შემთხვევაში სხვადასხვა დამკვირვებლის მონაცემები ხშირად ერთმანეთს არ ემთხვევა. მხოლოდ ზუსტი გაზომვების შედეგად მიღებული რაოდენობრივი მონაცემები იძლევა საშუალებას კვლევის დროს ეფექტურად იქნეს გამოყენებული მათემატიკური აპარატი და კომპიუტერული ტექნიკა სტრუქტურასა და თვისებებს შორის ჭეშმარიტი დამოკიდებულების დასამყარებლად. ამასთან, ისიც გასათვალისწინებელია, რომ ისევე, როგორც ნებისმიერი გაზომვების ჩატარებისას, ამ შემთხვევაშიც გვექნება გარკვეული ცდომილება. კვლევის დროს გამოყენებული მეთოდის სიზუსტის ცოდნა კი, ყოველ კერძო შემთხვევაში, აუცილებელია, რადგან მის საფუძველზე საშუალება გვეძლევა ერთმანეთს შევადაროთ სხვადასხვა სერიის გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები და შედეგებს შორის განსხვავების მიზეზი, რომელიც ცდომილებით არის განპირობებული, არ ვეძებოთ ამა თუ იმ ტექნოლოგიურ პროცესში.

მიკროსკოპული ობიექტის ზომების განსაზღვრა ოკულარ-მიკრომეტრისა და ობიექტივი-მიკრომეტრის საშუალებით ხდება.

ა. ოკულარ-მიკრომეტრი და ობიექტივ-მიკრომეტრი. ოკულარ-მიკრომეტრი არის ჩვეულებრივი ოკულარი, რომლის ლინზებს შორის ჩადგმულია მინის მრგვალი ფირფიტა. ფირფიტას აქვს 5 მმ სიგრძის სკალის დანაყოფის ფასი 0,1 მმ-ია. ოკულარ-მიკრომეტრის საშუალებით ადგენენ მიკროსკოპული ობიექტის წირით ზომებს – მარცვლის დიამეტრს, დაცემენტებული ან დააზოტებული ფენის სიღრმეს და ა.შ.

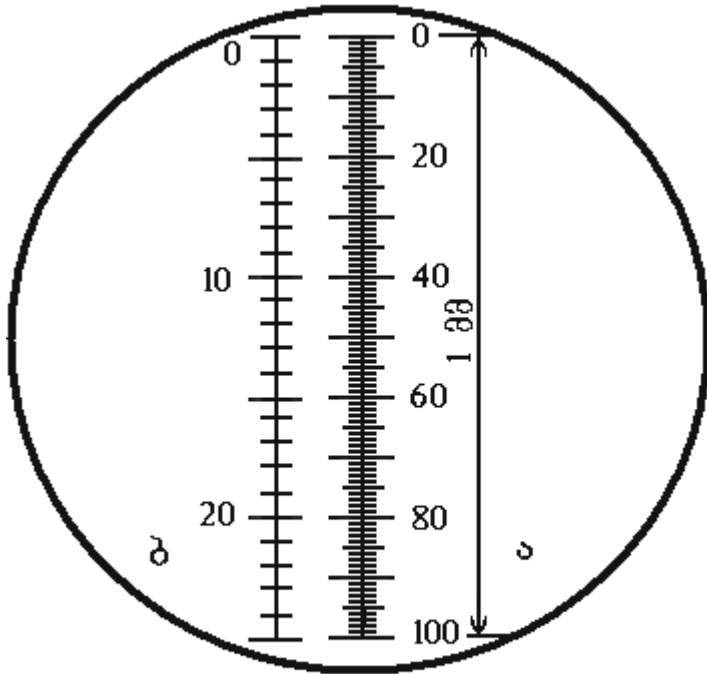
ობიექტივ-მიკრომეტრი მზადდება მინის ან ლითონის ფირფიტისაგან, მის ცენტრალურ ნაწილში, სარკისებრ ზედაპირზე, არის 1 მმ სიგრძის სკალა, რომლის დანაყოფის ფასი 0,01 მმ-ია (სურ. 8.1).



სურ.8.1. ობიექტივ-მიკრომეტრი

როგორც ცნობილია, მიკროსკოპის გამადიდებლობა ობიექტივისა და ოკულარის კომბინაციით განისაზღვრება. ამიტომ, ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასი დამოკიდებული იქნება იმაზე, თუ კვლევის დროს ოკულარ-მიკრომეტრთან წყვილში რომელი ობიექტივი გამოიყენება. მაშასადამე, ყოველ კერძო შემთხვევაში აუცილებელია ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასის განსაზღვრა.

ბ. ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასის განსაზღვრა. ამ მიზნით ოკულარ-მიკრომეტრი ვიზუალურ ტუბუსში (5, სურ. 4.5) თავსდება, ხოლო ობიექტივი – ილუმინატორის ტუბუსში (7). მიკროსკოპის მაგიდის საცვლელ ქვესადებზე (18) ობიექტივ-მიკრომეტრი ისეთნაირად იდება, რომ დანაყოფებიანი სკალა ობიექტივისკენ იყოს მიმართული. სკალას აფოკუსებენ (ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის მკაფიო გამოსახულების მიღება შესაძლებელია ოკულარის ფრონტალური ლინზის გადაადგილებით). ოკულარის შემობრუნებით ოკულარ-მიკრომეტრისა და ობიექტივ-მიკრომეტრის სკალები ურთიერთპარალელურად უნდა დადგეს (სურ. 8.2) და უნდა დაგოვალოთ ოკულარ-მიკრომეტრის რამდენ დანაყოფში თავსდება ობიექტივ-მიკრომეტრის სკალა (თუ იგი მთლიანად თავსდება ლუპის მხედველობის არეში), ან ოკულარ-მიკრომეტრის რამდენ დანაყოფში თავსდება ობიექტივ-მიკრომეტრის დანაყოფების გარკვეული რიცხვი (თუ იგი სრულად არ თავსდება ლუპის მხედველობის არეში).



სურ. 8.2. მიკროსკოპის ლუპის არეში ობიექტივ-მიკრომეტრისა (ა) და ოკულარ-მიკრომეტრის (ბ) სკალების შეფასების სქემა

ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასი განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_{ok} = \frac{k_{ob} \cdot x A_{ob}}{A_{ok}} \text{ მმ,}$$

სადაც K_{ob} არის ობიექტივ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასი. $K_{ob} = 0,01$ მმ;

A_{ob} – ობიექტივ-მიკრომეტრის შეთავსებული დანაყოფების რიცხვი;

A_{ok} – ოკულარ-მიკრომეტრის შეთავსებული დანაყოფების რიცხვი.

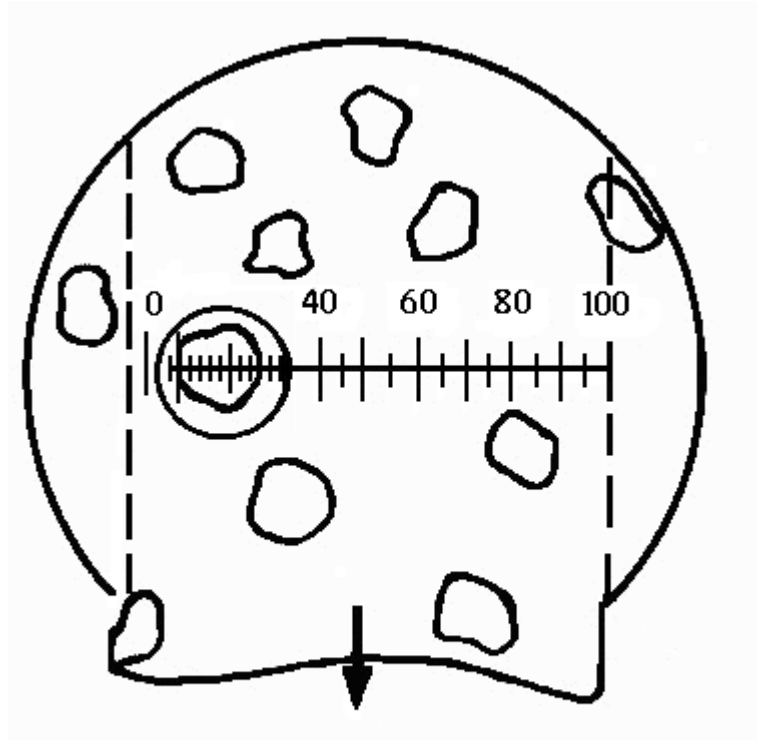
მაგალითად, თუ ობიექტივ-მიკრომეტრის სკალა თავსდება ოკულარ-მიკრომეტრის 25 დანაყოფში (სურ. 8.2), მაშინ

$$K_{ok} = \frac{0,01 \times 100}{25} = 0,04 \text{ მმ.}$$

გ. მიკროსკოპული ობიექტის კვეთის წრფივი ზომების დადგენა. ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასის განსაზღვრის შემდეგ ობიექტივ-მიკრომეტრი გამო-საკვლევი ნიმუშით იცვლება.

ვიზუალური მეთოდით მარცვლის კვეთის დიამეტრის დასადგენად საგნის მაგიდას, რომელზეც გამოსაკვლევი მიკროსხეია მოთავსებული, მიკრომეტრული ხრახ-ნით ოკულარის სახაზავის მართობი მიმართულებით გადაადგილებენ (სურ. 8.3). ცხა-დია, თუ მარცვლის ცენტრი სახაზავზე მოთავსდა, შესაძლებელია მისი დიამეტრი ოკულარის სკალის ერთეულებით გაიზომოს. მარცვლები, რომელთა ცენტრები ნიმუ-შის გადაადგილებისას სკალის ფარგლებში არ მოხვდება, მხედველობაში არ მიიღება. მარცვლების კვეთის გარკვეული რაოდენობის (არანაკლები 100 მარცვლისა) გაზომვის შემდეგ მიკრომეტრული ხრახნის დანაყოფების საშუალებით განისაზღვრება ის მანძილი, რომელზეც მიკროსხეი გადაადგილდა აღნიშნული პროცედურის დროს.

მიკროსხვის გამოკვლეული ფართობი ამ მანძილისა და ოკულარ-მიკრომეტრის სახაზავის სიგრძის ნამრავლის ტოლი იქნება.



სურ. 8.3. მიკროსკოპული ობიექტის კვეთის დიამეტრის განსაზღვრის სქემა

მარცვლის კვეთის დიამეტრის მილიმეტრებით გამოსახვისათვის საჭიროა ოკულარ-მიკრომეტრის შესაბამისი დანაყოფების რიცხვის დანაყოფის ფასზე გამრავლდეს. მაგალითად, 8.3 სურათზე ნაჩვენები მიკროსკოპული ობიექტის დიამეტრი მილიმეტრებით შემდეგნაირად იანგარიშება:

$$0,04 \times 8 = 0,32 \text{ მმ.}$$

გაზომვის შედეგების საშუალო მნიშვნელობის გამოსათვლელად მიზანშეწონილია მიღებული რიცხვითი მონაცემების ჯგუფებად ან თანრიგებად დაყოფა. თითოეულ თანრიგში ერთი-

ანდება მარცვლები, რომელთა ზომები გარკვეული ინტერვალიდან არ გამოდის. ინტერვალი არითმეტიკული (0-1; 1-2; 2-3 და ა.შ.) ან გეომეტრიული (1-2; 2-4; 4-8 და ა.შ.) წესით შეირჩევა. მარცვლის საშუალო დიამეტრი გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{D} = \frac{K_{ok} \sum mD}{\sum m}, \quad (8.1)$$

სადაც m არის ჯგუფის აბსოლუტური სიხშირე ანუ მარცვლების რიცხვი, ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის გარკვეულ ინტერვალში;

D – მარცვლის კვეთის დიამეტრი ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის დანაყოფებში;

K_{ok} – ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის დანაყოფის ფასი.

განვიხილოთ მაგალითი: დაუშვათ, ერთფაზა შენადნობის მარცვლის კვეთის დიამეტრის დასადგენად ჩატარებულია 100 დამოუკიდებელი გაზომვა და მიღებული შედეგები ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის დანაყოფების მიხედვით ხუთ ქვეჯგუფადაა დაყოფილი (ცხროლი 8.1).

ჯგუფის ინტერვალი ოკულარ-მიკრომეტრის სკალის დანაყოფების მიხედვით	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
აბსოლუტური სიხშირე y_i	5	24	38	30	3

(8.1) ფორმულის საფუძველზე მარცვლის კვების საშუალო დიამეტრი

$$\bar{D} = \frac{K_{ok} \sum mD}{\sum m} = \frac{0,04(25+168+342+330+39)}{100} = 0,36 \text{ მმ}$$

დ. სტრუქტურის ერთგვაროვნების ხარისხის შეფასება. სტრუქტურის მოცემული პარამეტრის ერთგვაროვნების ხარისხის შესაფასებლად სარგებლობენ ვარიაციის კოეფიციენტით:

$$\delta = \frac{\sigma_{(D)}}{\bar{D}} \quad (8.2)$$

სადაც $\sigma_{(D)}$ არის საშუალო კვადრატული გადახრა, ხოლო \bar{D} – პარამეტრის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

საშუალო კვადრატული გადახრა გამოითვლება ტოლობით:

$$\sigma_D = K \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_m^2}{m} - (D_0^2)} \quad (8.3)$$

სადაც K არის შესწორების კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ამონაკრების მოცულობაზე და შეირჩევა 8.2 ცხრილიდან.

ზემოთ ჩატარებული გამოთვლებიდან ვღებულობთ:

$$\sigma_D = 1,005 \sqrt{\frac{0,2 + 1,88 + 4,94 + 5,8 + 0,8}{100} - 0,1225} = 0,117 \text{ მმ}$$

8.2 ტოლობიდან გამომდინარე, ვარიაციის კოეფიციენტი

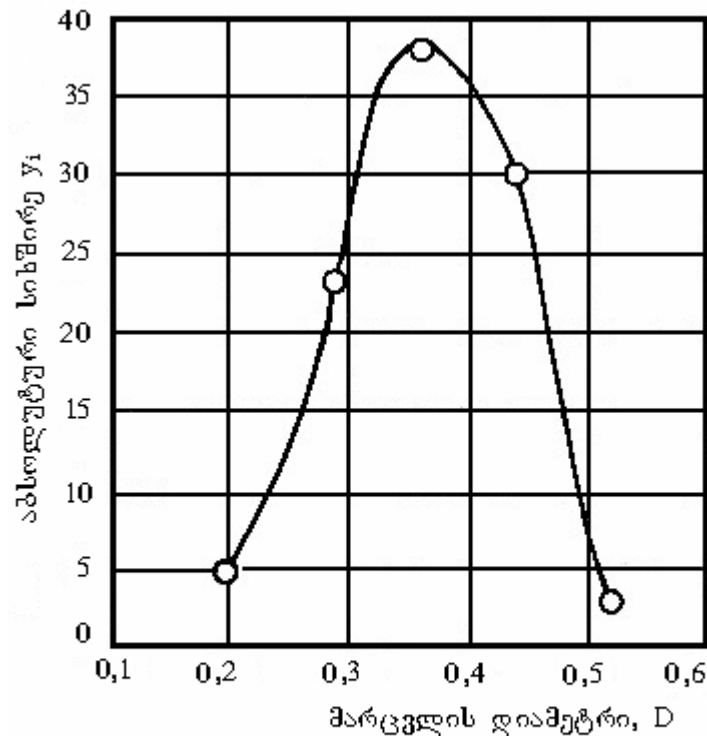
$$\delta = \frac{0,117}{0,36} = 0,32$$

K კოეფიციენტის ზოგიერთი მნიშვნელობა

x	K	x	K	x	K	x	K
5	1,118	10	1,054	20	1,026	45	1,011
6	1,095	12	1,045	25	1,021	50	1,010
7	1,080	14	1,038	30	1,017	100	1,005
8	1,069	16	1,033	35	1,014	150	1,003
9	1,061	18	1,029	40	1,013	200	1,002
						500	1,001

რაც უფრო მცირეა ვარიაციის კოეფიციენტი, მით უფრო მეტია სტრუქტურის ერთგვაროვნების ხარისხი.

8.1 ცხრილის მონაცემების საფუძველზე აიგება მარცვლის კვეთის დიამეტრის განაწილების სიხშირის მრუდი (სურ. 8.4), რომელიც გაზომვათა სერიის შედეგებზე თვალნათელ წარმოდგენას იძლევა.



სურ. 8.4. მარცვლის კვეთის დიამეტრის განაწილების სიხშირის მრუდი

დავალებები:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გაეცანით ობიექტივ-მიკრომეტრსა და ოკულარ-მიკრომეტრს;
2. განსაზღვრეთ ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფის ფასი;
3. განსაზღვრეთ მიკროსკოპზე ერთფაზა შენადნობის მარცვლის კვეთის წრფივი ზომები (გაზომვების საერთო რიცხვი არ უნდა იყოს 100-ზე ნაკლები);
4. გამოთვალეთ მიღებული შედეგების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა;
5. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა, რაოდენობრივი ანალიზი)

1. ოკულარ-მიკრომეტრის საშუალებით განსაზღვრეთ ერთფაზა შენადნობის ორი სხვადასხვა ნიმუშის წინასწარ მომზადებულ მიკროსკოპზე მარცვლის კვეთის პირობითი საშუალო დიამეტრი (გაზომვების საერთო რაოდენობა თითოეულ ნიმუშზე არ უნდა იყოს 50-ზე ნაკლები);
2. მიღებული შედეგების საფუძველზე თითოეულ ნიმუშზე გამოთვალეთ საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობა;
3. ვარიაციის კოეფიციენტის გამოყენებით შეაფასეთ გამოკვლეული ნიმუშების სტრუქტურის ერთგვაროვნების ხარისხი და შესაბამისად კიდევ ახსენით;
4. ააგეთ მარცვლის კვეთის პირობითი დიამეტრის განაწილების სიხშირის ექსპერიმენტული მრუდები და დაადგინეთ მოდალური მნიშვნელობები;
5. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ჯაბორატორიული სამუშაო 9

შენადნობის მოცულობითი ფაზური შედგენილობის განსაზღვრა წრფივი მეთოდით

ა. ფაზური შედგენილობის დადგენა. მეტალოგრაფიის პრაქტიკაში შენადნობის ფაზურ შედგენილობას ახასიათებენ თვალით ან მიკროსტრუქტურის სტანდარტულ სკალასთან შედარების მეთოდით. აღნიშნული მეთოდები მიახლოებითია, ამიტომ ხშირ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება რაოდენობრივი ანალიზის შედარებით ზუსტი მეთოდების გამოყენება.

როზივალის წრფივი მეთოდი დაფუძნებულია პრინციპზე, რომ თუ პარალელურ წრფეთა შორის მოთავსებული ორი სხეულის მოცულობები მუდმივ თანაფარდობაშია, ამავე თანაფარდობაში იქნება მოცემულ სხეულზე პარალელური სიბრტყეებით მიღებული კვეთებიც. აქედან გამომდინარე, მიკროსხევის სიბრტყით მიღებული სხვადასხვა ფაზის მარცვლების ზედაპირის ფართობის განსაზღვრით შესაძლებელია შენადნობში მათ მოცულობით ურთიერთშეფარდებაზე მსჯელობაც.

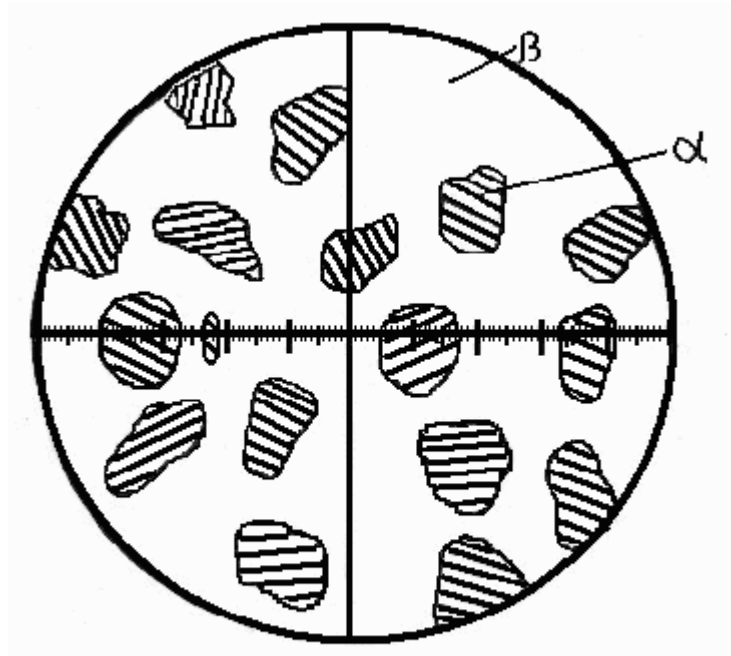
წრფივი მეთოდი ეყარება ძირითადი სტერეომეტრიული თანაფარდობის იმ პრინციპს, რომლის თანახმადაც ამა თუ იმ ფაზის მოცულობითი წილი შენადნობში მიკროსხეზე გავლებული წრფის იმ მონაკვეთების ჯამური სიგრძის ტოლია, რომლებიც აღნიშნული ფაზის შესაბამისია.

მიკროსხეზე გავლებული წრფის მარცვლებით მოკვეთილი მონაკვეთების სიგრძის განსაზღვრა ბევრად უფრო ადვილია იმავე მარცვლების ზედაპირის ფართობის გამოთვლასთან შედარებით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ანალიზის შრომატევადობას.

მიკროსკოპში ვიზუალური დაკვირვებით შენადნობის ფაზური შედგენილობის განსაზღვრისათვის ოკულარ-მიკრომეტრით სარგებლობენ. სტრუქტურის შემადგენელი მარცვლებით ოკულარ-მიკრომეტრის სახაზავი რამდენიმე მონაკვეთად იყოფა (სურ. 9.1). ბუნებრივია, მისი გარკვეული ნაწილი ერთ ფაზას შეესაბამება, დანარჩენი კი – მეორეს. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ფაზების მონაკვეთების სიგრძეთა ჯამი შენადნობში შესაბამისი ფაზების მოცულობითი შემცველობის პროპორციული იქნება.

როგორც 9.1 სურათიდან ჩანს, α ფაზის (დაშტრიხულია) შესაბამისი მონაკვეთების ჯამური სიგრძე 37-ს შეადგენს (12+2+14+9). რადგან ოკულარ-მიკრომეტრის სახაზავი 100 ტოლ ნაწილად არის დაყოფილი, α ფაზის შემცველობა შენადნობში

0,37 ნაწილი ანუ 37% იქნება, ხოლო β ფაზისა – $100-37=63\%$. გაზომვების რაოდენობის გაზრდით შედეგი სასურველი სიზუსტითა და დამაჯერებლობით მიიღება.



სურ. 9.1. წრფივი მეთოდით α ფაზის მოცულობითი შემცველობის განსაზღვრის სქემა

შენადნობის მოცულობითი ფაზური შედგენილობის განსაზღვრა ადვილად შეიძლება განხორციელდეს აგრეთვე მიკროსკოპის მქრქალ მინასა ან მიკროსტრუქტურის ფოტოსურათზე. პირველ შემთხვევაში მკვეთ წრფედ მიზანშეწონილია 100 მმ სიგრძის მილიმეტრულას ზოლის გამოყენება, ხოლო მეორე შემთხვევაში სტრუქტურის ფოტოსურათზე 100 მმ სიგრძის წრფეს ავლებენ.

თუ ფაზათა რაოდენობა ორს აღემატება, ზომავენ და აჯამებენ თითოეულ ფაზაზე მონაკვეთების სიგრძეებს და ითვლიან თითოეული

ფაზის მოცულობით წილს შენადნობში.

ბ. გაზომვის ცდომილების განსაზღვრა. წრფივი მეთოდის სიზუსტეს ძირითადად განსაზღვრავს ანალიზის დროს გაზომილი მონაკვეთების (ერთი დ იმავე ფაზის მარცვლების) რაოდენობა, აგრეთვე ფაზების მოცულობითი წილი შენადნობში და მისი დისპერსიულობა.

გაზომვების აბსოლუტური ცდომილების განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ნახევრად ემპირიული ფორმულით:

$$\varepsilon = kt \sqrt{\frac{\sum v(1 - \Sigma v)}{z}}$$

სადაც Σv არის შენადნობში სტრუქტურული შემდგენის მოცულობითი წილი;

t – ნორმირებული გადახრა;

z – ანალიზის დროს გაზომილი მონაკვეთების რიცხვი (განმეორებითი გაზომვების რიცხვი);

k – კოეფიციენტი.

t ნორმირებული გადახრა სათანადო ცხრილებიდან შეირჩევა P სანდო ალბათობაზე დამოკიდებულებით. ჩვეულებრივ, ანალიზის დროს ცდომილებას 50% სანდო ალბათობით ითვლიან ($P=0,50$; $t=0,6745$).

K კოეფიციენტის მნიშვნელობას უმთავრესად სტრუქტურის ხასიათი განსაზღვრავს. თუ გამოსაკვლევი სტრუქტურული შემდგენის მარცვლების მიერ მოკვეთილი მონაკვეთების სიგრძეები დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია, მაშინ K კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეიძლება 1-ის ტოლად მივიღოთ.

დაახლოებით ტოლდერძა მარცვლებისა და მათი თანაბარი განაწილების შემთხვევაში K კოეფიციენტის მნიშვნელობას 0,65-მდე ამცირებენ.

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ ორფაზა შენადნობის მიკროსტრუქტურა;
2. დაადგინეთ გამოკვლეულ შენადნობში ფაზების მოცულობითი შემცველობა წრფივი მეთოდის გამოყენებით;
3. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა, რაოდენობრივი ანალიზი)

1. წრფივი მეთოდით დაადგინეთ ორფაზა შენადნობის ფაზური შედგენილობა;
2. განსაზღვრეთ გაზომვების აბსოლუტური ცდომილება პირობებისათვის: $P= 0,50$; $t=0,6745$ და ჩაწერეთ შედეგი ცდომილების გათვალისწინებით;
3. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 10

შენადნობის სტრუქტურული შედგენილობის განსაზღვრა წერტილოვანი მეთოდით

შენადნობის სტრუქტურული შედგენილობის რაოდენობრივი განსაზღვრის წერტილოვან მეთოდს საფუძვლად უდევს ალბათობის თეორიის შემდეგი პრინციპი: თუ არაერთგვაროვანი შედგენილობის ზედაპირზე წერტილები თანაბრად არის განაწილებული, მაშინ სტრუქტურული შემდგენების რაოდენობა შენადნობის მოცულობაში, ზედაპირის ფართობსა ან მის გადამკვეთ წრფეზე, ტოლია მოცემულ სტრუქტურულ შემდგენზე ზედღებული წერტილების რაოდენობის შეფარდებისა გამოსაკვლევ ზედაპირზე განაწილებული წერტილების ჯამურ რიცხვთან:

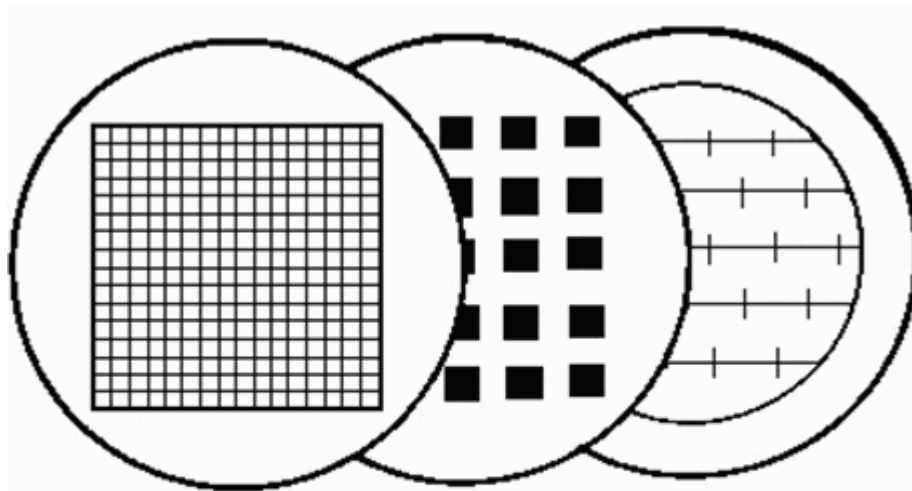
$$\sum V_{\alpha} = \sum F_{\alpha} = \sum h_{\alpha} = \frac{Z_{\alpha}}{Z}. \quad (10.1)$$

მაშასადამე, შენადნობის ფაზის ან სტრუქტურული შემდგენის მოცულობითი შემცველობის დასადგენად გაზომვები მიკროსკოპის ბრტყელ ზედაპირზე შეიძლება ჩატარდეს.

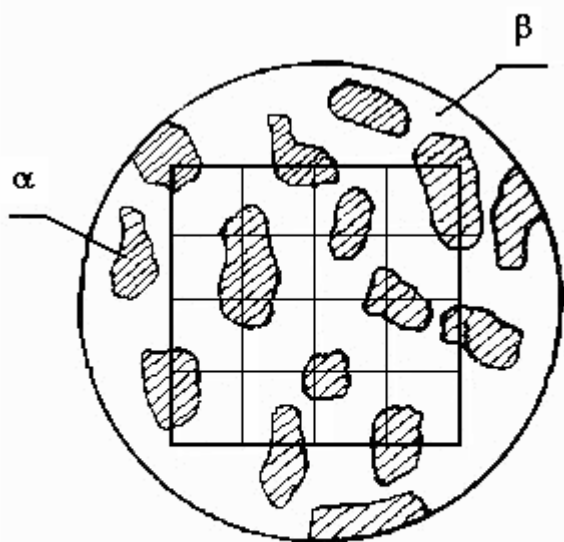
წერტილების სისტემად უმთავრესად გამოიყენება ოკულარი, რომლის ლინზებს შორის მოთავსებულია კვადრატული ფორმის ბადე (სურ. 10.1). ბადე შეიცავს 289 (17x17) ან 256 (16x16) საკვანძო წერტილს. მიკროსკოპის მხედველობის არეში ასეთი დიდი რაოდენობის წერტილების დათვლა საკმაოდ ძნელი და შრომატევადია, ამიტომ უფრო მოხერხებულია ისეთი ოკულარის გამოყენება, რომელშიც საკვანძო წერტილების რაოდენობა შედარებით მცირე (25 ან 100) იქნება.

სამუშაოს ექსპერიმენტული ნაწილის შესასრულებლად საჭიროა სტრუქტურის გამოსაკვლევ ზედაპირს კვადრატული ბადის მქონე ოკულარით დავაკვირდეთ და დავითვალოთ იმ სტრუქტურული შემდგენის მარცვლები, რომლებზეც ბადის საკვანძო წერტილებია ზედღებული.

10.2 სურათზე მოცემულია ორფაზა სისტემის შენადნობის სტრუქტურა მასზე ზედღებული კვადრატული ბადით, რომელსაც 25 საკვანძო წერტილი აქვს. როგორც სურათიდან ჩანს, 10 წერტილი მოხვედრილია α ფაზის მარცვალზე სურათზე დაშტრიხულია). (10.1) ტოლობიდან გამომდინარე, შენადნობის შემადგენელი ფაზები და მათი მოცულობები პროპორციულია შესაბამის ფაზებზე ზედღებული წერტილების რაოდენობისა.



სურ. 10.1. ოკულარული ბადის ტიპები



სურ. 10.2. ორფაზა შენადნობში
α და β ფაზების მოცულობითი
შემცველობის განსაზღვრის სქემა

რადგან შემთხვევითი წერტილების საერთო რაოდენობაა 25, ბადის მოცემული მდებარეობისათვის შენადნობში α ფაზის წილი $10/25$ -ს ანუ 40%-ს შეადგენს.

განმეორებითი გაზომვების რაოდენობის გაზრდით შესაძლებელია ფაზათა შემდგენი სასურველი სიზუსტითა და დამაჯერებლობით განისაზღვროს.

თუ სტრუქტურული შემდგენების რიცხვი ორს აღემატება, ითვლიან თითოეულ შემდგენელ ფაზაზე ზედდებულ წერტილებს. ამ რიცხვის შეფარდება წერტილების საერთო რაოდენობასთან იძლევა მო-

ცემული ფაზის მოცულობით შემცველობას შენადნობში.

ხშირად აუცილებელია შენადნობის არა ყველა ფაზის, არამედ ერთ-ერთი მათგანის (მაგალითად, არალითონური ჩანართების, კარბიდული ფაზის და ა.შ) შემცველობის განსაზღვრა. ამასთან, გამოსათვლელი ფაზის მცირე შემცველობისას შესაძლებელია მხედველობის ზოგიერთ უბანში ოკულარის ბადის არც ერთი საკვანძო

წერტილი არ დაემთხვეს სასურველ სტრუქტურულ მდგენელს. მიუხედავად ამისა, მონაცემების დამუშავების დროს აუცილებელია ასეთი „ცარიელი“ უბნების გათვალისწინება წერტილების საერთო რაოდენობაში.

დავუშვათ, შენაღობში არალითონური ჩანართების რაოდენობის განსაზღვრისათვის გამოკვლეული იყო 100 მიკროუბანი. ამასთან, 90 მიკროუბანში (მხედველობის არეში) არალითონურ ჩანართს ბადის არც ერთი საკვანძო წერტილი არ დაემთხვა, ხოლო დანარჩენი 10-დან ჩანართებზე ზედდებული წერტილების ჯამური რაოდენობა 14-ს შეადგენდა. ცხადია, ლითონური ჩანართების შემცველობა განისაზღვრება 14-ის შეფარდებით წერტილების საერთო რაოდენობასთან ანუ $\frac{14}{100 \times 25} = 0,0056$ (25 არის ბადის საკვანძო წერტილების რიცხვი) ანუ 0,56%. აღსანიშნავია, რომ სტრუქტურული შემდგენის ასე მცირე რაოდენობის შემცველობის დროს უფრო სარწმუნო პასუხის მისაღებად 25 წერტილი საკმარისი არ არის.

წერტილოვანი მეთოდით ჩატარებული გამოკვლევის შედეგის სიზუსტეს განაპირობებს როგორც ბადის საკვანძო წერტილების საერთო რიცხვი ისე შენაღობში ჩვენთვის საინტერესო სტრუქტურული შემდგენის რაოდენობა. ალბათობის თეორია საშუალებას იძლევა გამოითვალოს გაზომვების აბსოლუტური ცდომილება შემდეგი ფორმულის საფუძველზე:

$$\varepsilon = t \sqrt{\frac{\sum V(1 - \sum V)}{Z}}, \quad (10.2)$$

სადაც $\sum V$ არის მოცემული სტრუქტურული შემდგენის მოცულობითი შემცველობა შენაღობში;

t – ნორმირებული გადახრა, რომელიც განსაზღვრავს ჩატარებული ანალიზის სანდო ალბათობას. ნორმირებულ გადახრას სანდო ალბათობაზე დამოკიდებულებით 10.1 ცხრილიდან ირჩევენ;

Z – წერტილების საერთო რაოდენობა.

ფარდობითი ცდომილება გამოითვლება ფორმულით:

$$E = \frac{\varepsilon}{V} \times 100\%, \quad (10.3)$$

სადაც V არის მოცემული სტრუქტურული შემდგენის მოცულობითი წილი გამოსაკვლევე შენაღობში.

თუ გაზომვების დაწყებამდე აუცილებელია განისაზღვროს წერტილების ის საერთო რაოდენობა, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს წინასწარ ცნობილი სიდიდის სააღბათო ცდომილების მიღება, სარგებლობენ 10.2 ცხრილის მონაცემებით. ამასთან, საჭიროა წინასწარ, ვიზუალურად შეფასდეს გამოსაკვლევი სტრუქტურული შემდგენის მიახლოებითი რაოდენობა შენადნობში.

თუ ცდომილების სიდიდის ან წერტილების რაოდენობის განსაზღვრისას გამოსავალი სიდიდე არის არა სააღბათო ცდომილება, არამედ სანდო აღბათობა, მაშინ 10.1 ცხრილიდან ირჩევენ ნორმირებული გადახრის (t) ისეთ მნიშვნელობას, რომელიც წინასწარ მოცემულ სანდო აღბათობას (p) შეესაბამება.

განვიხილოთ წერტილოვანი მეთოდით ჩატარებული ანალიზის ცდომილების გამოთვლის მაგალითი.

დავუშვათ, შენადნობის სტრუქტურა გამოკვლეულია 45 მიკროუბანში 25 საკვანძო წერტილის მქონე ოკულარული ბადის გამოყენებით. წერტილების საერთო რაოდენობა

$$Z=45 \times 25=1125$$

ცხრილი 10.1.

სანდო აღბათობა (P) ნორმირებული გადახრის (t) სხვადასხვა მნიშვნელობი „

სათვის

t	p	t	p	t	p
0,00	0,0000	0,75	0,5407	1,5	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1182	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

აქედან მოცემულ სტრუქტურულ მდგენელზე ზედდებული წერტილების რაოდენობა შეადგენს 450. მაშინ აღნიშნული სტრუქტურული მდგენელის მოცულობითი წილი შენადნობში ტოლი იქნება:

$$450:1124=0,40$$

ანუ 40%.

თუ t -ს მნიშვნელობას 0,65-ის ტოლად ჩავთვლით (იხ. ცხრ. 10.1), 10.2 ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ ანალიზის სააღბათო აბსოლუტურ ცდომილებას მოცულობით ერთეულებში:

$$\varepsilon=0,65 \sqrt{\frac{0,40(1-0,40)}{1125}}=0,0094.$$

მაშასადამე, გამოკვლეული სტრუქტურული შემდგენის მოცულობითი წილი შენადნობში არის $0,4 \pm 0,0094$ ანუ ეს სიდიდე 40,94-სა და 39,06%-ს შორის მერყეობს.

შედეგის ფარდობითი ცდომილება E , 10.3 ფორმულის თანახმად, ტოლია:

$$E = \frac{0,0094}{0,40} = 0,023, \text{ ანუ } 2,3\%$$

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

II საფეხური (მაგისტრატურა, რაოდენობრივი ანალიზი)

1. გამოიკვლიეთ თუჯის სტრუქტურაში მომრგვალებული ფორმის გრაფიტის ჩანართები და ვიზუალურად შეაფასეთ მათ მიერ დაკავებული ფართობი მიკროსტრუქტურის ხილულ არეში;

2. 10.2 ცხრილის მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრეთ წერტილების ის საერთო რაოდენობა, რომელიც უზრუნველყოფს 3%-მდე სააღბათო ცდომილების მიღებას;

3. კვადრატულბადიანი ოკულარის გამოყენებით განსაზღვრეთ გრაფიტის ჩანართების მოცულობითი შემცველობა გამოსაკვლევე თუჯში;

4. განსაზღვრეთ შედეგის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება სანდო აღბათობით 0,5;

5. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ცხრილი 10.2.

საკვანძო წერტილების რაოდენობა, რომელიც უზრუნველყოფს წინასწარ ცნობილი
 ε სააღბათო ცდომილების შიდას

		α უაზის შეღვევითობა															
ε, %		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		
		99	98	97	96	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50		
0,1	4400	8700	12932	17065	21109	39996	56661	71104	83325	93324	101101	106656	109989	111111			
0,2	-	2178	3233	4266	5277	10000	14165	17776	20831	23331	252275	26664	27497	27775			
0,3	-	968	1438	1897	2347	4446	6299	7904	9263	10374	11239	11856	12222	12350			
0,4	-	-	809	1068	1321	2502	3545	4448	5213	5838	6325	6672	6881	6950			
0,5	-	-	518	684	846	1612	2270	2848	3338	3933	4050	4282	4406	4460			
1	-	-	-	-	-	400	567	711	833	233	1011	1067	1100	1111			
2	-	-	-	-	-	-	142	178	208	104	233	267	275	278			
3	-	-	-	-	-	-	-	79	93	58	112	119	122	124			
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	67	60	70			

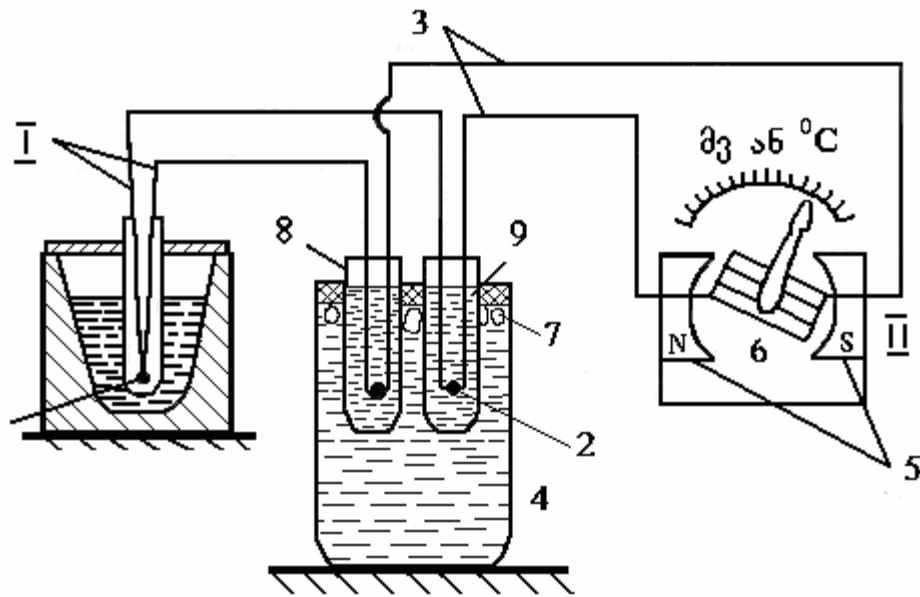
III. ტემპერატურის გაზომვის მეთოდები

სიდიდეს, რომელიც ნივთიერების სითბურ მდგომარეობას ახასიათებს, ტემპერატურა ეწოდება. ტემპერატურა არის მოლეკულების მოძრაობის კინეტიკური ენერჯის ზომა და ამდენად ნივთიერების მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერჯის პირდაპირპროპორციულია. ტემპერატურა განისაზღვრება, როგორც ნებისმიერად არჩეული სითბური წონასწორული მდგომარეობიდან ნივთიერების თერმოდინამიკური გადახრის სიდიდე, ამიტომ ტემპერატურის შესახებ ნივთიერების ფიზიკური თვისებების ცვლილებიდან გამომდინარე მსჯელობენ.

ტემპერატურის გასაზომი ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი დამყარებულია აირის, სითხისა და მყარი სხეულის სითბურ თვისებებზე. ტექნიკაში ტემპერატურის გასაზომი მრავალი ხელსაწყო არსებობს. მეტალურგიაში ყველაზე ფართო გამოყენება თერმოელექტრული პირომეტრმა პოვა.

თერმოელექტრული პირომეტრი. თერმოელექტრული პირომეტრის (სურ. 11.1) ძირითადი ნაწილებია თერმოწყვილი I და მარგისტრირებელი ხელსაწყო II. თერმოწყვილი არის ორი სხვადასხვა ლითონის ან შენადნობისაგან დამზადებული მიმწოდი, რომლის ერთი ბოლო შედუღებულია და მას თერმოწყვილის ცხელი ბოლო ეწოდება. თერმოწყვილის მავთულები (ელექტროდები) ერთმანეთისაგან ფაიფურის მილებითაა განმხილავებული.

თერმოელექტრული პირომეტრის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია თერმოელექტრულ მოვლენაზე: როგორც ცნობილია, შეკრულ წრედში, რომელიც შედგენილია ორი სხვადასხვა ლითონის მავთულისგან, აღიძვრება თერმოელექტრომომძრავებელი ძალა (თემძ) და თერმოელექტრული დენი, როდესაც მავთულის შეერთების ადგილს შედარებით მაღალ ტემპერატურამდე გავახურებთ. წრედში აღძრული თემ ძალის სიდიდე დამოკიდებული იქნება როგორც თერმოწყვილის ცხელ და ცივ ბოლოებს შორის ტემპერატურათა სხვაობაზე, ისე იმ მასალების ბუნებაზე, რომლისგანაც თერმოწყვილია დამზადებული. იგულისხმება, რომ წრედის წინააღმდეგობა მუდმივია. მაშასადამე, მოცემული თემ ძალის სიდიდით შეიძლება შეფასდეს თერმოწყვილის ცხელ და ცივ ბოლოებს შორის ტემპერატურათა სხვაობა და, აქედან გამომდინარე, თერმოწყვილის ცხელი ბოლოს ტემპერატურა, თუ წინასწარ იქნება ცნობილი ცივი ბოლოების ტემპერატურა და წრედში აღძრული თემ ძალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.



სურ. 11.1. თერმოელექტრული პირომეტრის სქემა

- I - თერმოწყვილი; II - მარეგისტრირებელი გამზომი ხელსაწყო.
 1. თერმოწყვილის ცხელი ბოლო; 2. თერმოწყვილის ცივი ბოლო
 3. საკომპენსაციო მავთული; 4. თერმოსტატი; 5. მუდმივი შაგხიტები;
 6. ისრიანი მოძრავი სვიუებიანი ჩარჩო; 7. დნობადი ყინული;
 8. ქიმიური ჭურჭელი; 9. სატრანსფორმატორო ზეთი

თუ ცივი ბოლოების ტემპერატურა უცვლელად იქნება შენარჩუნებული, ჯამური თემ ძალის სიდიდე ცხელი ბოლოს ტემპერატურით განისაზღვრება და შემდეგი დამოკიდებულებით აისახება:

$$E = at + bt^2 + ct^3 + \dots$$

a , b და c კოეფიციენტების მნიშვნელობები ელექტროდის მავთულის შედგენილობის მიხედვით შეირჩევა.

თერმოელექტრული დენი შედარებით ელექტროუარყოფითი ელექტროდიდან ელექტროდადებითისკენ არის მიმართული. ლითონის ძაბვის რიგი შემდეგნაირად გამოიყურება: Sb, Fe, Au, Cu, Ag, Zn, Pb, Pt და ა.შ. ყოველი მომდევნო ელემენტი მეტად ელექტროუარყოფითია მის წინ მდგომ ელემენტთან შედარებით.

თერმოწყვილის დასამზადებლად განკუთვნილი ელექტროდების წყვილის ძირითადი მოთხოვნებია:

1. გასაზომ ტემპერატურულ ინტერვალში თემ ძალის დიდი მნიშვნელობა;
2. თემ ძალის სტაბილურობა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში;
3. ქიმიური მდგრადობა აგრესიულ გარემოში მუშაობისას.

თერმოწვეილის დასამზადებლად უპირატესად ლითონების შემდეგი წყვილები გამოიყენება:

ა. სპილენძ-კონსტანტანი, რომლის ექსპლუატაციის ტემპერატურული ინტერვალი -200°C -დან $+300^{\circ}\text{C}$ -მდე იცვლება; 300°C -ის ზემოთ მისი გამოყენება შეზღუდულია, რადგან სპილენძი იწვებს ჟანგვას.

ბ. სპილენძ-კოპელი, რომელიც უარყოფით ტემპერატურაზე (-250°C -მდე) გამოიყენება.

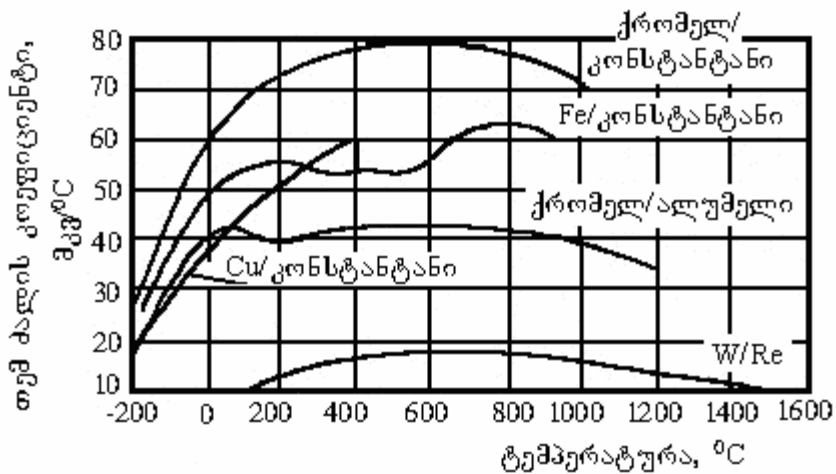
გ. რკინა-კონსტანტანი. თერმოწვეილი იაფია, მგრძობიარე და საიმედო. შეიძლება მისი გამოყენება როგორც დამუხანგველ, ისე აღმდგენელ ატმოსფეროში. თერმოწვეილი იშვიათად იხმარება 0°C -ის ქვემოთ. ზედა ტემპერატურული ზღვარი დაახლოებით 900°C -ით შემოიფარგლება.

დ. ქრომელ-ალუმელი. თერმოწვეილი მუშაობის ყველაზე ფართო ტემპერატურული დიაპაზონით ხასიათდება (-200°C – $+1100^{\circ}\text{C}$, 1.2). სურ. 11.2. 0°C -ის ქვემოთ მუშაობისას უპირატესობა სპილენძ-კონსტანტანის თერმოწვეილს ეძლევა.

ქრომელის შედგენილობაა $90\%\text{Ni}$ და $10\%\text{Cr}$, ხოლო ალუმელის – $94\%\text{Ni}$, $3\%\text{Mn}$, $2\%\text{Al}$ და $1\%\text{Si}$. თერმოწვეილის ნაკლად ითვლება დეფორმაციისადმი მგრძობიარობა, რაც იწვევს მისი მახასიათებლების შეცვლას და არასტაბილურობას ექსპლუატაციის პროცესში.

ე. პლატინაროდიუმი-პლატინა. კეთილშობილი ლითონებისგან დამზადებული თერმოწვეილები უფრო მაღალი სიზუსტითა და სტაბილურობით ხასიათდება. მათი მაღალი დნობის ტემპერატურა აღნიშნული ტიპის თერმოწვეილების მაღალი ტემპერატურების გასაზომად გამოყენების საშუალებას იძლევა.

ამ ჯგუფიდან ყველაზე გავრცელებულია პლატინაროდიუმი-პლატინის თერმოწვეილი $\text{Pt}10\%\text{Rh}/\text{Pt}$. იგი შედარებით უფრო ზუსტი და კარგად შესწავლილი თერმოწვეილია და თითქმის ყოველთვის გამოიყენება, როგორც სტანდარტული. ხანგრძლივი მუშაობისას ზედა ტემპერატურული ზღვარი შეადგენს 1400°C , ხოლო ხანმოკლე მუშაობისას – 1750°C . 500°C -ის ქვემოთ პლატინა-როდიუმის თერმოწვეილი თემ ძალის დაბალი კოეფიციენტით ხასიათდება, მაგრამ მიუხედავად ამისა, უადრესად მაღალი სტაბილურობის გამო მისი გამოყენება მიზანშეწონილია აღნიშნულ ტემპერატურულ ინტერვალშიც.



სურ. 11.2. სხვადასხვა ტიპის თერმოწყვილის თემ ძალის კოეფიციენტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

პრაქტიკაში აგრეთვე გამოიყენება თერმოწყვილები Pt20%Rh/Pt5%Rh და Pt30%Rh/Pt6%Rh . დადგენილია, რომ მათი გამოყენება შესაძლებელია 1750°C-ზე განუწყვეტელი გაზომვების ჩასატარებლად.

მაღალი ტემპერატურის გასაზომად (1400°C-ზე მაღლა) გამოიყენება ვოლფრამისა და რენიუმის შენადნობებისგან დამზადებული თერმოწყვილები. კერძოდ, BP5/20 და BP10/20, აგრეთვე ირიდიუმ-როდიუმის, პლატინა-ირიდიუმის, ვოლფრამ-მოლიბდენისა და სხვა ძნელდნობადი ლითონების წყვილები.

11.1 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი თერმოწყვილის თემ ძალის მნიშვნელობები. ნაჩვენები ტემპერატურა მაქსიმალურია ხანგრძლივი გაზომვებისათვის. ხანმოკლე მუშაობისას შესაძლებელია ტემპერატურის გაზრდა 200-300°C-ით.

თერმოწყვილის ტიპის შერჩევის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს სამუშაო გარემო და გასაზომი ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობა. სხვა თანაბარ პირობებში უპირატესობა იმ თერმოწყვილს უნდა მიეცეს, რომელსაც გასაზომ ტემპერატურულ დიაპაზონში მაღალი და სტაბილური თემ ძალა ახასიათებს, რაც, ცხადია, უზრუნველყოფს ცდით მიღებული მონაცემების მაღალ სიზუსტეს.

თუ ტემპერატურის გასაზომი გარემო ქიმიურად აგრესიულია, თერმოწყვილს ათავსებენ უჟანგავი ფოლადის, კვარცის ან ფაიფურის დამცველ გარსაცმში.

ტემპერატურის გასაზომად თერმოწყვილის ცხელი ბოლო (1, იხ. სურ. 11.1) ტემპერატურის გასაზომ გარემოში თავსდება, ხოლო ცივი ბოლოები (2) საკომპენსაციო

ზოგიერთი თერმოწყვილის თემ ძაღის მნიშვნელობა

ცხელი ბოლოს ტემპერატურა, 0°C	თერმოწყვილის თემ ძაღა, მგ. ცივი ბოლოს ტემპერატურა 0°C				ცხელი ბოლოს ტემპერატურა, 0°C	თერმოწყვილის თემ ძაღა, მგ. ცივი ბოლოს ტემპერატურა 0°C			
	პლატინაროდოუმი-პლატინა (ПП-1)	ქრომელ-ალუმელი (ХА)	ქრომელ-კობელი (ХК)	პლატინაროდოუმი (30%Rh)-პლატინა-როდოუმი (6%Rh) (ПР-30.6)		პლატინაროდოუმი-პლატინა (ПП-1)	ქრომელ-ალუმელი (ХА)	ქრომელ-კობელი (ХК)	პლატინაროდოუმი (30%Rh)-პლატინა-როდოუმი (6%Rh) (ПР-30.6)
0	0	0	0	0	1000	9,57	11,31	-	4,91
100	0,04	4,10	6,9	-	1100	10,74	15,14	-	5,88
200	1,42	8,13	14,65	-	1200	11,95	-	-	6,90
300	2,31	12,21	23,16	0,46	1300	13,15	-	-	7,98
400	3,24	16,39	13,53	0,81	1400	14,37	-	-	9,11
500	4,21	20,64	10,15	1,27	1500	15,55	-	-	10,27
600	5,22	24,90	49,00	1,82	1600	16,76	-	-	11,47
700	6,25	29,14	17,75	2,47	1700	-	-	-	12,69
800	7,32	33,31	66,40	3,20	1800	-	-	-	13,93
900	8,43	37,36	-	4,02					

მავთულის (3) საშუალებით გამზომ ხელსაწყოს უერთდება. საკომპენსაციო მავთულის დანიშნულებაა თერმოწყვილის სიგრძის შეზღუდვა და სითბოს წყაროდან ცივი ბოლოების მაქსიმალურად მოცილება, რადგან მათი გახურება ჯამური თემ ძაღის შემცირებას გამოიწვევს. ეს კი ქმნის გაზომვის შედეგებში შესწორების შეტანის აუცილებლობას, რომლის ზუსტი მნიშვნელობა ექსპერიმენტის დროს ცნობილი არ არის. საკომპენსაციო მავთულის შერჩევა თერმოწყვილის ძირითადი მასალის – ელექტროდის შედგენილობის მიხედვით ხდება (ცხრილი 11.2).

თემ ძაღასა და ცხელი ბოლოს ტემპერატურის პროპორციულობის შესანარჩუნებლად თერმოწყვილის ცივი ბოლოები იტვირთება თერმოსტატში, რომელშიც დნობადი ყინულია ჩაყრილი. თემ ძაღის გასაზომად გამოიყენება მილივოლტმეტრი ან მუდმივი დენის პოტენციომეტრი.

მილივოლტმეტრი (II, სურ. 11.1) მაგნიტოელექტრული ტიპის ხელსაწყოა, რომელ-

საკომპენსაციო მავთულად გამოყენებული ლითონები და შენადნობები

თერმოწყვილის ტიპი	ელექტროდი	საკომპენსაციო მავთულის შედგენილობა
XA	ქრომელი ალუმელი	სპილენძი (100 ⁰ C-მდე); შენადნობი HM (Ni+17%Cu) 250 ⁰ C –მდე კონსტანტანი (100 ⁰ C-მდე); შენადნობი MT (Cu+0,5%Ti) 250 ⁰ C -მდე
XK	ქრომელი კოპელი	იგივე შენადნობი, რისგანაც არის დამზადებული ძირითადი ელექტროდი იგივე
III-1	პლატინა პლატინაროდიუმი	სპილენძი შენადნობი TII (Cu+0,5%Ni)
BP 5/20	ვოლფრამისა და 5%Re-ის შენადნობი ვოლფრამისა და 20%Re-ის შენადნობი	სპილენძი შენადნობი MH0,2 (Cu+0,5Ni)

შიც მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს (5) შორის ისრიანი, მოძრავი ხვეებიანი ჩარჩოა (6) მოთავსებული. ჩარჩოს ხვეებში თერმოელექტრული დენის გავლის შედეგად წარმოიქმნება ველი, რომელიც მუდმივი დენის მაგნიტის ველთან ურთიერთქმედების შედეგად ხვეებიან ჩარჩოს ისრიანად გარკვეული კუთხით შემოაბრუნებს. ცხადია, გაღვანომეტრის ისრის გადახრის კუთხეს განსაზღვრავს თემ ძალის სიდიდე.

მარვეისტრირებელი ხელსაწყო სკალა შეიძლება დაგრადუირებული იყოს როგორც მილივოლტებით, ისე გრადუსებით (შესაძლებელია ორივე მაჩვენებლით დაგრადუირება). ტემპერატურული სკალა გამოსადეგია მხოლოდ გარკვეული ტიპის თერმოწყვილისა (მაგალითად, XA, III და ა.შ) და ცივი ბოლოების განსაზღვრული ტემპერატურისათვის (0⁰C ან 20⁰C). თუ გაზომვების ჩატარების დროს თერმოწყვილის ცივი ბოლოების ტემპერატურა განსხვავებულია, რიცხობრივ მონაცემებში საჭიროა სათანადო შესწორების გათვალისწინება.

მუდმივი დენის პოტენციომეტრში გასაზომი თემ ძალა კომპენსირდება ხელსაწყოში მოთავსებული ეტალონური ბატარეის ელექტრომამოძრავებელი ძალით. რიცხობრივი მონაცემების ათვლა საფეხურებიანი გადამრთველისა და რეოქორდის სკალიდან

ხდება. პოტენციომეტრით გაზომვების სიზუსტე საკმაოდ დიდია და 0,01-0,001 მე-ს შეადგენს.

მარეგისტრირებელ ხელსაწყოდ შეიძლება აგრეთვე მრავალწერტილიანი ავტომატური თვითჩამწერი პოტენციომეტრის ან ციფრული ხელსაწყოს გამოყენება. თერმოწყვილის ძირითადი ტიპებისთვის არსებობს სტანდარტული ცხრილები, რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელია თემ ძალის სიდიდის გამოსახვა გრადუსებით. მაგალითად, ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილისთვის ეს მნიშვნელობები 11.3 ცხრილშია მოცემული.

ცხრილი 11.3

თემ ძალის გრადუსებში გადასაყვანი ცხრილი

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	მ ი ლ ი ვ ო ლ ტ ი									
0	0	0,4	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73
200	8,13	8,53	8,93	9,34	9,74	10,15	10,56	10,97	11,38	11,80
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,29	14,71	15,13	15,55	15,97
400	16,39	16,82	17,24	17,66	18,08	18,50	18,93	19,36	19,78	20,21
500	20,64	21,07	21,49	21,92	22,34	22,77	23,20	23,62	24,05	24,48
600	24,90	25,33	25,75	26,18	26,60	27,03	27,45	27,87	28,29	28,72
700	29,14	29,56	29,98	30,40	30,82	31,23	31,65	32,07	32,48	32,90
800	33,31	33,71	34,12	34,53	34,94	35,35	35,75	36,16	36,56	36,96
900	37,36	37,76	38,16	38,56	38,96	39,35	39,75	40,14	40,53	40,92
1000	41,31	41,70	42,08	42,47	42,86	43,24	43,62	44,00	44,38	44,76
1100	45,14	45,52	45,89	46,27	46,64	47,01	47,38	47,75	48,12	48,48

შენიშვნა: მოცემული ცხრილი შედგენილია 100°C-ის ინტერვალით. არსებობს უფრო ზუსტი ცხრილები, სადაც თემ ძალა მოცემულია ყოველი 1°C-ის ინტერვალით.

ზუსტი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად საჭიროა თერმოელექტრული პირომეტრის წინასწარი დაგრაღუირება და ცდომილების განსაზღვრა ანუ თემ ძალასა და შესაბამის ტემპერატურას შორის დამოკიდებულებისა და შესწორების სიდიდის დადგენა განსაკუთრებით იმ ტემპერატურულ დიაპაზონში, სადაც გაზომვები უნდა ჩატარდეს.

ღაბორატორიული სამუშაო 11

11.1. თერმოელექტრული პირომეტრის დაბრუნება

თერმოელექტრული პირომეტრის დაბრუნების აუცილებლობა იმით არის გამოწვეული, რომ ექსპლუატაციის დროს შეიძლება შეიცვალოს როგორც თერმოწყვილის თემ ძალა (გახურება-გაცივების დროს ელექტროდების მასალაში მიმდინარე სტრუქტურული ცვლილებების გამო, დაჟანგვის შედეგად და ა.შ), ისე გამზომი ხელსაწყო მახასიათებლები.

დაბრუნება შეიძლება გამოსაკვლევი თერმოწყვილის მახასიათებლების შედარებით ეტალონურ თერმოწყვილთან. ამ შემთხვევაში ორივე თერმოწყვილის ცხელი ბოლოები ერთმანეთთან უშუალო მახლობლობაში თავსდება იზოთერმულ გარემოში. სხვადასხვა ტემპერატურაზე აითვლება დასაბრუნებელი თერმოწყვილის თემ ძალა, ხოლო შესაბამისი ტემპერატურა ეტალონური თერმოწყვილით განისაზღვრება.

თერმოელექტრული პირომეტრის დაბრუნება შესაძლებელია აგრეთვე სუფთა ლითონებისა და სხვადასხვა ნივთიერების გამყარების (დნობის) ან დუდილის წერტილების მიხედვით. აქ რეალიზებულია ის თვისება, რომ დუდილისა და გამყარების ანუ კრისტალიზაციის პროცესი აღნიშნულ ნივთიერებებში ტემპერატურის ცვლილების გარეშე, იზოთერმულად მიმდინარეობს და იგი ყოველი მათგანისათვის მუდმივი მახასიათებელია (იხ. ცხრილი 11.4).

გამყარების ტემპერატურის მიხედვით დასაბრუნებლად შერჩეულ ნივთიერებას, მაგალითად, სუფთა ლითონს, რომელთა დნობის (გამყარების) ტემპერატურა ცნობილია, ტიგელში ათავსებენ, ადნობენ და გადაახურებენ. გადაახურებულ ლითონში ჩატვირთავენ თერმოწყვილს, ღუმელს გამორთავენ და აკვირდებიან თემ ძალის ცვლილებას დროის მიხედვით (მაგალითად, ყოველ 15 წამში). გაცივების პროცესში, ლითონში ფაზური გარდაქმნების დაწყებამდე თემ ძალა მცირდება, კრისტალიზაციის დაწყების მომენტიდან კი იგი უცვლელად შენარჩუნდება სითხის უკანასკნელი წვეთის გამყარებამდე. სწორედ დროის ამ მონაკვეთში ფიქსირებული თემ ძალა შეესაბამება მოცემული ლითონის დნობის (გამყარების) ტემპერატურას.

ანალოგიურად აკვირდებიან არანაკლებ სამ ნივთიერებას, რომელთა გამყარების წერტილები გასაზომ ტემპერატურულ დიაპაზონში მდებარეობს. წინასწარ

ზოგიერთი ნივთიერების დახასიათება

ნივთიერება (მდგომარეობა წონასწორულია)	ტემპერატურა, °C	ტიგელის მასალა	დამცველი საფარი
დუდილის წერტილი N ₂	-195,802		
O ₂	-182,962		
გამყარების წერტილი Hg	-38,862	მინა	საფარის გარეშე
H ₂ O	0	ნებისმიერი	საფარის გარეშე
დუდილის წერტილი H ₂ O	100	ნებისმიერი	საფარის გარეშე
გამყარების წერტილი In	156,634		
50,5% KNO ₃ +49,5% NaNO ₃	218	უჟანგავი ფოლადი	საფარის გარეშე
Sn	231,9681	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
Pb	327,502	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
Zn	419,58	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
დუდილის წერტილი S	444,674		
გამყარების წერტილი 35,0% BaCl ₂ +65,0% CaCl ₂	600	უჟანგავი ფოლადი	საფარის გარეშე
Sb	630,74	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
Al	660,37		
NaCl	801	უჟანგავი ფოლადი	საფარის გარეშე
BaCl ₂	940	უჟანგავი ფოლადი	საფარის გარეშე
Ag	961,93	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
Au	1064,43	გრაფიტი, ფაიფური	გრაფიტი, ნახშირი
Cu	1084,5		
CaSO ₄	1360	პლატინა	საფარის გარეშე

შენიშვნა: მარილის გამოყენების შემთხვევაში აღნიშნული წერტილები დნობის პროცესში განისაზღვრება.

ცნობილი გამყარების ტემპერატურებისა და შესაბამისი თემ ძალის მონაცემების საფუძველზე აგებენ თერმოელექტრული პირომეტრის გრადუირების მრუდს კოორდინატებით ტემპერატურა – თემ ძალა.

განვიხილოთ მაგალითი. დავუშვათ, ექსპერიმენტის მსვლელობის დროს საჭიროა ტემპერატურის ზუსტი კონტროლი 200-დან 600°C-მდე ინტერვალში. 11.1 ცხრილის მონაცემების საფუძველზე გაზომვის მაქსიმალურ სიზუსტეს ქრომელ-ალუმელის თერ-

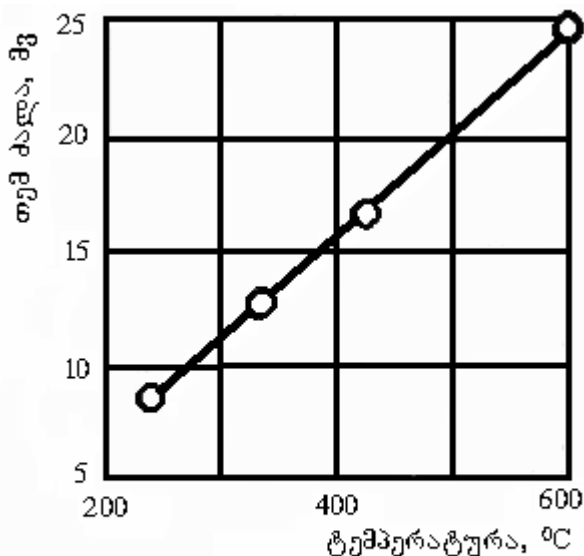
მოწყვილი უზრუნველყოფს, ხოლო 11.4 ცხრილის თანახმად, მიზანშეწონილია სუფთა კალის, ტყვიის, თუთიის, BaCl₂-ისა და CaCl₂ - ის მარილების ნარევის გამოყენება. შესაბამისად შეირჩევა ტიგელები – ლითონებისთვის ფაიფურის, ხოლო მარილებისთვის – უჟანგავი ფოლადის. გახურების პროცესში დაჟანგვისაგან დასაცავად ლითონს ზედაპირზე ნახშირის ფხვნილი უნდა მოეყაროს.

საწყისი მონაცემები და გაზომვის შედეგები შეაქვთ დაკვირვებათა ცხრილში (იხ. ცხრ. 11.5). როგორც ცხრილიდან ჩანს, 231,96°C შეესაბამება 9,02 მგ-ს 327,50°C-- 13,05 მგ-ს და 600°C – 24,8 მგ-ს.

ცხრილი 11.5

თერმოწყვილის შესწორების სიდიდის განსაზღვრა

ტემპერატურა, °C	სტანდარტული ცხრილის შესაბამისი თემ ძალა E _{სტ} , მგ	დასაგრადუირებელი თერმოწყვილის შესაბამისი თემ ძალა E _{ექს} , მგ	$\Delta E = E_{სტ} - E_{ექს}$
231,9	9,42	9,02	0,4
327,5	13,35	13,05	0,3
419	17,22	17,02	0,2
600	24,9	24,80	0,1



სურ. 11.3. ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილის გრადუირების მრუდი

გრადუირების მრუდის ასაგებად აბსცისათა ღერძზე გადაზომავენ ტემპერატურას, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – თემ ძალას. ქსპერიმენტული წერტილები გადააქვთ კოორდინატთა სისტემაში და აერთებენ მდოვრე მრუდით. მოცემული მაგალითისათვის თერმოელექტრული პირომეტრის გრადუირების მრუდს აქვს 11.3 სურათზე წარმოდგენილი სახე.

თერმოწყვილის გრადუირების მრუდი ინტერპოლაციის საფუძველზე პოტენციომეტრის ნებისმიერი ჩვენების გრადუირებით

გამოსახვის საშუალებას იძლევა.

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გაეცანით თერმოელექტრული პირომეტრისა და მუდმივი დენის პოტენციომეტრის (ტემპერატურის გამზომი ხელსაწყო) მუშაობის პრინციპს;
2. თერმული ანალიზის საფუძველზე ააგეთ სუფთა კალის, ტყვიისა და თუთიის გაცივების მრუდები და დაადგინეთ გამყარების წერტილები;
3. ექსპერიმენტული მონაცემებისა და კალის, ტყვიისა და თუთიის დნობის (გამყარების) ტემპერატურების საფუძველზე ააგეთ თერმოწვევილის გრადუირების მრუდი;
4. წერილობით აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

11.2. თერმოელექტრული პირომეტრის შესწორების სიდიდის ბანსაზღვრა

თერმოწვევილის დასაგრადუირებლად პრაქტიკაში ხშირად სარგებლობენ სტანდარტულ ცხრილებთან შედარების მეთოდითაც, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს დასაგრადუირებელი თერმოწვევილის სისტემატური ცდომილება ანუ შესწორების სიდიდე მოცემულ ტემპერატურულ ინტერვალში. შესწორების სიდიდის განსაზღვრისათვის დიაგრამის ასაგებად აბსცისათა ღერძზე გადაიზომება დასაგრადუირებელი თერმოწვევილის თემ ძალა ($E_{ექს}$), ხოლო ორდინატთა ღერძზე – სტანდარტული ცხრილის შესაბამისი თემ ($E_{სტ}$) და ექსპერიმენტულად მიღებული თემ ძალების სხვაობა ΔE (იხ. ცხრ. 11.5 და ნახ. 11.4):

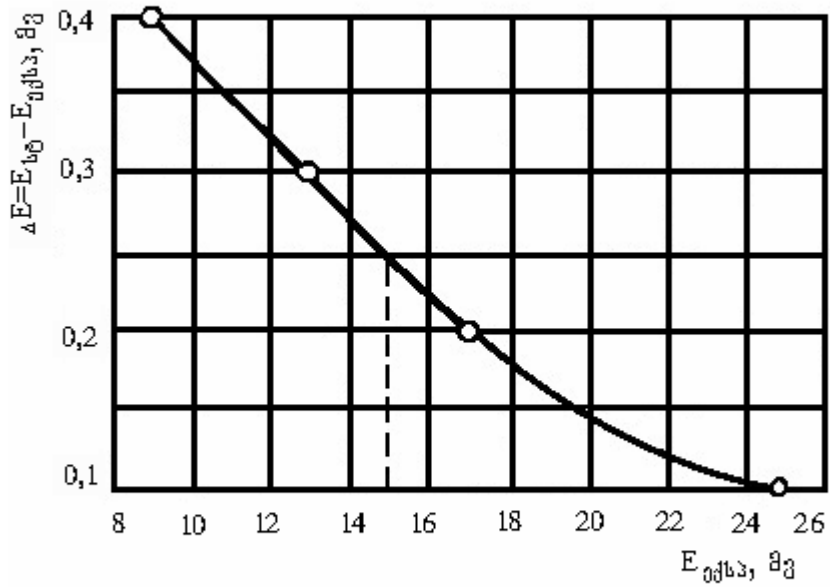
$$\Delta E = E_{სტ} - E_{ექს}$$

მაგალითად, 11.4 დიაგრამიდან გამომდინარე, შესწორების სიდიდე 15 მილივოლტისათვის 0,25 მილივოლტია.

დავალებათ:

II საფეხური (მაგისტრატურა, რაოდენობრივი ანალიზი)

1. კალის, ტყვიისა და თუთიის კრიტიკული წერტილებისა და სტანდარტული ცხრილის მონაცემების ურთიერთშედარების საფუძველზე ააგეთ ტემპერატურის შეს-



სურ. 11.4. შესწორების სიდიდის განსაზღვრა ტემპერატურის გაზომვისას

წორების სიდიდის გამოსათვლელი დიაგრამა. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;

2. გაზომვების მოცემულ დიაპაზონში პრაქტიკულად განსაზღვრეთ რამდენიმე ტემპერატურის შესწორების სიდიდე.

3. წერილობით აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

ლითონი ანათვალი	Sn	Pb	Zn	კრიტიკული წერტილების შესაბამისი ტემპერატურა, °C
1	2	3	4	5

ჯაბორატორიული სამუშაო 12

შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის აგება

შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის აგება თერმული ანალიზის მეთოდით ხდება. ექსპერიმენტული ნაწილი ტარდება დანადგარზე, რომლის სქემა 11.1 სურათზეა გამოსახული.

ორკომპონენტიანი სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის ასაგებად იღებენ ორ სუფთა ლითონს და ამ ლითონების რამდენიმე შენადნობს. შერჩეულ ლითონებს, რომელთაგან თითოეულის მასა 150-200 გ-ია, ათავსებენ ფოლადის, ფაიფურის ან კვარცის ტიგლებში, გაადნობენ და გადაახურებენ. დნობის პროცესში დაუანგვის გამორიცხვის მიზნით ლითონს ზედაპირზე ნახშირს აყრიან. გამდნარ ლითონს მოურევინ ფაიფურის ან გრაფიტის წკირით, ღუმელს დააფარებენ ცეცხლგამძლე თავსახურავს ან აზბესტის ფურცელს, ლითონში ჩადებენ თერმოწყვილის ცხელ ბოლოს და ღუმელს გამორთავენ.

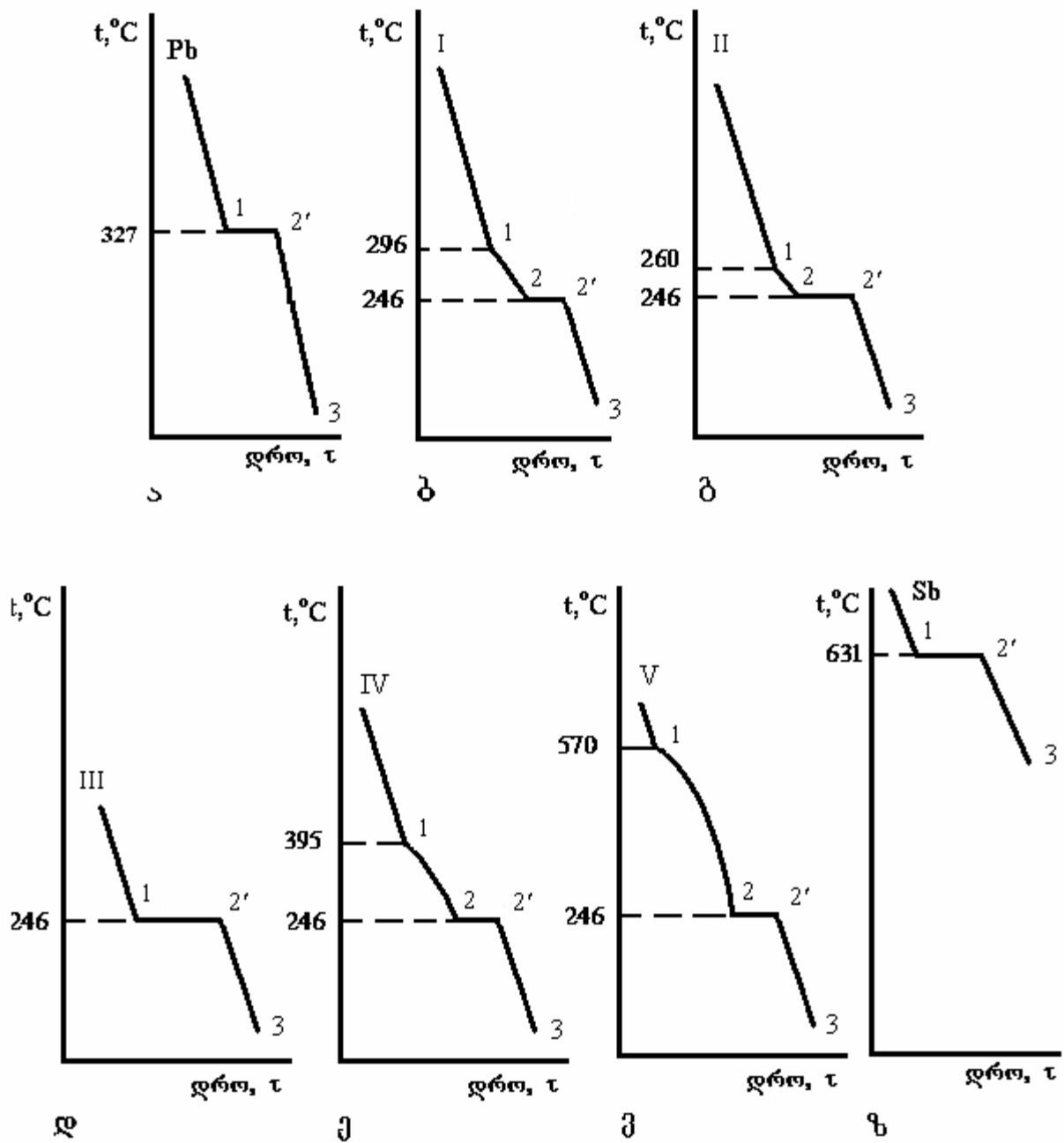
ლითონის გაცივების პროცესის დაწყებიდან კრისტალიზაციის დამთავრებამდე დროის ტოლ ინტერვალებში, მაგალითად, ყოველ 20 წამში, იწერენ ტემპერატურის გამზომი ხელსაწყოს ჩვენებას (სასურველია გაზომვა ლითონის სრული გამყარებიდან 2-3 წუთის შემდეგ დამთავრდეს).

თერმული ანალიზის მონაცემების საფუძველზე აგებენ როგორც სუფთა ლითონის, ისე შენადნობის გაცივების მრუდებს კოორდინატებით ტემპერატურა-გაცივების დრო და ადგენენ კრიტიკულ წერტილებს.

12.1 სურათზე მოცემულია სუფთა Pb, Sb და მათი რამდენიმე შენადნობის გაცივების მრუდები. III შენადნობი ევტექტიკური კონცენტრაციისაა.

როგორც 12.1 ა და ბ სურათებიდან ჩანს, 1 კრიტიკული წერტილის ზემოთ როგორც ტყვია, ისე სტიბიუმი თხევად მდგომარეობაშია. მათი კრისტალიზაციის პროცესი 1-2' ჰორიზონტალურ უბანზე მიმდინარეობს, ხოლო 2'-3 ტემპერატურულ ინტერვალში უბრალოდ ხდება გამოკრისტალებული ფაზის გაცივება.

შენადნობების კრისტალიზაცია ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს. გამყარების პროცესი იწყება 1 კრიტიკულ წერტილში, ხოლო მთავრდება ევტექტიკური კრისტალიზაციით მუდმივ ტემპერატურაზე (2-2' ჰორიზონტალური უბანი). გამონაკლი-



სურ. 12.1. სუფთა ლითონების და შენადნობების გაცივების მრუდები

ა-100% Pb; ბ-95% Pb, 5% Sb; გ-90% Pb; 10% Sb; დ-87% Pb; 13% Sb;
 ე-60% Pb; 40% Sb; ვ-80% Pb; 20% Sb; ზ-100% Sb.

სია ევტექტიკური შენადნობი, რომელიც მყარდება მუდმივ ტემპერატურაზე უშუალოდ ევტექტიკის წარმოქმნით

განხილული სუფთა ლითონებისა და შენადნობების კრისტალიზაციის საწყისი

(t_b) და საბოლოო (t_d) წერტილები შემდეგ ტემპერატურებზე მდებარეობს:

ლითონი:	$t_b, ^\circ\text{C}$	$t_d, ^\circ\text{C}$
100% Pb	327	327
I – 95% Pb + 5% Sb	296	246
II – 90% Pb + 10% Sb	260	246
III – 87% Pb + 13% Sb	246	246
IV – 60% Pb + 40% Sb	395	246
V – 20% Pb + 80% Sb	570	246
100% Sb	631	631

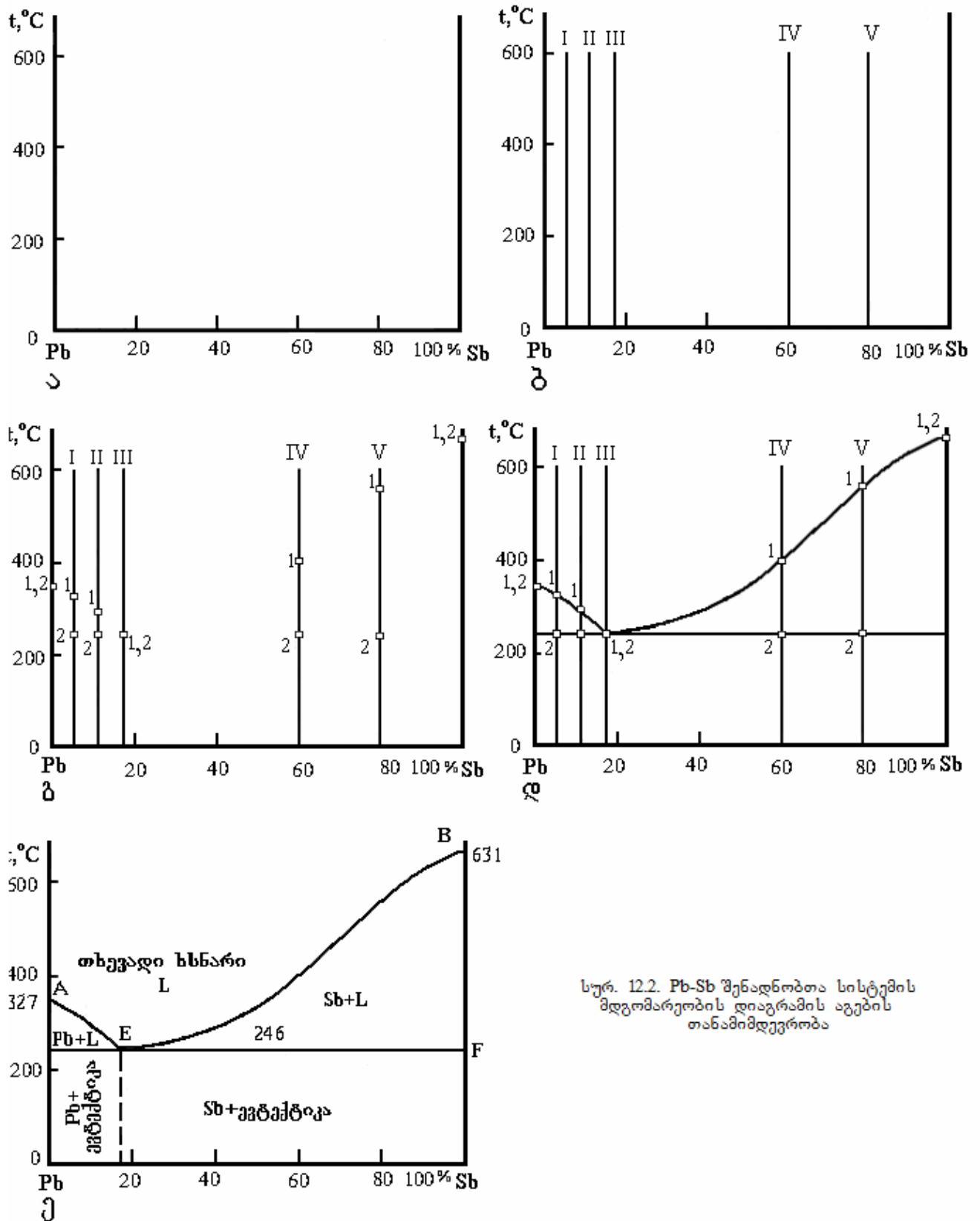
ორკომპონენტიანი სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა აიგება კოორდინატებით ტემპერატურა – კონცენტრაცია. ტემპერატურას ორდინატაზე ტოვებენ, აბსცისას კი კონცენტრაციის ღერძად იყენებენ.

კიდურა ორდინატებზე აღმართავენ სუფთა ლითონების ტემპერატურულ ღერძებს (მოცემულ შემთხვევაში Pb და Sb) და მთელ მონაკვეთს 100 ტოლ ნაწილად ყოფენ (სურ. 12.2, ა). აბსცისის ნებისმიერი წერტილი მოცემული სისტემის გარკვეული კონცენტრაციის შენაღობს შეესაბამება.

ყოველი შენაღობის კონცენტრაციის შესაბამისი წერტილიდან კოორდინატთა სისტემაში აღმართავენ მართობებს (ტემპერატურულ ღერძებს) (სურ. 12.2, ბ) და როგორც სუფთა ლითონის, ისე შენაღობის ორდინატაზე გადმოაქვთ შესაბამისი გაცივების მრუდებით დადგენილი კრიტიკული წერტილები (გ). მიიღება წერტილების ორი ჯგუფი – ლიკვიდუსისა, რომლებზეც იწყება კრისტალიზაციის პროცესი და სოლიდუსისა, რომლებზეც კრისტალიზაციის პროცესი მთავრდება. ლიკვიდუსის წერტილებს (1) აერთებენ მღოვრე ხაზით. მას ლიკვიდუსის ხაზი ეწოდება, ხოლო სოლიდუსის წერტილებს (2), რადგან ისინი ამ შემთხვევაში ერთსა და იმავე ტემპერატურაზე მდებარეობს – წრფით აერთებენ და აგრძელებენ სუფთა ლითონების ორდინატების გადაკვეთამდე. მას სოლიდუსის ხაზი ეწოდება (სურ. 12.2, დ). დიაგრამაზე წერტილებს ასოებით აღნიშნავენ და ცალკეულ უბნებში ფაზებსა და სტრუქტურულ შემდგენებს წერენ. მიღებულ დიაგრამას Pb – Sb შენაღობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა ეწოდება (ე).

მდგომარეობის დიაგრამის უფრო სრულყოფილად დახასიათებისათვის დამატე-

ბით სწავლობენ სხვადასხვა შედგენილობის შენადნობის როგორც მექანიკურ თვისებებს, ისე სტრუქტურას მეტალოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული მეთოდებით.



სურ. 12.2. Pb-Sb შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის აგების თანამიმდევრობა

დავალებათა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. თერმული მეთოდით გამოიკვლიეთ სუფთა Pb, Sn და ამ სისტემის სხვადასხვა კონცენტრაციის შენადნობების გაცივების პროცესი თხევადიდან მყარ მდგომარეობამდე; ტემპერატურის გამზომი ხელსაწყოს ჩვენება შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;
2. ააგეთ გამოკვლეული ლითონების გაცივების მრუდები კოორდინატებით ტემპერატურა – გაცივების დრო და დაადგინეთ კრიტიკული წერტილები;
3. ააგეთ Pb – Sn შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა;
4. სქემატურად გამოსახეთ ქვეფერტიკური, ევტიკური და ზეეფერტიკური შენადნობების მიკროსტრუქტურები;
5. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. ააგეთ Sn-Pb შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის ექსპერიმენტული დიაგრამა და ჩაატარეთ სრული ანალიზი;
2. აღწერეთ ფაზათა წარმოქმნის პროცესი შენადნობებში თხევადი მდგომარეობიდან ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებისას სტრუქტურული სქემების მითითებით;
3. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

ლითონი ანათვალი	Sn	Pb	შენადნობი			კრიტიკული წერტილების შესაბამისი ტემპერატურა, °C
			I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7

IV. სისალის განსაზღვრის მეთოდები

სისალე არის მასალის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს პლასტიკურ ან დრეკად დეფორმაციას მასში გარეშე, უფრო სალი სხეულის შეჭრის შემთხვევაში. ამჟამად სისალე მიღებულია როგორც მექანიკური თვისებების ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი, რადგან მისი გაზომვა მეტად მარტივი და ადვილად განსახორციელებელია.

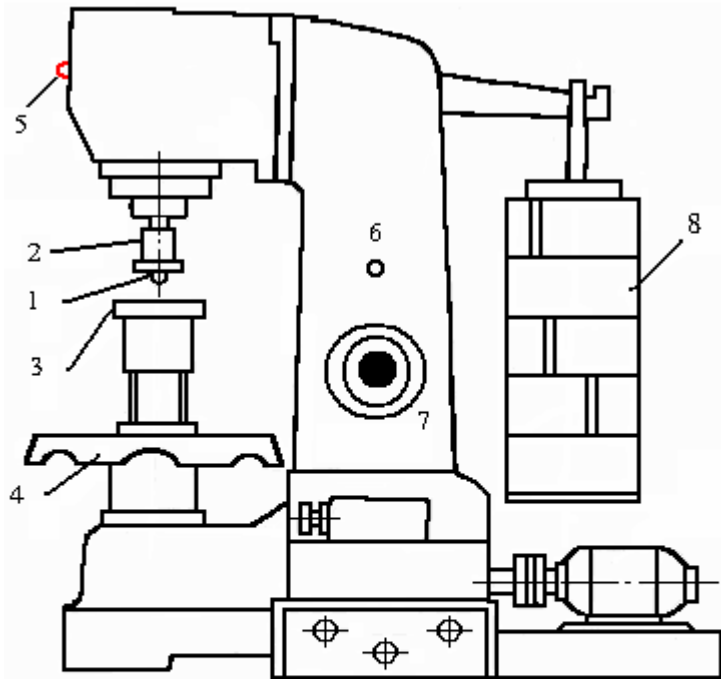
სისალის გაზომვის რამდენიმე მეთოდი არსებობს, რომელთაგან ყველაზე ფართო პრაქტიკული გამოყენება ჩაწნეხის მეთოდმა პოვა. ამ შემთხვევაში სისალეს განსაზღვრავენ მცირედ დეფორმირებადი მასალისაგან (ნაწრობი ფოლადი, ალმასი, სალი შენადნობები) დამზადებული ბურთულას, კონუსის ან პირამიდის ჩაწნეხით გამოსაკვლევი ლითონში. ბუნიკის ქვეშ და მის უშუალო მახლობლობაში გამოსაცდელი ლითონის ზედაპირული ფენები პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდიან, 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 სიმეიფეს 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 ვიმსჯელოთ ლითონის სხვა მექანიკურ მახასიათებლებზეც;
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).

13.1. სისალის განსაზღვრა ბურთულას ჩაწნების მეთოდით (ბრინელის ხერხი)



სურ. 13.1. ბრინელის წნეხის სქემა

- 1. ფოლადის ნაწრობი ბურთულა; 2. შპინდელი;
- 3. საგნის მაგიდა; 4. სახელური; 5. სასიგნალო ნათურა;
- 6. ძრავის ჩასართავი დილაკი; 7. რელე;
- 8. საწონები

ბრინელის ხერხით სისალის განსაზღვრის დროს გამოსაცდელ ნიმუშში რაღაც P ძალის ზემოქმედებით გარკვეული დიამეტრის ფოლადის ნაწრობი ბურთულა ჩაიწნება. ამ მიზნით გამოიყენება ავტომატური ბერკეტული სისტემის წნეხი, რომლის საერთო ხედი 13.1 სურათზეა გამოსახული. ბუნიკი, რომელშიც ჩამაგრებულია ფოლადის ნაწრობი ბურთულა (1), ხრახნის საშუალებით შპინდელში (2) მაგრდება, ხოლო გამოსაცდელი ნიმუში საგნის მაგიდაზე (3) თავსდება. სახელურის (4) საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას მაგიდა ზემოთ გადაადგილდება და ნიმუში გამოსაცდელი ზედაპირით

ბურთულას მიეხრება. ამით ნიმუშს წინასწარი დატვირთვა გადაეცემა, რის შესახებაც სიგნალს წითელი ნათურა (5) იძლევა. წინასწარი დატვირთვა 100 კგ-ია. დილაკზე (6) თითის დაჭერით ჩაირთვება ძრავა, რის შედეგადაც ბურთულაზე დატვირთვა გაიზრდება და იგი გარკვეული დროის განმავლობაში ლითონში ჩაიწნება. შემდეგ დატვირთვა მოიხსნება და ხელსაწყო ავტომატურად გამოირთვება. გამოსაცდელი მასალის სისალეზე დამოკიდებულებით დატვირთვის ხანგრძლივობა 10-60 წამს შეადგენს და მისი რეგულირება ძრავას რელეს (7) საშუალებით ხორციელდება. ნიმუშის გასათავისუფლებლად საჭიროა სახელურის უკუშემობრუნება. დატვირთვის სიდიდე საწონების (8) საშუალებით შეიძლება შეიცვალოს.

ბურთულას ჩაწნების შედეგად ნიმუშის გამოსაცდელ ზედაპირზე ანაბეჭდი მი-

იდება. სისალის მნიშვნელობა გამოითვლება მოქმედი P ძალის შეფარდებით ანაბეჭდის F ფართობთან და HB ასოებით აღინიშნება:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (13.1)$$

სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

F – ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობი, მმ²;

D – ბურთულას დიამეტრი, მმ;

d – ანაბეჭდის დიამეტრი, მმ.

ა. ბურთულას დიამეტრისა და დატვირთვის შერჩევა. ბრინელის ხერხით სისალის გასაზომად ბურთულას დიამეტრი (D=10; 5; 2,5 მმ) მასალის სისქის მიხედვით შეირჩევა. როგორც (13.1) ფორმულიდან გამომდინარეობს, სხვა თანაბარ პირობებში სისალეს ანაბეჭდის დიამეტრი განსაზღვრავს. ცხადია, ანაბეჭდის დიამეტრი რაც უფრო დიდი მიიღება, სისალე მით უფრო მცირე იქნება, მაგრამ დატვირთვის სიდიდესა და ანაბეჭდის დიამეტრს შორის მუდმივი თანაფარდობა, რაც სისალის ზუსტი განსაზღვრისათვის არის აუცილებელი, მხოლოდ გამოცდის გარკვეული პირობების დაცვის შემთხვევაში მიიღება. ცხადია, ეს თანაფარდობა სხვადასხვა სისალის მასალისთვის სხვადასხვა იქნება.

გამოსაცდელი მასალის თვისებებიდან გამომდინარე, დატვირთვის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$P = KD^2 \quad (13.2)$$

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 13.1 ცხრილიდან აიღება. როგორც ცხრილიდან ჩანს, სხვადასხვა დიამეტრის ბურთულას გამოყენებისას შესაბამისი დატვირთვა შეირჩევა. მაგალითად, თუ გამოცდის პირობებია HB 10(3000)30, ეს იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ შემთხვევაში სისალე განისაზღვრებოდა 10 მმ დიამეტრის ბურთულათი, დატვირთვის სიდიდე შეადგენდა 3000 კგ-ს, ხოლო დაყოვნების დრო – 30 წამს. დატვირთვის მაქსიმალური ცდომილება არ აღემატება 1%-ს.

ბურთულას დიამეტრისა და დატვირთვის შესარჩევი ცხრილი

გამოსაცდელი მასალა	სისალის დიაპაზონი ბრინელის ერთეულებით	გამოსაცდელი მასალის მინიმალური სისქე, მმ	თანაფარდობა $P=KD^2$	ბურთულას 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	>130	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

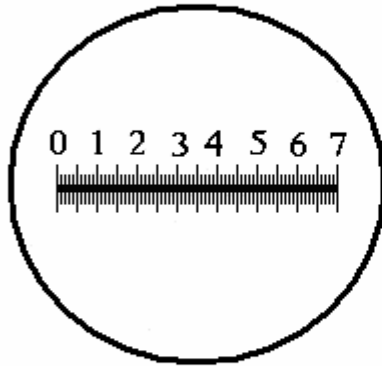
მკვეთრი ანაბეჭდის მისაღებად ნიმუშის ზედაპირი უნდა იყოს სწორი, გლუვი და სუფთა. ამ მიზნით იგი აბრაზიული მასალით ან ქლიბით მუშავდება.

ბ. ანაბეჭდის დიამეტრისა და სისალის განსაზღვრის მეთოდისა. ანაბეჭდის დიამეტრს ზომავენ ლუპით (სურ. 13.2, ა) ან მიკროსკოპით ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით და გამოითვლება მისი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა. ლუპას აქვს სახაზავი (სურ. 13.2, ბ) რომლის დანაყოფის ფასი 0,1 მმ-ია.

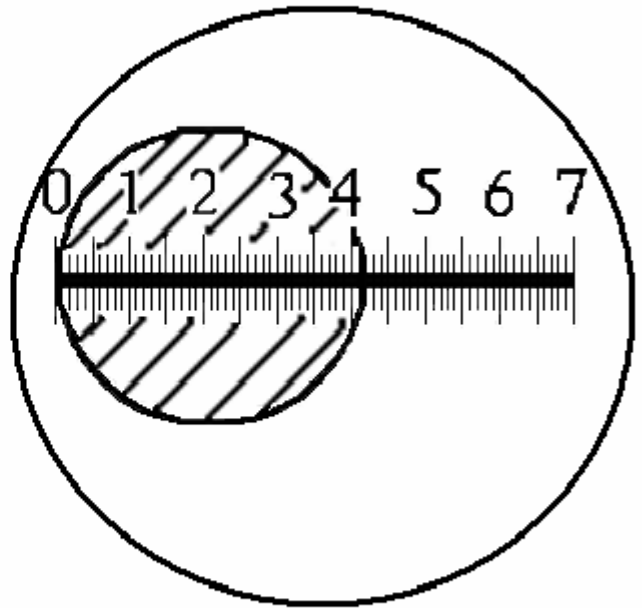
ანაბეჭდის დიამეტრის გასაზომად ლუპას ქვედა საყრდენით ათავსებენ ნაკეთობის (ნიმუშის) გამოსაცდელ ზედაპირზე და ისე გადაადგილებენ, რომ სკალის საწყისი დანაყოფი ანაბეჭდის გარშემოწერილობის ერთ-ერთ წერტილს შეუთავსდეს (სურ. 13.3), შემდეგ ითვლიან დანაყოფების რიცხვს, რომელზედაც დიამეტრი ვრცელდება. მაგალითად, 13.3 სურათზე ნაჩვენებია ანაბეჭდის დიამეტრი 4,2 მმ-ის ტოლია. ლუპას ან ნიმუშს შემობრუნებენ 90⁰-ით და გაზომვას იმეორებენ. სისალის განსაზღვრა შესაძლებელია როგორც (13.1) ფორმულის გამოყენებით, ისე შესაბამისი სტანდარტული ცხრილებიდან, სადაც სისალე მოცემულია დატვირთვის სიდიდესა და ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძეზე დამოკიდებულებით. მაგალითად, თუ გამოცდა ჩატარებულია D=10 მმ ბურთულათი, დატვირთვის სიდიდე შეადგენდა 3000 კგ-ს,



ა



ბ



სურ. 13.2. ანაბეჭდის დიამეტრის გასაზომი ლუპა

ა - საერთო ხედი; ბ - ლუპის სკალა

სურ. 13.3. ანაბეჭდის დიამეტრის ათვლა ლუპის გამოყენებით

სოლო დაყოვნების დრო - 10 წამს (გამოცდის პირობა HB 10(3000)10), 13.3 სურათის შესაბამისად სისაღე 207 HB-ს ტოლი იქნება. თუ გამოცდები ჩატარებულია $D=5$ მმ ან $D=2,5$ მმ ბურთულათი, იმავე ცხრილით სისაღის განსაზღვრისთვის საჭიროა ანაბეჭდის დიამეტრის მნიშვნელობა გამრავლდეს შესაბამისად 2-სა ან 4-ზე.

მასალის სისაღის სწორი დახასიათებისთვის გაზომვების სერია კიდევ ორჯერ მაინც უნდა განმეორდეს. განმეორებითი გაზომვების დროს მომდევნო ანაბეჭდის ცენტრი მეზობელი ანაბეჭდისგან და ნიმუშის კიდეებიდან დაცილებული უნდა იყოს გამოყენებული ბურთულას არანაკლებ ორი დიამეტრისა. კერძო მონაცემების საფუძველზე გამოითვლება სისაღის 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 საზღვრებში. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა შესწორების სიდიდის განსაზღვრა და მისი გათვალისწინება სერიული გაზომვების შედეგებში.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ ბრინელის წნეხის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი;
2. შეარჩიეთ ბურთულას დიამეტრი და დატვირთვის სიდიდე მოცემული მასალის სისხლის განსაზღვრისათვის;
3. განსაზღვრეთ მოცემული მასალის სისაღე და შეადარეთ იგი ცხრილის მონაცემებს; გაზომვის შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;
4. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. შეამოწმეთ ბრინელის წნეხის სიზუსტე და გამოთვალეთ სისტემატური ცდომილება სტანდარტული ფილების გამოყენებით;
2. განსაზღვრეთ მოცემული ნიმუშის სისაღის საშუალო მნიშვნელობა;
3. გამოთვალეთ შედეგის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები;
4. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

№ რიგზე	მასალა და ნიმუშის სისქე, მმ	გამოცდის პირობები (ბურთულას დიამეტრი და დატვირთვა)	ანაბეჭდის დიამეტრი			სისაღე HB			HB საშ.
			ანაბეჭდი			ანაბეჭდი			
			1	2	3	1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

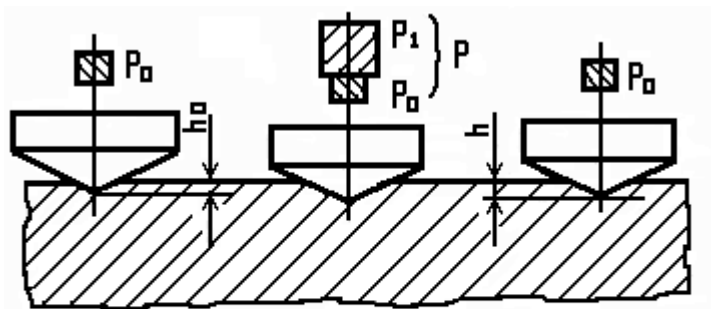
13.2. სისალის განსაზღვრა კონუსის ან ბურთულას ჩაწნების მეთოდით (როკველის ხმრხი)

როკველის ხერხით სისალის განსაზღვრა გამოსაცდელ ნიმუშში ალმასის კონუსის ან ფოლადის ნაწრთობი ბურთულას ჩაწნებით ხდება. ალმასის კონუსის წვეროსთან მდებარე კუთხე 120° -ია, ხოლო ბურთულას დიამეტრი – 1,588 მმ. განსახილველი მეთოდი ბრინელის მეთოდისგან პრინციპულად იმით განსხვავდება, რომ სისალე ბუნიკის ჩაწნების სიღრმის მიხედვით განისაზღვრება.

ალმასის კონუსი ან ფოლადის ბურთულა ნიმუშში თანამიმდევრულად P_0 წინასწარი და ძირითადი P_1 დატვირთვების ზემოქმედებით იწნება (სურ. 13.4). სრული დატვირთვა

$$P = P_0 + P_1$$

წინასწარი დატვირთვის სიდიდე ყველა შემთხვევაში 10 კგ-ის ტოლია.

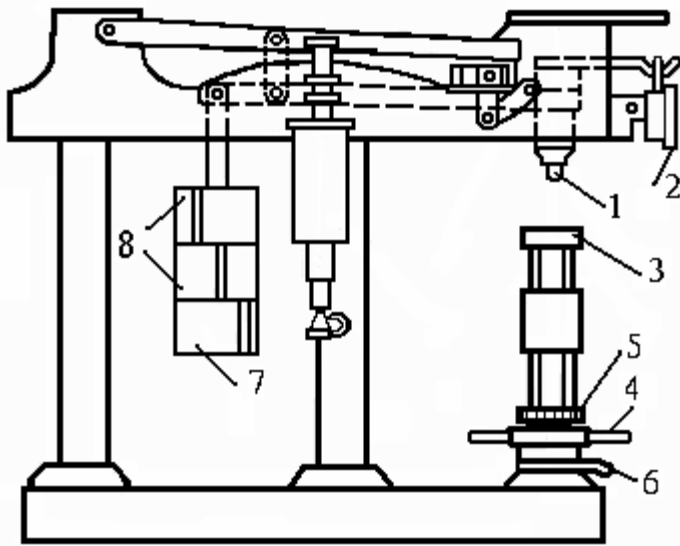


სურ. 13.4. ალმასის კონუსის ჩაწნებით სისალის განსაზღვრის სქემა

როკველის ხერხით სისალე განისაზღვრება TK-2 ტიპის ხელსაწყოზე, რომლის სქემა 13.5 სურათზეა მოცემული. გამოსაცდელი ბუნიკი (1) ხრანის საშუალებით შპინდელში მაგრდება. ინდიკატორის ციფერბლატზე (2) გათვალისწინებულია ორი სკალა C - შავი და B - წითელი (სურ. 13.6). ანათვალის აღება დიდი ისრის (1)

მიხედვით ხდება.

საგნის მაგიდაზე (3, სურ. 13.5) მოთავსებული ნიმუში სახელურის (4) საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას ზევით გადაადგილდება და გამოსაცდელ ბუნიკს მიებჯინება. სახელურის შემდგომი შემობრუნებით ბუნიკი იწყებს ნიმუშში შეჭრას და როდესაც პატარა ისარი (2, სურ. 13.6 ა) წითელ წერტილს (3) შეუთავსდება, წინასწარი დატვირთვის სიდიდე 10 –კგ იქნება. ასეთ მდგომარეობაში დიდი ისარი C სკალის ნულოვანი დანაყოფის მახლობლად გაჩერდება (დასაშვებია ± 5 დანაყოფით აცდენა, (სურ. 13.6, ბ). ინდიკატორის სკალის ნულოვანი დანაყოფის ისართან ზუსტად გასწორება (სურ. 13.6, გ) დოლის (5, სურ. 13.5) შემობრუნებით ხდება.



სურ. 13.5. TK-2 ხელსაწყო სქემა

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

კლავიშზე (სურ. 13.5, 6) ხელის დაჭერით იწყება დატვირთვის ნორმალური ციკლი, რომელიც 4 წამს გრძელდება. ციკლის დამთავრების შემდეგ ძირითადი დატვირთვა ავტომატურად იხსნება. ინდიკატორის სკალაზე დიდი ისრის საბოლოო მდგომარეობა უჩვენებს სისაღეს როკელის ერთეულებით (სურ. 13.6, დ). აღმასის კონუსით გამოცდისას ანათვალი შავი (C) სკალიდან აიღება, ხოლო ბურთულათი გამოცდისას – წითელი (B) სკალიდან.

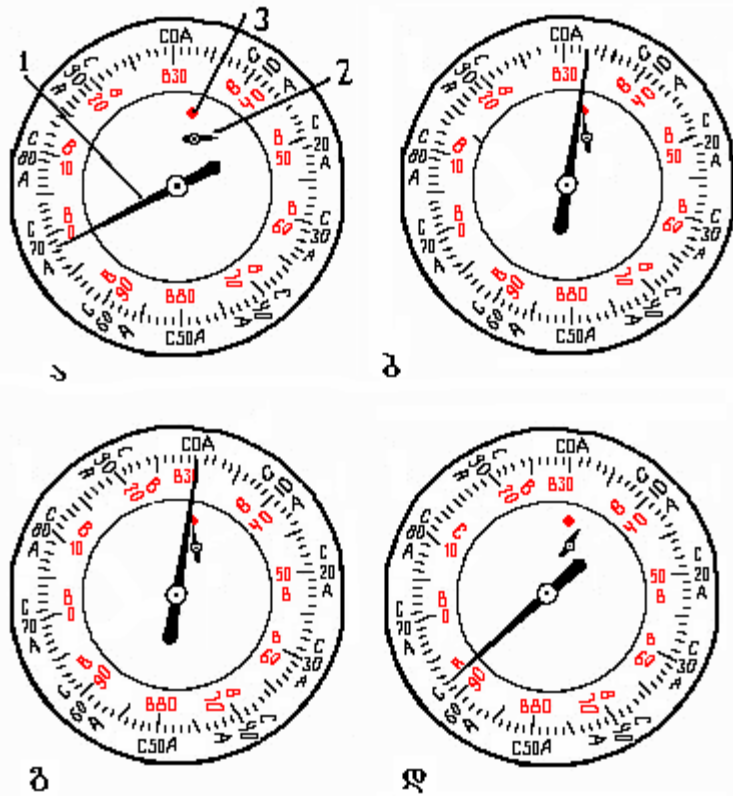
ა. დატვირთვისა და გამოსაც-

დელი ბუნიკის შერჩევა. დატვირთვა და ბუნიკი გამოსაცდელი ლითონის სისაღის მიხედვით შეირჩევა. მუდმივი ტვირთი (სურ. 13.5, 7) 50 კგ დატვირთვას უზრუნველყოფს. მოსახსნელი ტვირთების (8) რეგულირებით შესაძლებელია დატვირთვის სიდიდე 90 ან 140 კგ-მდე გაიზარდოს.

აღმასის კონუსით სისაღის განსაზღვრის დროს საერთო დატვირთვა 150 ან 60 კგ-ს უნდა შეადგენდეს. პირველ შემთხვევაში სისაღის მნიშვნელობა აიღება დიდი ისრით ნაჩვენები დანაყოფის მიხედვით ციფერბლატის C სკალიდან და HRC-თი აღინიშნება. მაგალითად, 13.6 დ სურათზე სისაღე შეესაბამება 62 HRC-ს.

ამ მეთოდით განისაზღვრება ნაწრობი და დაბალმოშვებული ფოლადების სისაღე. რეკომენდებულია, აგრეთვე, საშუალო სისაღის (230 HB და მეტი) მასალების გამოცდა, რადგან პროცესი სწრაფად ხორციელდება და ბრინელის მეთოდთან შედარებით ნაკეთობაზე უმნიშვნელო კვალი რჩება. შესაძლებელია თხელი ზედაპირული ფენების, მაგალითად, ცემენტირებული შრის სისაღის განსაზღვრა, ამასთან, ფენის სისქე 0,5 მმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

60 კგ დატვირთვით გამოიცდება მეტად სალი მასალები, მაგალითად, სალი შენადნობები (HRC>70), აგრეთვე 0,3-0,5 მმ სისქის შრეები. სისაღის მნიშვნელობა იმავე



სურ. 13.6. TK-2 ხელსაწყოს ინდიკატორის ციფერბლატზე ისრების თანამიმდევრული გადაადგილების სქემა

13.2 ცხრილში.

ცხრილი 13.2.

როკველის მეთოდით სისაღეზე გამოცდის პირობები

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

გაზომვის ცდომილების მინიმუმამდე შესამცირებლად კონუსის ცენტრი ნიმუშის წიბოდან მოცილებული უნდა იყოს არანაკლებ 1,5 მმ-ისა. ბურთულას გამოყენების

სკალიდან აიღება და HRA ასოებით აღინიშნება. HRC და HRA სიდიდეებს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$HRC=2HRA-104.$$

ფოლადის ბურთულათი გამოცდის დროს საერთო დატვირთვა 100კგ-ს შეადგენს. სისაღის მნიშვნელობა აიღება დიდი ისრით ნაჩვენები დანაყოფის მიხედვით ციფერბლატის B სკალიდან და HRB ასოებით აღინიშნება. ამ მეთოდით გამოიცდება რბილი ფოლადი და მომწვარი ფერადი ლითონები, რომელთა სისქე 0,8-2 მმ საზღვრებში იცვლება. როკველის ხერხით გამოცდის პირობები მოცემულია

შემთხვევაში ეს მანძილი 4 მმ-მდე იზრდება. იმავე პირობების დაცვაა საჭირო ორი მეზობელი ანაბეჭდის ცენტრებს შორის; ნიმუშის როგორც გამოსაცდელი, ისე საყრდენი ზედაპირები უნდა იყოს სუფთა, სწორი, გლუვი და ურთიერთპარალელური.

ხელსაწყოს შემოწმება სიზუსტეზე ხდება სტანდარტული ფილების გამოყენებით იმავე მეთოდიკით, როგორც ეს 13.1 პუნქტში იყო განხილული.

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

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ TK-2 (როკველის) ხელსაწყოს მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი;
2. შეირჩიეთ გამოსაცდელი ბუნიკი და დატვირთვის სიდიდე მოცემული მასალის სისალის განსაზღვრისათვის;
3. შეამოწმეთ ხელსაწყოს სიზუსტე;
4. განსაზღვრეთ გამოსაკვლევი ნიმუშის სისალის მნიშვნელობა. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;
5. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

№ რიგზე	მასალა	ხელსაწყოს სკალა	სისალე HR				სისალე ბრინელის მიხედვით
			გაზომვების სერია			საშუალო მნიშვნელობა	
			1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8

13.3. სისალის განსაზღვრა ალმასის პირამიდის ჩაწნებით (ვიკერსის ხერხი)

ვიკერსის ხერხით სისალის განსაზღვრა ხდება გამოსაკვლევ ნიმუშში ოთხწახნაგა ალმასის პირამიდის ჩაწნებით, რომლის წვეროსთან მდებარე კუთხე 136⁰-ია. ამ მეთოდით სისალის გამოცდისას სხვადასხვა დატვირთვით მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალებს შორის ფარდობა მუდმივი სიდიდეა, რაც დატვირთვის ფართო საზღვრებში შეცვლის შესაძლებლობას იძლევა.

13.7 სურათზე ნაჩვენებია ვიკერსის ხელსაწყო სქემა. მისი ძირითადი ნაწილია შემოსაბრუნებელი 1 თავურა, რომელშიც ჩამაგრებულია სამართული, ალმასის 2 პირამიდით. სამართული ლითონის გარსაცმითაა დაცული. ანაბეჭდის დიამეტრი თავურაზე დამაგრებული 3 მიკროსკოპით იზომება.

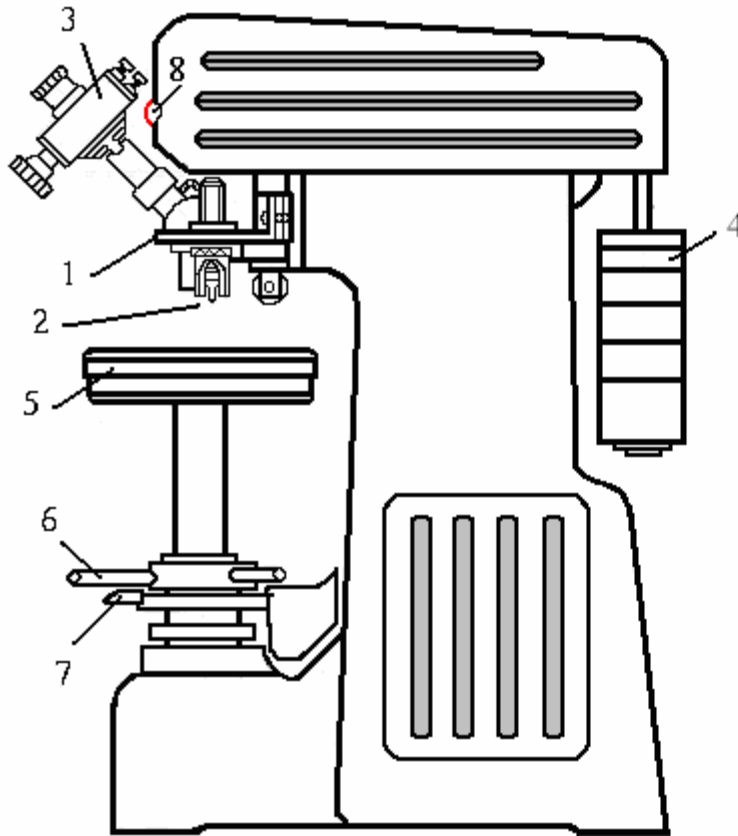
ა. დატვირთვის შერჩევა. დატვირთვის სიდიდე გამოსაკვლევი შრის სისქის მიხედვით შეირჩევა. ზოგადად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გამოცდის შედეგად მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე უკიდურეს შემთხვევაში 1,5-ჯერ ნაკლები უნდა იყოს შრის სისქეზე. ცხადია, რაც უფრო მცირეა გამოსაცდელი შრის სისქე, დატვირთვა მით უფრო ნაკლები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

თუ გამოსაცდელი შრის სისქე (დაცემენტებული, 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 გავლენას 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 120 კგ. შერჩეული ტვირთი (4, ნახ. 13.7) სათანადო დეროზე იკიდება.

ბ. 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 დაწევით, საკიდზე მოთავსებული ტვირთი მაღლა აიწევს და ხელსაწყო მუშა მდგომარეობაში ჩადგება. შემოსაბრუნებელი თავურა (1, სურ. 13.7) მარცხენა კიდურა მდგომარეობაში დგება. გა-



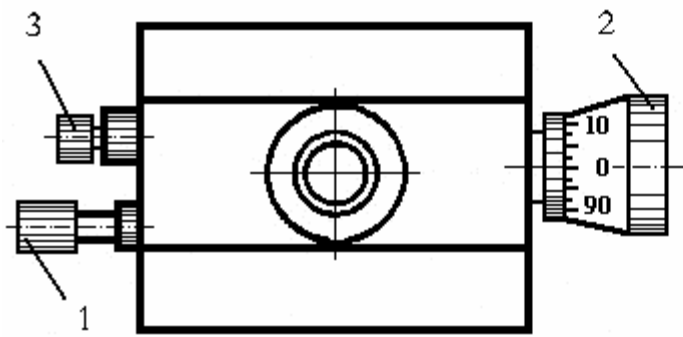
სურ. 13.7. ვიკერსის ხელსაწყოების სქემა

1. შემოსაბრუნებელი თავურა;
2. ალუმინის პირამიდა;
3. მიკროსკოპი; 4. ტვირთი;
5. საგნის მაგიდა;
6. მქნევარა;
7. გამშვები მექანიზმის კლავიში;
8. ნათურა

მოსაცდელი ნიმუში საგნის 5 მაგიდაზე თავსდება. 6 მქნევარას საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნებისას მაგიდა ზემოთ გადაადგილდება და ნიმუში გარსაცმს მიეხრება. გამშვები მექანიზმის 7 კლავიშზე ხელის დაჭერით იწყება დატვირთვის ციკლი, რომლის ხანგრძლივობის რეგისტრაციას 8 ნათურა ახდენს.

ციკლის დამთავრების შემდეგ მაგიდას ქვემოთ დასწევინ და თავურას საწინა-აღმდეგო მიმართულებით შემობრუნებით მიკროსკოპის ოპტიკურ დერძს ანაბეჭდის ცენტრს შეუთავსებენ. მაგიდის ვერტიკალურ სიბრტყეში გადაადგილებით ანაბეჭდი მოჰყავთ ფოკუსში და ზომავენ მისი დიაგონალის სიგრძეს ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით.

გ. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გაზომვა. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გასაზომად მიკროსკოპი აღჭურვილია მიკრომეტრული ოკულარით (სურ. 13.8). ოკულარს აქვს დანაყოფებიანი სკალა, ორი ძირითადი და ერთი დამატებითი (პუნქტირიანი) შტრიხებით (სურ. 13.9, ა). გაზომვის წინ ძირითადი შტრიხები გაწეული უნდა



სურ. 13.8. ვიკერსის ხელსაწყოს მიკროსკოპის მიკრომეტრული ოკულარი

1. მარცხენა ძირითადი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი;
2. მარჯვენა ძირითადი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი ლიმბით;
3. დამატებითი შტრიხის დასაყენებელი ხრახნი

იყოს ანაბეჭდის დიაგონალთან შედარებით უფრო დიდ მანძილზე (ბ). ოკულარის 1 ხრახნის შემობრუნებით ანაბეჭდის დიაგონალის მარცხენა წერტილს უთავსებენ მარცხენა ძირითად შტრიხს (გ), ხოლო მარჯვენა შტრიხს – 2 მიკრომეტრული ხრახნის შემობრუნებით დიაგონალის ბოლო წერტილს (დ). ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე იანგარიშება ოკულარის სკალასა და მიკრომეტრულ ხრახნზე დანაყოფების რიცხვით. 10^x გამადიდებლობის ობიექტივის გამოყენებისას სკალის ერთი დანაყოფი შეესაბამება 100 მიკრონს (0,1 მმ), ხოლო მარჯვენა მიკრომეტრული ხრახნის ლიმბაზე – ერთ მიკრონს (0,001 მმ). მაგალითად, თუ მარჯვენა ძირითადი შტრიხი მდებარეობს სკალის 2 და 3 დანაყოფებს შორის (სურ. 13.9, დ), ხოლო ლიმბაზე დანაყოფების რიცხვი 15-ს შეადგენს, ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე 0,215 მმ-ის ტოლი იქნება.

ვიკერსის ხერხით გაზომილი სისაღე HV ასოებით აღინიშნება (ინდექსად ხშირად დატვირთვის სიდიდის აღმნიშვნელი რიცხვი იწერება). სისაღე განისაზღვრება, როგორც ანაბეჭდის ერთეულზე დატვირთვა:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ კგ/მმ}^2$$

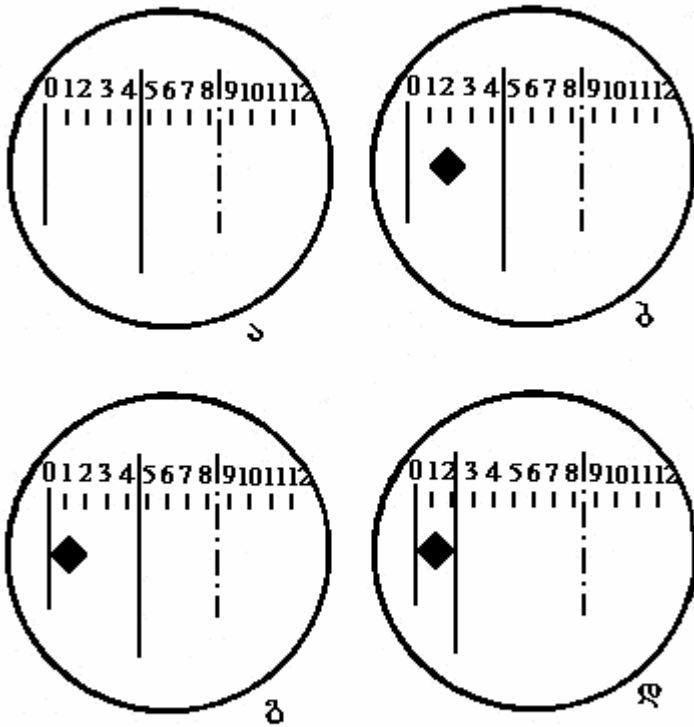
სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

α – პირამიდის მოპირდაპირე წახნაგებს შორის კუთხე, 136° ;

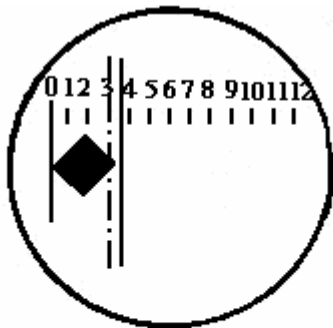
d – ანაბეჭდის ორი დიაგონალის სიგრძის საშუალო არითმეტიკული, მმ.

ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძით სისაღის განსაზღვრისათვის შეიძლება სპეციალური ცხრილების გამოყენებაც.

მიკრომეტრული ოკულარის დამატებითი შტრიხი სერიული გამოცდების დროს გამოიყენება. დაეუშვათ, დეტალების გარკვეული სერიისთვის დასაშვები სისაღე 300-დან 350 HV-მდე ინტერვალში მდებარეობს, რასაც 10 კგ დატვირთვის დროს 240-230



სურ. 13.9. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრის სქემა



სურ. 13.10. ანაბეჭდის დიამეტრის განსაზღვრა დამატებითი შტრიხის გამოყენებით

მიკრონი დიამეტრის ანაბეჭდი შესაბამეა. მარჯვენა ძირითად და დამატებით შტრიხებს დიაგონალის დასაშვები ზღვრების შესაბამისად აყენებენ (სურ. 13.10) და ამოწმებენ, თავსდება თუ არა მიღებული ანაბეჭდის დიაგონალი ამ ზღვრებში.

ამა თუ იმ ხერხით გაზომილი სისაღების ურთიერთშედარებისათვის სარგებლობენ სათანადო გადამყვანი ცხრილით, სადაც მოცემულია სხვადასხვა მეთოდით გაზომილი სისაღის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულება.

დ. ხელსაწყოს შემოწმება. სიზუსტეზე ხელსაწყოს შემოწმება საკონტროლო სტანდარტული ფილების საშუალებით ხდება. ხელსაწყოს ჩვენება ფილაზე მითითებული სისაღის ზღვრებში უნდა მოთავსდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ ხელსაღალი გაზომვების ჩატარებისას მნიშვნელობები გამეორდა, შედეგში საჭიროა სათანადო შესწორების შეტანა.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ ვიკერსის ხელსაწყოს მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი;
2. შეირჩიეთ დატვირთვა მოცემული მასალის სისაღის განსაზღვრისათვის;

3. შეამოწმეთ ხელსაწყოთა სიზუსტე;

4. განსაზღვრეთ გამოსაკვლევი მასალის სისაღის მნიშვნელობა და შეადარეთ იგი ცხრილის მონაცემებს. გაზომვის შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;

5. სათანადო ცხრილის გამოყენებით სისაღის მნიშვნელობა გამოსახეთ ბრინჯის ერთეულებით;

6. აღწერეთ მუშაობის თანამიმდევრობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

№ რიგზე	მასალის სისქე, მმ	დატვირთვა	ანაბრების დიაგნალის სიგრძე, მმ			საშუალო მნიშვნელობა	სისაღე ვიკერსის ერთეუ- ლებში
			გაზომვების სერია				
			1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8

ჯაბორჯათორიული სამუშაო 14

მიკროსისალის განსაზღვრა

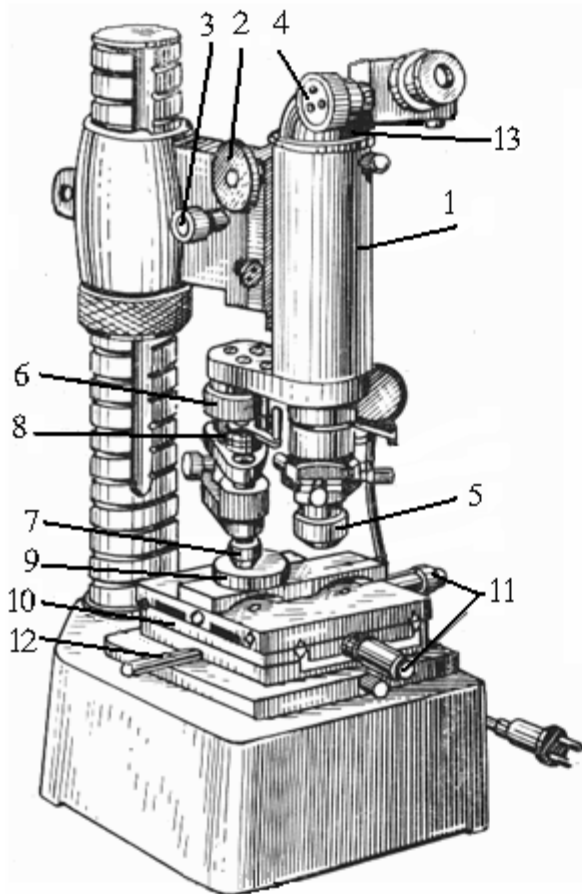
მიკროსისალის განსაზღვრა მასალის ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ერთ-ერთი ძირითადი მეთოდია.

მაკროსისალის განსაზღვრის ხერხების გაცნობისას აღნიშნული იყო, რომ დეფორმირებული შრის მოცულობა ბევრად აღემატებოდა ლითონის მარცვლების მოცულობას, ამიტომ აღნიშნული მეთოდებით ფაქტობრივად ლითონის „გასაშუალოებული“ სისალე განისაზღვრება, მაგრამ ლითონებისა და შენადნობების მრავალი თავისებურების გამომჟღავნებისათვის აუცილებელია არა მარტო „გასაშუალოებული“, არამედ სტრუქტურის ცალკეული ფაზებისა და სტრუქტურული მდგენელების სისალის ცოდნაც. ამ ამოცანის გადაწყვეტა მიკროსისალის გაზომვის მეთოდის გამოყენებით ხორციელდება.

მიკროსისალის განსაზღვრისას ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე იმდენად მცირე მიიღება, რომ შესაძლებელია ცალკეული მარცვლის სისალის განსაზღვრა. აღნიშნული მეთოდი აგრეთვე გამოიყენება მეტად წვრილი ნაკეთობის ხარისხის შესამოწმებლად (მაგალითად, მაჯის საათის დეტალები), თხელი ნახევარფაბრიკატების (ლენტი, კილიტა, მავთული), გაღვანური ფირების, ორთქლის ფაზიდან კონდენსირებული მასალების, მყიფე არალითონური მასალების (აბრაზივი, მინერალი, მინა) სისალის განსაზღვრისათვის.

მიკროსისალე გამოსაცდელ ნაკეთობაში აღმასის პირამიდის ჩაწნეხით განისაზღვრება. 14.1 სურათზე მოცემულია მიკროსისალეზე გამოსაცდელი PMT-3 ტიპის ხელსაწყო საერთო ხედი. ხელსაწყოს შტატივზე დამაგრებულია 1 მიკროსკოპი, რომლის გადაადგილება ვერტიკალურ სიბრტყეში 2 მაკრომეტრული და 3 მიკრომეტრული ხრახნების საშუალებით ხდება. ტუბუსის ზედა ნაწილში ჩასმულია 4 ოკულარული მიკრომეტრი, ხოლო ქვედა ნაწილში – 5 ობიექტივი. ტუბუსზე დამაგრებულია დასატვირთი 6 მექანიზმი აღმასის 7 პირამიდით, რომლის მოპირდაპირე წახნაგებს შორის კუთხე 136⁰-სს შეადგენს.

ანაბეჭდის მისაღებად ხელსაწყო აღჭურვილია მრგვალი ტვირთების კომპლექტით, რომელთა წონა 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200 და 500 გრამია. ტვირთი 8 დასატვირთი მექანიზმის ჭოკზე თავსდება.



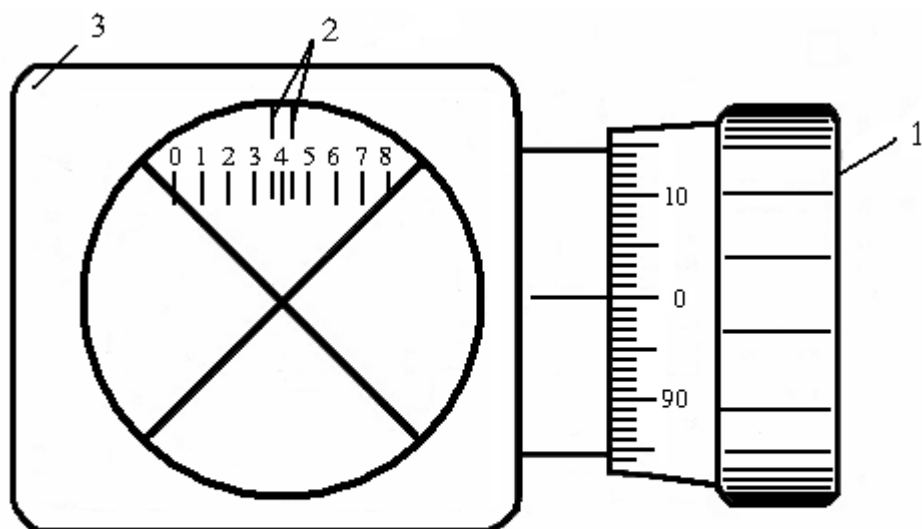
სურ. 14.1. ИИМТ-3 ტიპის ხელსაწყოთა საერთო ხედი

1. მიკროსკოპი; 2. მარკომეტრული 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

გამოსაცდელი 9 ნიმუში საგნის 10 მაგიდაზე სათანადო მიმჭერი თათებით ან პლასტილინით მაგრდება. 11 ხრახნების საშუალებით შესაძლებელია მაგიდის ზედა ნაწილის გადაადგილება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ურთიერთმართობი მიმართულებით, ხოლო 123 სახელურით – 180⁰-ით მაგიდის შემობრუნება ვერტიკალური ღერძის გარშემო. გამოსაკვლევი ნიმუშის ფოკუსირება 2 მაკრო და 3 მიკროხრახნების საშუალებით ხდება. ნიმუში ნათდება ილუმინატორში ჩაყენებული ნათურის საშუალებით.

თუ კვლევის მიზანს შენადნობის ცალკეული სტრუქტურული მდგენელების სისალის განსაზღვრა შეადგენს, საჭიროა მიკროხეხის წინასწარ მომზადება და რეაქტივით დამუშავება მეტალოგრაფიაში ცნობილი მეთოდებით.

ა. ანაბეჭდის მიღება. გაზომვების დაწყებამდე ოკულარ-მიკრომეტრის ლიმბს (1, სურ. 14.2) ნულოვან დანაყოფზე ასწორებენ. ამ მდებარეობაში ოკულარ-მიკრომეტრის 2 ორმაგი შტრიხი 3 უძრავი სკალის მე-4 დანაყოფს შეუთავსდება, ხოლო დიაგონალების გადაკვეთის წერტილი მხედველობის არის ცენტრში აღმოჩნდება.

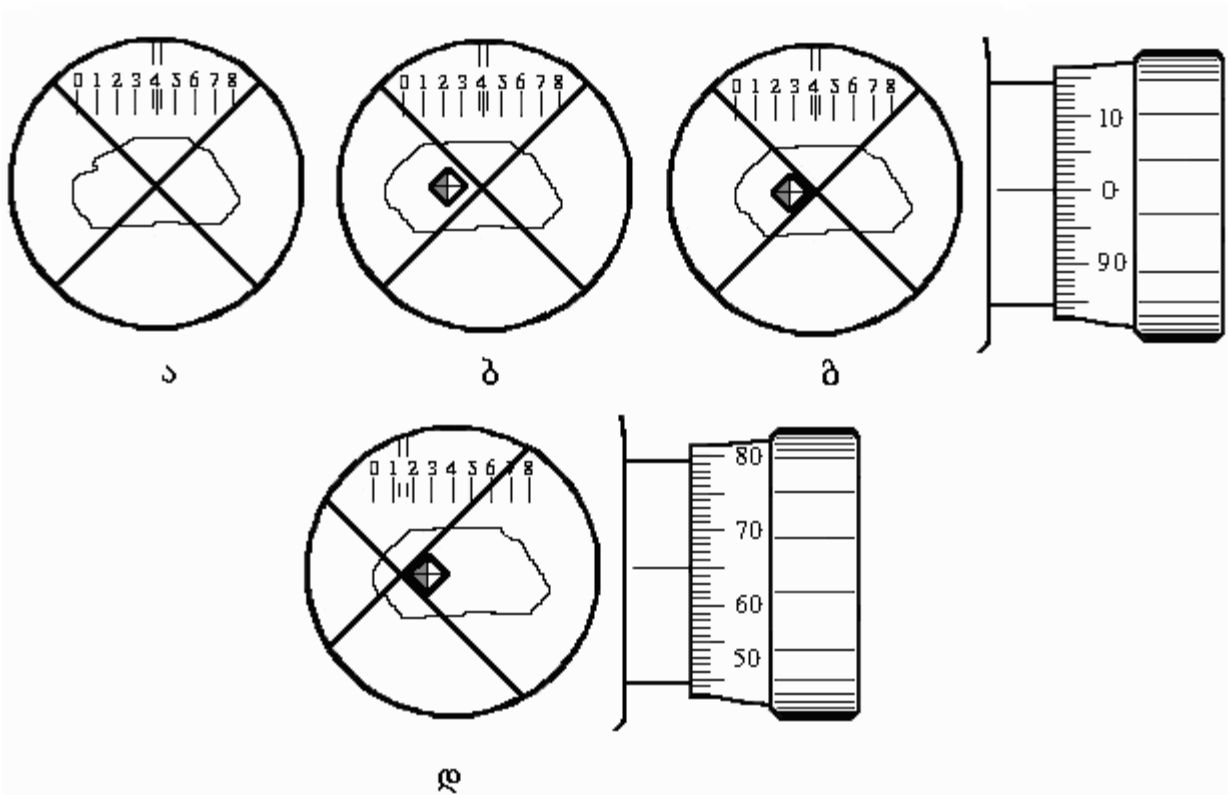


სურ. 14.2. ხრახნული ოკულარ-მიკრომეტრი
 1. ლიმბი; 2. ორმაგი შტრიხი; 3. უძრავი სკალა

საგნის მაგიდაზე დამაგრებულ ნიშუმს ფოკუსში აყენებენ და კვლევისათვის საინტერესო მიკროუბანს (მაგალითად, ლითონის მარცვალს) მაგიდის გადაადგილებით ოკულარ-მიკრომეტრის დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს უთავსებენ (სურ. 14.3, 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, მდოვრე 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. 14.3, ბ).

ბ. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის გაზომვა და სისხლის განსაზღვრა. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრა უმეტეს შემთხვევაში შემდეგი თანამიმდევრობით ხდება: 11 ხრახნების (სურ. 14.1) შემობრუნებით საგნის მაგიდას ისეთნაირად გადაადგილებენ, რომ ანაბეჭდის მარჯვენა წვერო დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს შეუთავსდეს (სურ. 14.3, გ). ამის შემდეგ შემობრუნებენ ოკულარ-მიკრომეტრის ლიმბის დოლს და დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს ანაბეჭდის მარცხენა წვე-



სურ. 14.3. ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის განსაზღვრის სქემა

ტილს შეუთავსებენ. ბუნებრივია, გადაადგილდება ორმაგი შტრიხიც და იგი უძრავი სკალის რაღაც დანაყოფებს შორის აღმოჩნდება (დ). ანათვალი ოკულარ-მიკრომეტრის უძრავი სკალიდან აიღება და მას ლიბბის დანაყოფების რიცხვი ემატება. უძრავი სკალის დანაყოფის ფასი 100 მიკრონს შეადგენს, ხოლო ლიბბის დოლისა – 1 მიკრონს. ამრიგად, 14.3 დ სურათზე მოცემული ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფებით 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 \bar{z} საშუალო მნიშვნელობას.

ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფებში გამოსახული ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძის მიკრონობით გამოსახვა შემდეგი ფორმულის საშუალებითაა შესაძლებელი:

$$d = \bar{z} q,$$

სადაც $q=0,31$.

ზემოთ განხილულ მაგალითში დიაგონალის სიგრძე

$$d=165 \times 0,31=51,15 \text{ მიკრონს.}$$

სისაღე H განისაზღვრება ფორმულით:

$$H=1,854 \frac{P}{d^2} \text{ კგ/მმ}^2 \text{ (ან } H=1,854 \frac{P}{d^2} \times 9,8 \text{ მგპა),}$$

სადაც P არის დატვირთვა, კგ;

\bar{d} – ანაბეჭდის ორი დიაგონალის სიგრძის საშუალო არითმეტიკული, მმ.

თუ P დატვირთვა გამოისახება გრამებით, დიაგონალის სიგრძე d – მიკრონებით, მაშინ სისაღის გამოსათვლელი ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

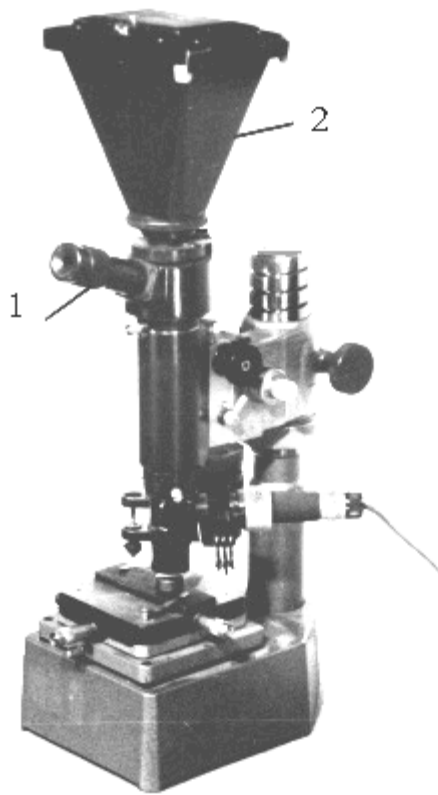
$$H=1854 \frac{P}{d^2} \text{ კგ/მმ}^2 \text{ (ან } H=1854 \frac{P}{d^2} \times 9,8 \text{ მგპა).}$$

სისაღის განსაზღვრისათვის პრაქტიკაში სარგებლობენ სტანდარტული ცხრილებითაც, რომლებიც შედგენილია 5; 10; 20; 50; 100; 200 და 500 გრამი დატვირთვებისათვის დიაგონალის სიგრძეზე დამოკიდებულებით.

გ. გაზომვის ცდომილება. მიკროსისაღის განსაზღვრისას 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 სწორად შერჩევით მიიღწევა.

ჯამური ცდომილების ერთ-ერთი შემდგენია ოკულარ-მიკრომეტრის ხრახნების უქმი სვლა. მისი გამორიცხვის მიზნით გაზომვების ყველა სერია რეკომენდებულია ჩატარდეს დიაგონალების ერთი და იმავე მიმართულებით გადაადგილებისას, როგორც წესი, სკალის დიდი დანაყოფებიდან მცირე დანაყოფებისაკენ (მარჯვნიდან მარცხნივ).

დ. ფოტოგადაღება. PMT-3 ტიპის სისაღის საზომ ხელსაწყოზე შესაძლებელია გამოსაკვლევი ობიექტისა და ანაბეჭდის ფოტოგადაღება. ფოტოგადაღებისთვის ოკულარის ჩამოსაცმელი კორპუსის (13, სურ.14.1) ნაცვლად მიკროსკოპის ტუბუსში ფო-

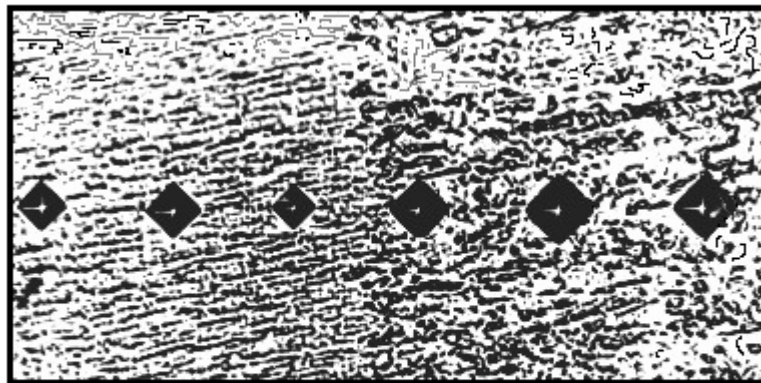


ტომოწყობილობა მაგრდება (ნახ.14.4). ფოტომოწყობილობა აღჭურვილია ფოტოკამერით (2) და ვიზუალური ტუბუსით, რომელშიც ჩადგმულია ოკულარი (1). ფოტოგადაღებისათვის გამოიყენება 7^{\times} , 10^{\times} ან 15^{\times} გამადიდებლობის სტანდარტული ოკულარები. ანაბეჭდისა და მიკროსტრუქტურის ფოტოგადაღება ჩვეულებრივი მეთოდით ხორციელდება ფოტოფირფიტის ან ციფრული ფოტოაპარატის გამოყენებით.

14.5 სურათზე გამოსახულია ალმასის პირამიდის ანაბეჭდები ნიკელის კონდენსირებულ ფირზე.

სურ. 14.4. ИИМТ-3 ტიპის ფოტომოწყობილობიანი მიკროსისალის მზომი ხელსაწყო

1. ოკულარი; 2. ფოტოკამერა



სურ. 14.5. მიკროსისალის ანაბეჭდები ნიკელის კონდენსირებულ ფირზე

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ IIIT-3 ტიპის სისალის საზომი ხელსაწყო მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი;

2. შეარჩიეთ ოპტიმალური დატვირთვის სიდიდე, განსაზღვრეთ ტექნიკურად სუფთა რკინის მარცვლების საშუალო სისაღე და შეადარეთ ცხრილის მონაცემებს; გაზომვის შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;

3. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა და დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

დაკვირვებათა ცხრილი

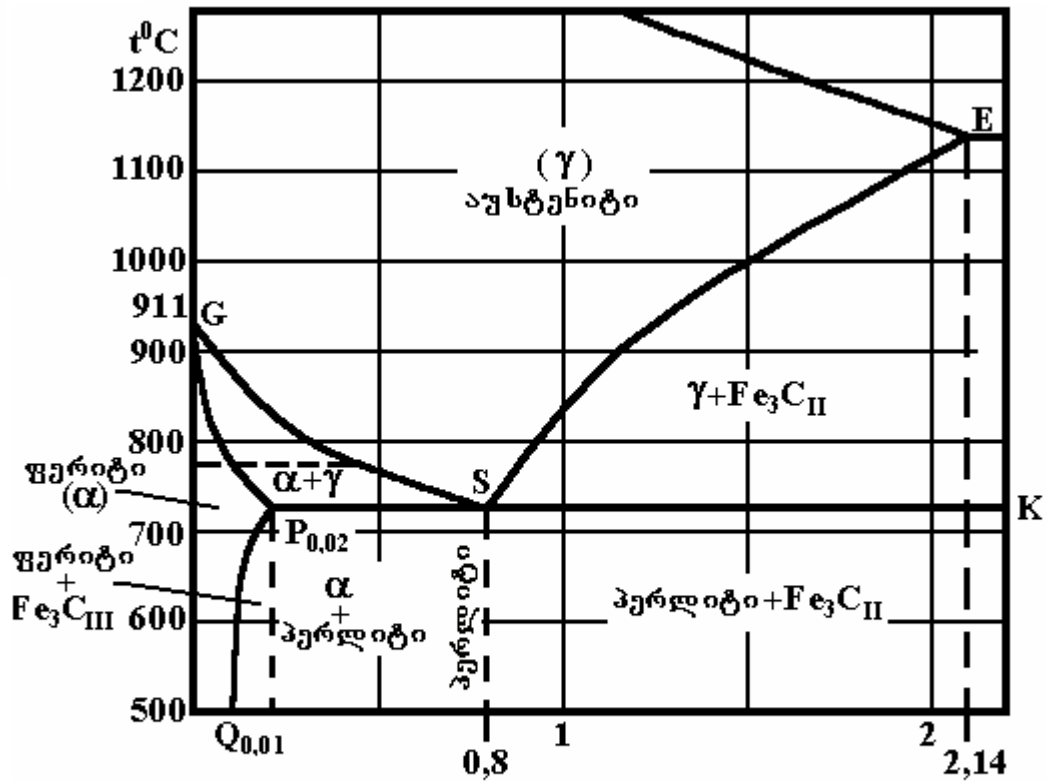
№ რიგზე	გამოცდის ობიექტი	დატვირთვა	გაზომვის შედეგები ოკულარ-მიკრომეტრის დანაყოფებში			დიაგონალის სიგრძე მიკრონებით	მიკრო-სისალის მნიშვნელობა
			პირველი ანათვალი	მეორე ანათვალი	საშუალო მნიშვნელობა		
1	2	3	4	5	6	7	8

V. რკინა-ნახშირბადის შენადნობების სტრუქტურული კვლევა

ლაბორატორიული სამუშაო 15

ნახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურის კვლევა წონასწორულ მდგომარეობაში

ნახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურას წონასწორულ მდგომარეობაში, როგორც 15.1 სურათიდან ჩანს, ნახშირბადის შემცველობა განსაზღვრავს. შენადნობს, რომელიც ნახშირბადს 0,02%-მდე შეიცავს, ტექნიკურად სუფთა რკინა ეწოდება; 0,02-დან 0,8%-მდე შემცველობისას – ქვევებქტიდური ფოლადი, ხოლო 0,8-დან 2,14%-მდე – ზეევებქტიდური ფოლადი. ევებქტიდურ ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა 0,8%-ია.

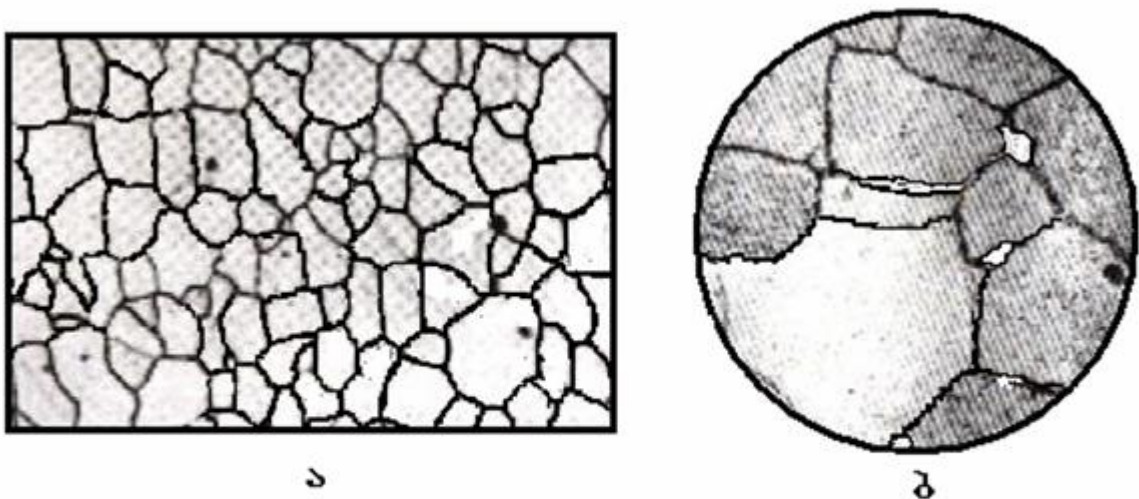


სურ. 15.1. რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის ქვედა მარცხენა (ფოლადის) უბანი

15.1. ტექნიკურად სუფთა რკინის მიკროსტრუქტურა. α რკინაში ნახშირბადის ხსნადობის ზღვარი ცვალებადია (იხ. PQ ხაზი Fe – C დიაგრამაზე). 727°C ტემპერატურაზე α რკინაში იხსნება 0,02% ნახშირბადი. ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად ხსნადობის ზღვარი მცირდება და ოთახის ტემპერატურაზე 0,006%-ს შეადგენს (ამრგვალებენ 0,01-მდე). ამიტომ 0,006%-მდე ნახშირბადის შემცველი რკინის შენადნობების მიკროსტრუქტურა შედგება ფერიტისაგან, რომელიც ნახშირბადის მყარი ხსნარია რკინის α მოდიფიკაციაში. ფერიტი ხასიათდება მცირე სიმტკიცითა და დიდი პლასტიკურობით. მისი თვისებები სუფთა რკინის თვისებებს უახლოვდება. კერძოდ, სისაღე ტოლია 80-90 HB, $\sigma_{0.2}$ – 300-350 მგპა, δ - 40-50%, KCU – 2-3 მგჯ/მ².

ნიმუშის სიმჟავით დამუშავებისას ფერიტის მარცვლის საზღვრები ადვილად ამოიჭმება და სტრუქტურაში ვლებულობთ მრავალწახნაგა მარცვლებს პოლიედრების სახით (სურ. 15.2, ა).

შენადნობში ნახშირბადის უმნიშვნელო რაოდენობით გაზრდა (0,02%-მდე) იწვევს სტრუქტურაში ახალი ფაზის – მესამეული ცემენტიტის (Fe₃C) გაჩენას, რომელიც გაცივებისას უპირატესად ფერიტის მარცვლის საზღვრებზე გამოიყოფა ნახშირბადის ხსნადობის ზღვრის შემცირების გამო (სურ. 15.2, ბ). ცემენტიტში ნახშირბადის შემცველობა 6,67%-ია. იგი ყველაზე სალი და მყიფე ფაზაა. მისი სისაღე HB>800. ამიტომ ცემენტიტის ჩანართები ამცირებს ფოლადის პლასტიკურობასა და სიბლანტეს.



სურ. 15.2. ტექნიკური რკინის მიკროსტრუქტურა. x400.
 ა – C≤0,01%, ფერიტი; ბ – C=0,01-0,02%, ფერიტი და
 (თეთრი უბნები მარცვლის საზღვრებში)

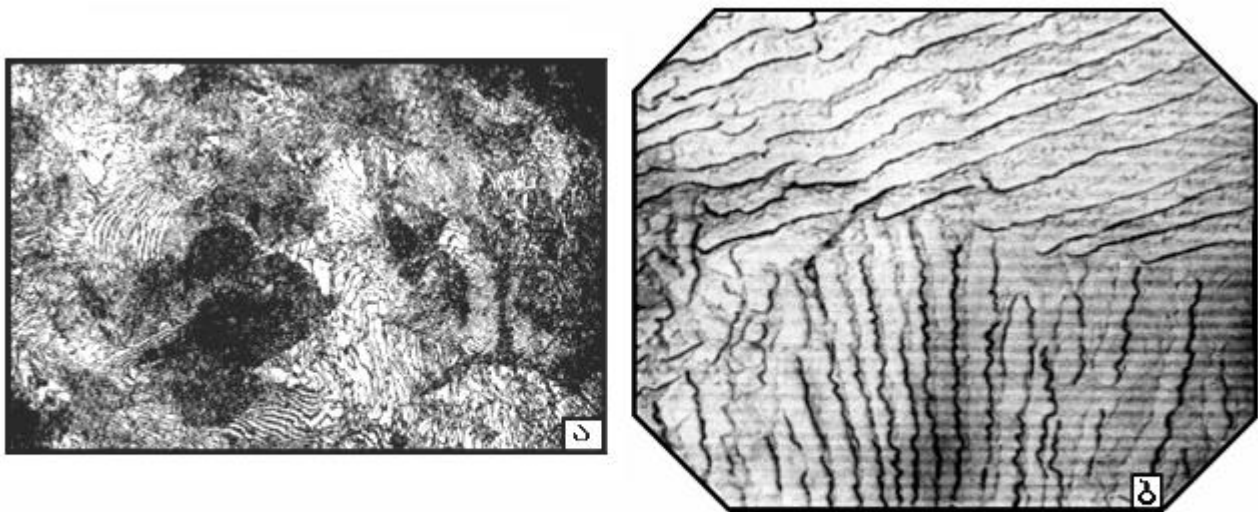
15.2 ქვევებტოიდური და ევტექტოიდური ფოლადების მიკროსტრუქტურა.

ფოლადში ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდა 0,02%-ზე მეტად იწვევს სტრუქტურაში პერლიტის წარმოქმნას. პერლიტი არის ევტექტოიდი, ორფაზა სტრუქტურა, ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევი, რომელიც წარმოიქმნება აუსტენიტის სრული დაშლის შედეგად. ნახშირბადის რაოდენობა პერლიტში 0,8%-ია, სისაღე - 180-200 HB, σ_B - 700-800 მგპა, δ - 10%.

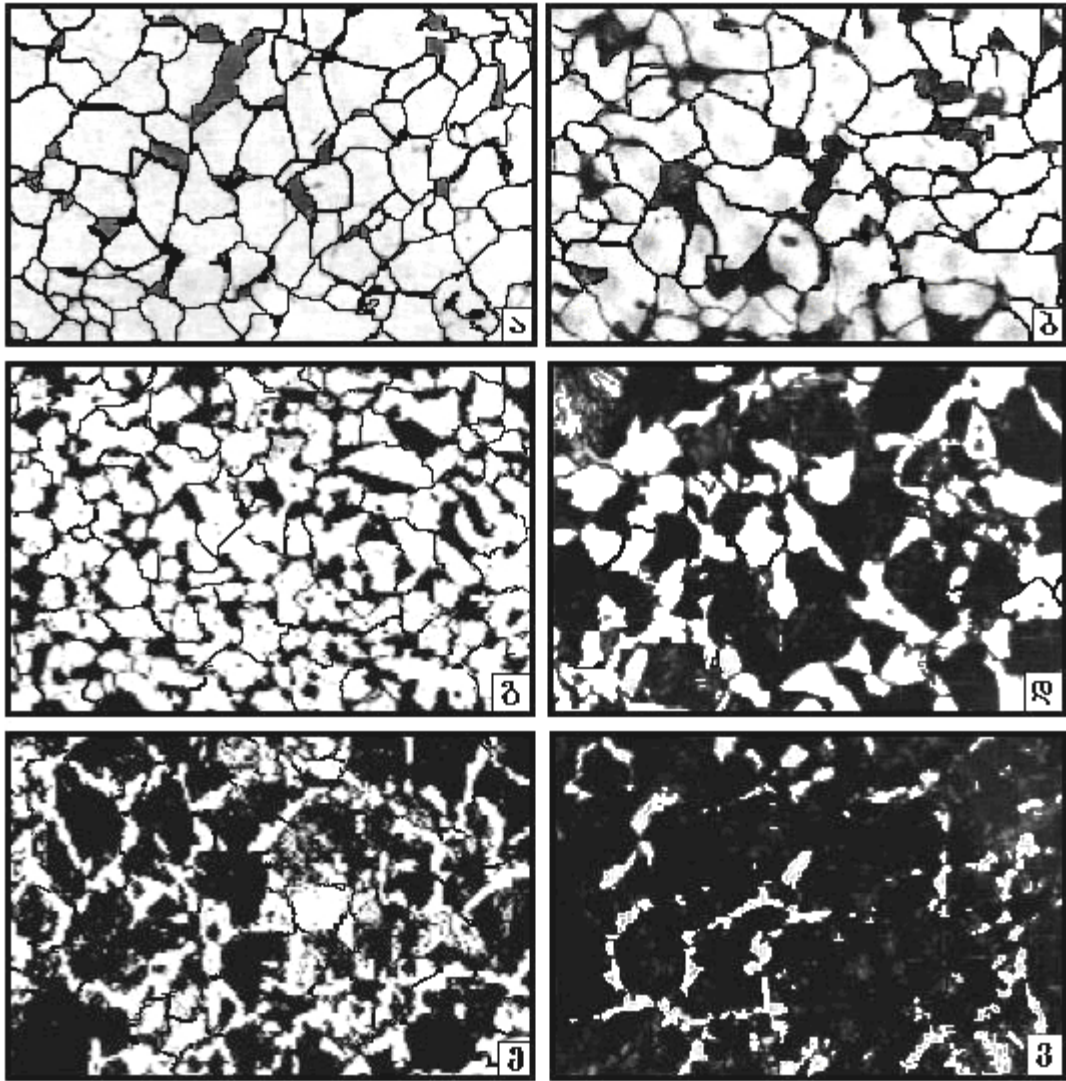
პერლიტი, როგორც ორფაზა სტრუქტურა, რეაქტივის ზემოქმედებით ფერიტთან შედარებით უფრო ინტენსიურად ამოიჭმება. ამიტომ მიკროსხეხის მიკროსკოპში დაკვირვებისას პერლიტი მოჩანს მუქი ფერის არაერთგვაროვანი ჩანართების სახით (სურ. 15.3).

ფერიტი ცემენტიტთან შედარებით უფრო ინტენსიურად იხსნება მუავაში. ინტენსიურად იხსნება აგრეთვე ფერიტისა და ცემენტიტის საზღვრები. ამიტომ მიკროსხეხზე დაცემული სინათლის სხივი ცემენტიტის ამოშვერილი ადგილებიდან ჩრდილს იძლევა ფერიტის თეთრ ფონზე. ამრიგად, 15.3. სურათზე გამოსახულ მიკროსტრუქტურაზე საერთო თეთრი ფონი ფერიტია, ხოლო მუქი ადგილები - ცემენტიტის ამოშვერილი უბნების ჩრდილი ფერიტის ფონზე. საკმაოდ მაღალი დისპერსიულობის გამო პერლიტის აგებულება კარგად გასარჩევია 500-ზე მეტი გადიდების შემთხვევაში (სურ. 15.3, ბ).

ქვევებტოიდური ფოლადის სტრუქტურაში პერლიტთან ერთად გვხვდება ფე-



სურ. 15.3. ევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა.
ა - x200; ბ - x1500



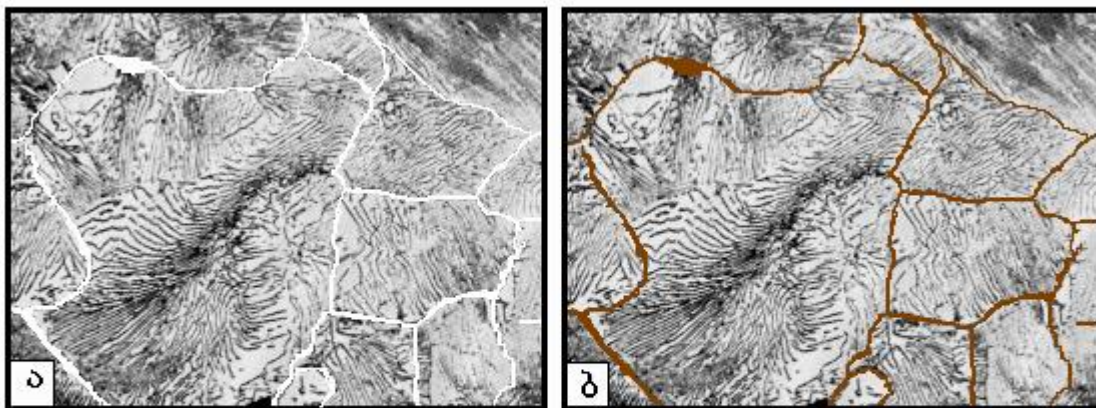
სურ. 15.4. ფოლადის მიკროსტრუქტურა. x200.
 ნახშირბადის შემცველობა, %: ა - 0.15; ბ - 0.25; გ - 0.30; დ - 0.42; ე - 0.5; ვ - 0.6

რიტის ჭარბი კრისტალები. ასეთი ფოლადის რეაქტივით დამუშავების შემდეგ ფერიტის მარცვლები მიკროსკოპში თეთრი ფერის პოლიედრების სახით მოჩანს, ხოლო პერლიტი მუქი ან ზოლოვანი აგებულებისაა (სურ. 15.4 ა, ბ).

ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად თითქმის პროპორციულად იზრდება პერლიტის რაოდენობაც (სურ. 15.4, ა-ვ). ბუნებრივია, შესაბამისად მცირდება ჭარბი ფერიტის მარცვლები და როდესაც ნახშირბადის შემცველობა ფოლადში 0,8%-ს მიაღწევს, ფერიტის მარცვლები ქრება და სტრუქტურა მხოლოდ პერლიტისაგან იქნება შედგენილი.

15.3. ზევევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა. ზევევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა შედგება პერლიტისა და მეორეული ცემენტიტისაგან. მეორეული ცემენტიტი აუსტენიტიდან გამოიყოფა Ar_{cm} (SE ხაზი, სურ. 15.1) – Ar_1 (PSK ხაზი) ტემპერატურულ ინტერვალში აუსტენიტში ნახშირბადის ხსნადობის ზღვრის შემცირების გამო.

ნელი გაცივების პირობებში მეორეული ცემენტიტი აუსტენიტის მარცვლის საზღვრებზე ბადის სახით გამოიყოფა. Ar_1 ტემპერატურაზე კი აუსტენიტი განიცდის პერლტურ გარდაქმნას. ამრიგად, სრული გაცივების შემდეგ ზევევტექტოიდური ფოლადის სტრუქტურაში მიიღება ცემენტიტის ბადე, რომლის შიგნით პერლიტის ფირფიტა იქნება მოთავსებული. მიკროსხვის აზოტმჟავათი დამუშავებისას ცემენტიტის ბადე თეთრად გამოჩნდება (სურ. 15.5, ა).



სურ. 15.5. ზევევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა
 ა – x200; ბ – x400. ამოჭმულია ნატრიუმის პიკრატით

თუ ფოლადი ნახშირბადს 0,8%-ზე რამდენადმე ნაკლები რაოდენობით შეიცავს, ჭარბი ფერიტიც შეიძლება პერლიტის საზღვარზე ბადის სახით გამოიყოს. ბუნებრივია, იმავე რეაქტივით დამუშავებისას ეს ბადეც თეთრად გამოჩნდება. იმის დასაზუსტებლად, თუ რომელ შენადნობს მიეკუთვნება ასეთი სტრუქტურის ფოლადი – ქვევეტექტოიდურს თუ ზევევტექტოიდურს ანუ თეთრი ბადე ფერიტისაა თუ ცემენტიტის, მიკროსხვის ხელახლა აპრიალებენ და საკონტროლოდ წამლავენ ნატრიუმის პიკრატით. იგი ცემენტიტს მუქ ყავისფრად შეღებავს. თუ ბადე საკონტროლო მოწამვლის შემდეგ ფერს არ შეიცვლის, იგი ფერიტის ყოფილა და ფოლადი ქვევეტექტოიდურს მიეკუთვნება. 15.5 ბ სურათზე მაგალითის სახით მოცემულია ნატრიუმის

პიკრატით დამუშავებული ზევეტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა.

15.4. ნახშირბადის შემცველობის განსაზღვრა ფოლადში მეტალოგრაფიული მეთოდით. მიკროსტრუქტურული ანალიზის მონაცემების საფუძველზე გამოსაკვლევ ფოლადში შესაძლებელია განისაზღვროს ნახშირბადის მიახლოებითი შემცველობა. ამისათვის საჭიროა ქვევეტექტოიდურ ფოლადში გამოითვალოს ფერიტისა და პერლიტის მიერ დაკავებული ფართობები (პროცენტობით). რადგან ფერიტში გახსნილი ნახშირბადის რაოდენობა უმნიშვნელოა, შეიძლება დაეუშვათ, რომ ნახშირბადი, რომელსაც ფოლადი შეიცავს, მთლიანად პერლიტშია დაკავებული. აღნიშნულის გათვალისწინებით ნახშირბადის შემცველობა ფოლადში შემდეგი თანაფარდობით გამოითვლება:

$$C = \frac{F}{100} \times 0,8\%,$$

სადაც F არის პერლიტის მიერ დაკავებული ფართობი მიკროსტრუქტურის ხილულ არეში.

მაგალითად, თუ ფართობის 30% ფერიტს უჭირავს, 70% კი – პერლიტს, გამოსაკვლევ ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა დაახლოებით იქნება:

$$C = \frac{70 \times 0,8}{100} = 0,56\%.$$

ზევეტექტოიდურ ფოლადში ნახშირბადი დაკავებულია როგორც პერლიტში, ისე ცემენტიტში. ამიტომ ნახშირბადის შემცველობა შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$C = \frac{0,8F + 6,67F_1}{100}, \%$$

სადაც F და F₁, შესაბამისად, პერლიტისა და ცემენტიტის მიერ დაკავებული ფართობებია მიკროსტრუქტურის ხილულ არეში.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ ტექნიკურად სუფთა რკინის, ქვევეტექტოიდური, ვეტექტოიდური და ზევეტექტოიდური ფოლადების მიკროსტრუქტურები.

2. სქემატურად გამოხაზეთ გამოკვლეული მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ

ახსენით.

3. აღწერეთ სტრუქტურული ცვლილებები ფოლადში ნახშირბადის შემცველობაზე დამოკიდებულებით.

4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. მასშტაბით გამოსახეთ რკინა – ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა;

2 გამოიკვლიეთ ტექნიკურად სუფთა რკინისა და ნახშირბადიანი ფოლადების მიკროსტრუქტურები;

3. მიკროსტრუქტურული ანალიზის მონაცემებით მიახლოებით დაადგინეთ გამოსაკვლევი ფოლადებში ნახშირბადის პროცენტული შემცველობა;

4. რკინა-ნახშირბადის დიაგრამაზე უჩვენეთ გამოკვლეული შენადნობების ტემპერატურული ღერძები, ააგეთ მათი გაცივების მრუდები და ახსენით ფაზათა წარმოქმნის პროცესი წონასწორულ პირობებში;

5. განსაზღვრეთ გამოკვლეული ფოლადების სისაღე, ააგეთ დიაგრამა კოორდინატებით სისაღე – ნახშირბადის შემცველობა და მიეცით სათანადო ახსნა;

6. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

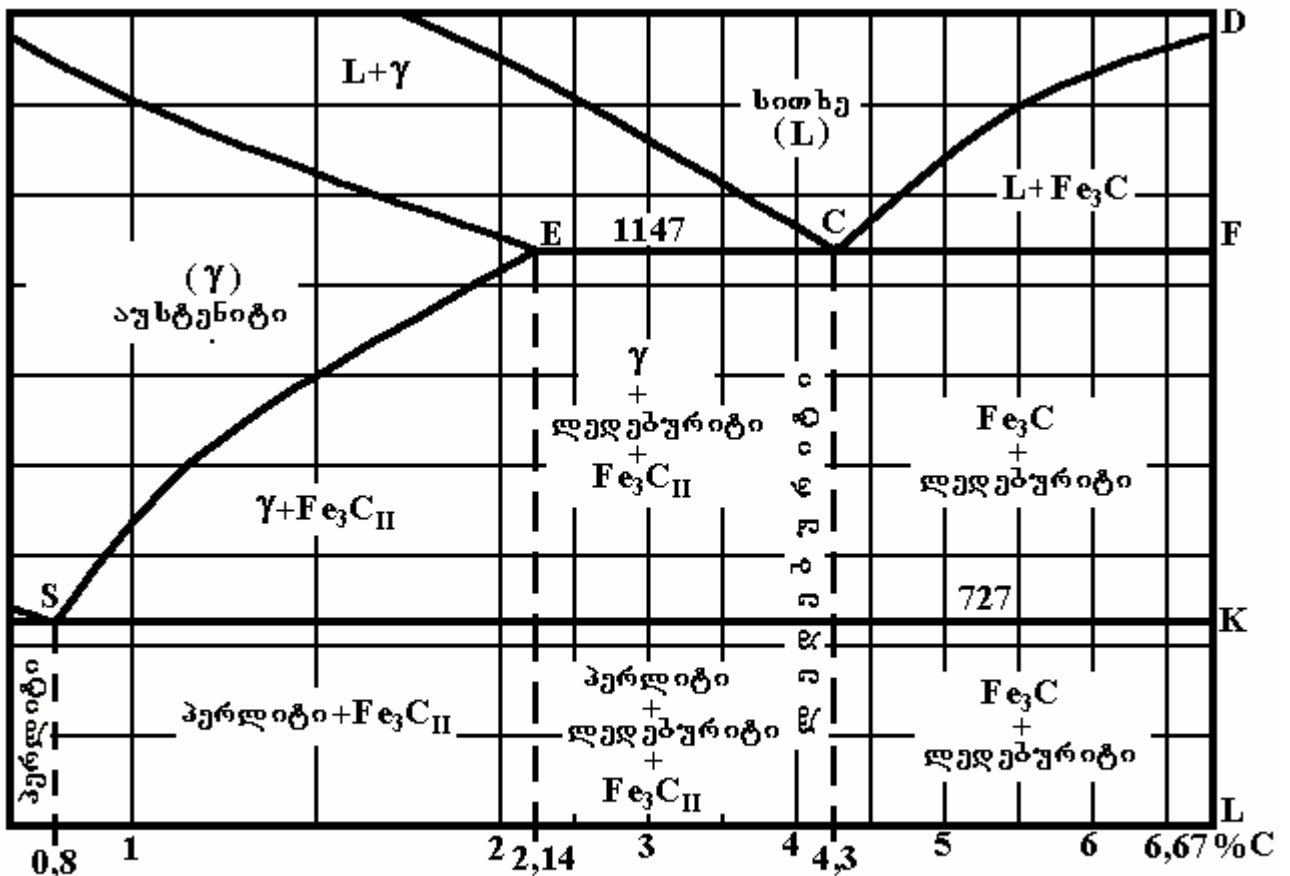
ლაბორატორიული სამუშაო 16

თეთრი თუჯის მიკროსტრუქტურის კვლევა

თეთრ თუჯში ნახშირბადი, რომელსაც შენადნობი შეიცავს, მთლიანად ქიმიურ ნაერთში – ცემენტიტშია დაკავებული. სტრუქტურის მიხედვით თეთრი თუჯი სამ ჯგუფად იყოფა: ქვევრექტიკური, რომელიც ნახშირბადს 2,14-დან 4,3%-მდე შეიცავს, ვრექტიკური, ნახშირბადის შემცველობით 4,3% და ზევრექტიკური, რომელშიც ნახშირბადის რაოდენობა 4,3%-დან 6,67%-ის საზღვრებში იცვლება.

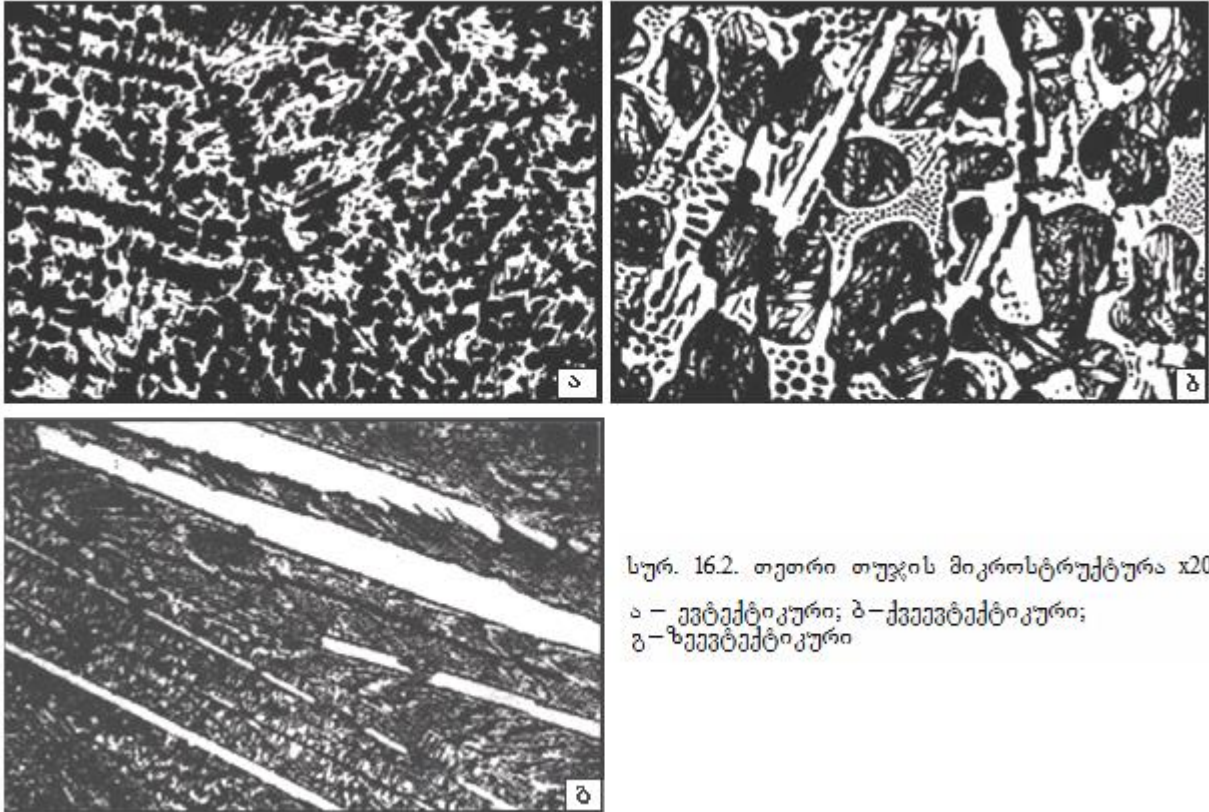
თეთრი თუჯისთვის დამახასიათებელია ლედებურიტული სტრუქტურა. ლედებურიტი არის ცემენტიტის ვრექტიკა, რომელიც 1147°C ტემპერატურაზე წარმოიქმნება 4,3% ნახშირბადის შემცველობის თხევადი ხსნარიდან. ამ ტემპერატურაზე ვრექტიკა შედგენილია ცემენტიტისა და აუსტენიტისაგან. ნახშირბადის რაოდენობა აუსტენიტში 2,14%-ია (სურ. 16.1, E წერტილი).

თუჯის შემდგომი გაცივებისას ნახშირბადის ხსნადლობის ზღერის შემცირების



სურ. 16.1. რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის ნაწილი

გამო აუსტენიტიდან გამოიყოფას იწყებს მეორეული ცემენტიტი (SE ხაზი), რომელიც ვეტექტიკის ცემენტიტთან ირევა. 727°C ტემპერატურაზე აუსტენიტში ნახშირბადის რაოდენობა 0,8%-მდე მცირდება და მუდმივ ტემპერატურაზე იგი პერლიტურ გარდაქმნას



სურ. 16.2. თეთრი თუჯის მიკროსტრუქტურა x200
 ა – ვეტექტიკური; ბ – ქვევეტექტიკური;
 გ – ზევეტექტიკური

განიცდის.

ამრიგად, ოთახის ტემპერატურამდე გაცივების შემდეგ ლედებურიტი პერლიტი-სა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევი (სურ. 16.2, ა)

ქვევეტექტიკური თუჯის სტრუქტურაში ლედებურიტთან ერთად გვხვდება პერლიტი და მეორეული ცემენტიტი (სურ. 16.2 ბ), ხოლო ზევეტექტიკურში – პირველადი ცემენტიტი (სურ. 16.2 გ).

ქვევეტექტიკურ თუჯში მეორეული ცემენტიტი გამოკრისტალდება აუსტენიტიდან 1147-727°C ტემპერატურულ ინტერვალში, შემდეგ კი, როგორც ავლნიშნეთ, ხდება აუსტენიტის პერლიტური გარდაქმნა.

მცირე ნახშირბადის შემცველი თეთრი თუჯიდან ($C \approx 2,14\%$) გამოყოფილი მეორეული ცემენტიტის კრისტალების გარჩევა მიკროსკოპში იოლია, რადგან ასეთი შედ-

გენილობის თუჯში ლედებურიტი საკმაოდ მცირე რაოდენობით წარმოიქმნება. ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად იზრდება ლედებურიტის რაოდენობა და მეორეული ცემენტიტი ირევა ლედებურიტში შემავალ ცემენტიტში. ამიტომ შეიძლება დაგუშვათ, რომ ქვევებტიკური თუჯის მიკროსტრუქტურა პერლიტისა და ლედებურიტისგან შედგება.

დ ა გ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ და სქემატურად გამოსახეთ თეთრი თუჯის მიკროსტრუქტურები;
2. აღწერეთ სტრუქტურული ცვლილებები ნახშირბადის შემცველობაზე დამოკიდებულებით.
3. შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ თეთრი თუჯის მიკროსტრუქტურები;
2. რკინა-ნახშირბადის დიაგრამაზე უჩვენეთ გამოკვლეული შენადნობები, ააგეთ მათი გაცივების მრუდები და ახსენით მათში მიმდინარე ფაზათა წარმოქმნის პროცესები ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებისას;
3. აღწერეთ სტრუქტურული ცვლილებები თეთრ თუჯებში ნახშირბადის შემცველობაზე დამოკიდებულებით Fe-C დიაგრამასთან კავშირში.
4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ჯაბოკატორიული სამუშაო 17

რუხი, ჰედალი და მაღალი სიმტკიცის თუჯების მიკროსტრუქტურის კვლევა

17.1 რუხი თუჯის მიკროსტრუქტურა. რუხ თუჯში ნახშირბადი ნაწილობრივ ან მთლიანად გამოყოფილია თავისუფალი ანუ გრაფიტის სახით. რუხი თუჯის სტრუქტურა განიხილება, როგორც ლითონური არე მასში განლაგებული გრაფიტის ჩანართებით. მიკროსხეხის მომზადებისას გრაფიტის ჩანართები არ პრიალდება, ამიტომ მათი შესწავლა მუავათი ამოუჭმელ ნიმუშზე ხდება. მიკროსკოპში დაკვირვებისას გაპრიალეულ, კაშკაშა არეში გრაფიტი მუქი ფერის ჩანართების სახით მოჩანს.

რუხი თუჯის თვისებები დამოკიდებულია როგორც ლითონური არის სტრუქტურაზე, ისე გრაფიტის ჩანართების ფორმასა და რაოდენობაზე. გრაფიტის ფორმები რუხ თუჯში ხუთ ტიპად არის დაყოფილი (სურ. 17.1):

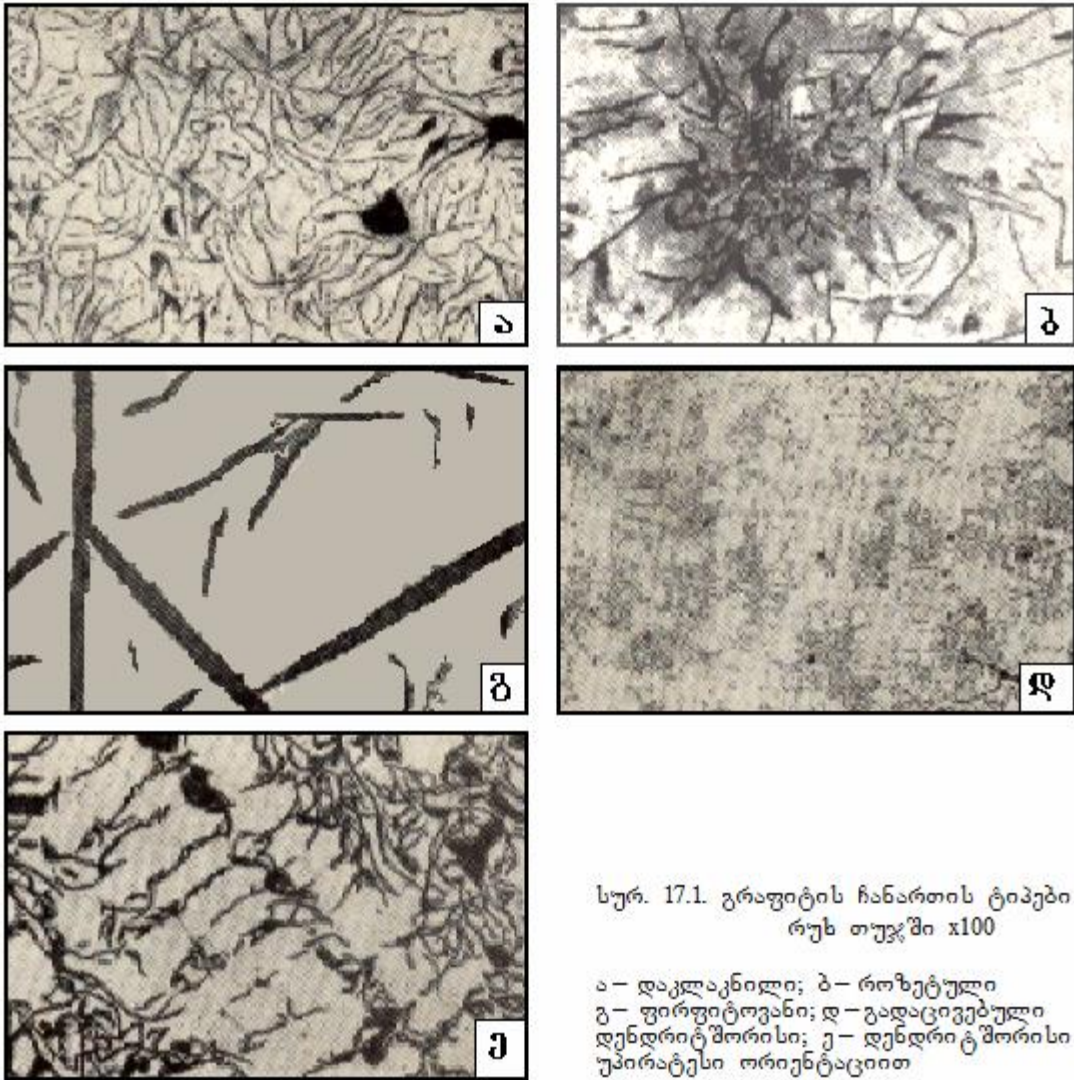
ა – თანაბრად განაწილებული ფირფიტები უპირატესი ორიენტაციის გარეშე (დაკლაკნილი). გრაფიტის ასეთი ფორმა ყველაზე უფრო ხშირად გვხვდება. იგი წარმოიქმნება მცირე რაოდენობით სილიციუმისა და ფოსფორის შემცველობის რუხ თუჯებში უმნიშვნელო ევტექტიკური გადაცივების პირობებში.

ბ – როზეტული, რომლის მიღებას განაპირობებს გადაცივების დიდი სიჩქარე. გრაფიტის ყოველ როზეტს აქვს საკუთარი კრისტალიზაციის ცენტრი, საიდანაც გრაფიტის ფირფიტა რადიალური მიმართულებით იზრდება. როზეტული ტიპის გრაფიტის ჩანართები ძირითადად გვხვდება თხელკედლიან სხმულებში.

გ – სხვადასხვა ზომის ფირფიტები. ამ ტიპის ჩანართები დამახასიათებელია ზეევტექტიკური თუჯებისათვის. უხეში ფირფიტები ყალიბდება უშუალოდ სითხიდან კრისტალიზაციის პროცესში, ხოლო შედარებით მცირე ზომის, ევტექტიკური გრაფიტი, მომდევნო ეტაპზე, უხეში გრაფიტისაგან თავისუფალ მოცულობებში.

დ – გადაცივებული დენდრიტმორისი გრაფიტი. ამ ტიპის წარმონაქმნს განაპირობებს გრაფიტის შენელებული სიჩქარით ჩასახვა მნიშვნელოვანი გადაცივების პირობებში. გრაფიტის ჩანართების რაოდენობა დიდია, ხოლო ფირფიტების ზომა მეტად მცირე.

ე – დენდრიტმორისი გრაფიტი უპირატესი ორიენტაციით. გრაფიტის ეს ტიპი გვხვდება ნახშირბადზე ზეევტექტიკურ თუჯებში და განაპირობებულია უმნიშვნელო გადაცივებით. გრაფიტის ასეთი ფორმა ყველაზე არასასურველია.



სურ. 17.1. გრაფიტის ჩანართის ტიპები რუხ თუჯში x100

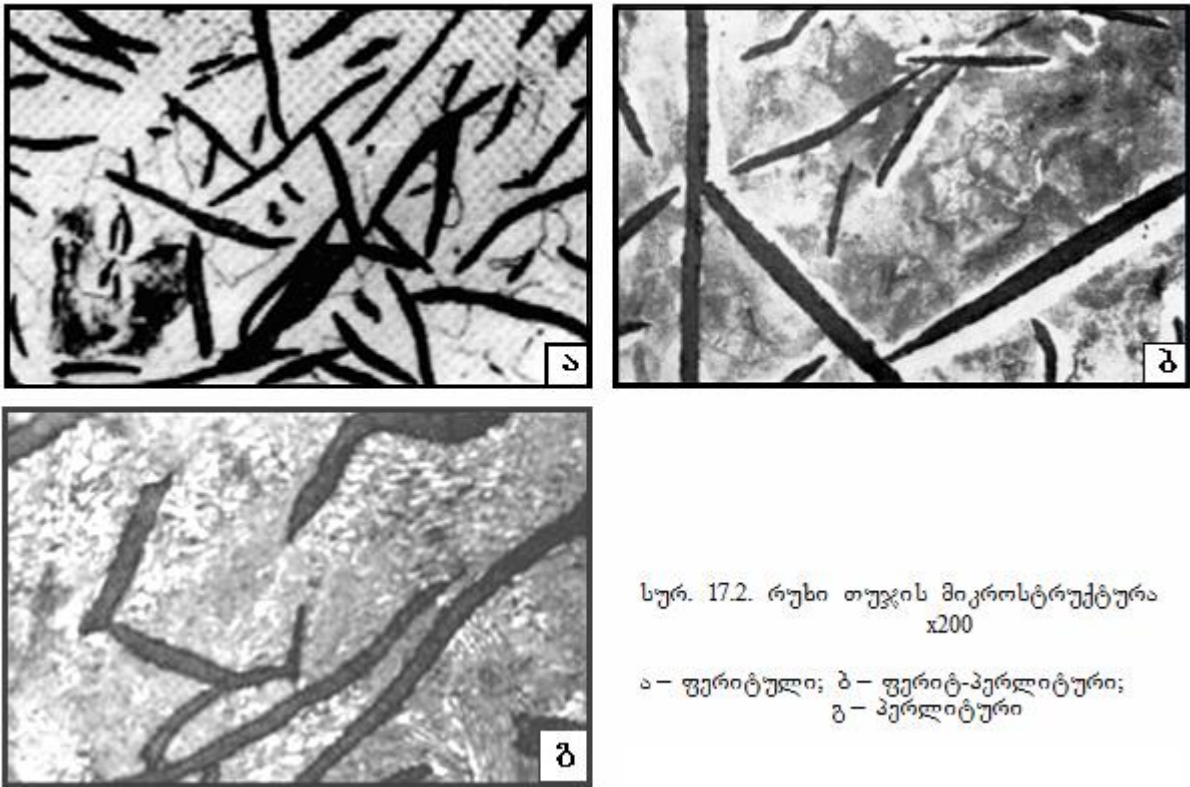
ა - დაკლაკნილი; ბ - როზეტული
 გ - ფირფიტოვანი; დ - გადაცივებული
 დენდრიტ შორისი; ე - დენდრიტ შორისი
 უპირატესი ორიენტაციით

ჩვეულებრივი ხარისხის რუხ თუჯში გრაფიტი ფირფიტოვანი ჩანართების სახით გვხვდება. ჩანართის ეს ფორმა ყველაზე ნაკლებად ხელსაყრელია, რადგან იგი იწვევს თუჯის მაქსიმალურ სიმციფეს. დაკლაკნილი და წვრილი ჩანართები თუჯის უფრო მაღალი ხარისხის მაჩვენებელია.

დენდრიტ შორისი განლაგებით გრაფიტის წერტილოვანი ჩანართები თუჯს შედარებით დაბალ თვისებებს ანიჭებს, ამიტომ მას გაურბიან.

რუხი თუჯის ლითონური არეც სხვადასხვანაირი შეიძლება იყოს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ თუჯში შემავალი ნახშირბადი შეიძლება მთლიანად გრაფიტის სახით გამოიყოს ან მისი ნაწილი დარჩეს ბმულ მდგომარეობაში ცემენტის სახით. ამის მიხედვით რუხი თუჯის ლითონური არის ფაზური შედგენილობა სხვადასხვაა და თვით სტრუქტურაც, ბუნებრივია, განსხვავებული იქნება.

თუ რუს თუჯში შემავალი ნახშირბადი მთლიანად გრაფიტის სახით არის გამოყოფილი, მაშინ ლითონური არე სუფთა ფერიტია. ასეთ თუჯს ფერიტული ეწოდება და მისი სტრუქტურაა ფერიტი+გრაფიტი (სურ. 17.2, ა).



თუ რუს თუჯში შემავალი ნახშირბადი გრაფიტის სახით გამოიყო იმდენი, რომ ქიმიურ ნაერთში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობა იცვლება 0.02–0.8%-ის ზღვრებში, ლითონური არის სტრუქტურა ფერიტ-პერლიტური იქნება. ფერიტისა და პერლიტის რაოდენობა დამოკიდებულია ცემენტიტში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობაზე. რაც უფრო ნაკლებია ნახშირბადის ეს რაოდენობა, მით უფრო მეტი იქნება სტრუქტურაში ფერიტი და პირიქით. ასეთ თუჯს ფერიტ-პერლიტური ეწოდება და მისი სტრუქტურაა ფერიტი+პერლიტი+გრაფიტი (ბ).

თუ რუს თუჯში შემავალი ნახშირბადი თავისუფალი, ანუ გრაფიტის სახით გამოიყო ისეთი რაოდენობით, რომ ქიმიურ ნაერთში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობა 0,8%-ს შეადგენს, მაშინ ლითონური არის სტრუქტურა პერლიტური იქნება. ასეთ თუჯს პერლიტურს უწოდებენ და მისი სტრუქტურაა პერლიტი+გრაფიტი (გ).

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ რუს თუჯში გრაფიტის ჩანართის ძირითადი ფორმები;
2. გამოიკვლიეთ თუჯის ლითონური არის სტრუქტურები;
3. სქემატურად გამოსახეთ გამოკვლეული ნიმუშების მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით;
4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

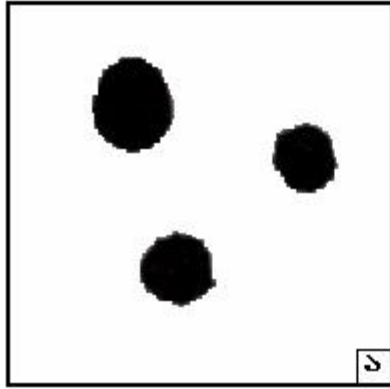
II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ გრაფიტის ჩანართის ფორმები და ახსენით მათი ჩამოყალიბების პირობები;
2. ხარისხობრივად შეაფასეთ გამოკვლეული თუჯების თვისებები გრაფიტის ფორმასა და ლითონური ფუძის სტრუქტურაზე დამოკიდებულებით;
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

17.2. მაღალი სიმტკიცის თუჯის მიკროსტრუქტურა. მაღალი სიმტკიცის თუჯი მოდიფიცირებული თუჯის მაღალი საფეხურია. სხვადასხვა მოდიფიკატორის შესწავლის პროცესში აღმოჩნდა, რომ გრაფიტის ფორმის შეცვლის თვალსაზრისით განსაკუთრებულად მოქმედებს მაგნიუმი.

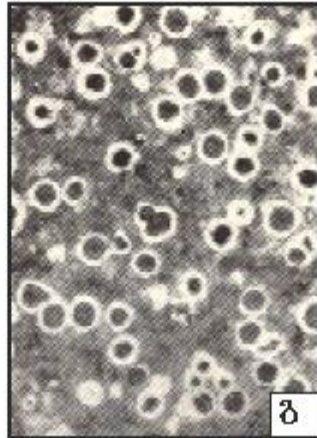
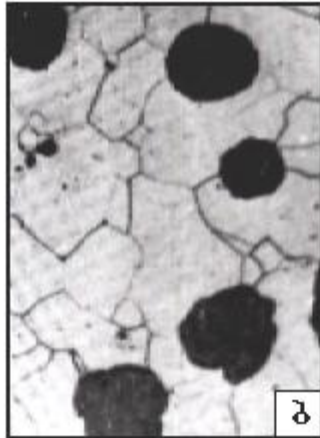
დადგენილია, რომ გარკვეული ქიმიური შედგენილობის თხევად რუს თუჯში მაგნიუმის შეტანა (პროცენტის მეასედი რაოდენობით) უზრუნველყოფს მომრგვალებული ფორმის გრაფიტის ჩანართების წარმოქმნას (სურ. 17.3, ა), ნაცვლად ჩვეულებრივი ფირფიტოვანი გრაფიტისა. ეს საგრძნობლად ზრდის თუჯის სიმტკიცეს და მკვეთრად ამცირებს მის სიმყიფეს ისე, რომ თუჯში ფარდობითი წაგრძელება კი განისაზღვრება. თუჯს მომრგვალებული ფორმის გრაფიტის ჩანართებით მაღალი სიმტკიცის თუჯი ეწოდება.

მაღალი სიმტკიცის თუჯის ლითონური არე, ისევე, როგორც ჩვეულებრივ რუს თუჯში, შეიძლება იყოს ფერიტული, პერლიტური ან ფერიტულ-პერლიტური. ამრიგად, ლითონური არის ფაზურ შედგენილობაზე დამოკიდებულებით მაღალი სიმტკიცის



სურ. 17.3. მაღალი სიმტკიცის თუჯების მიკროსტრუქტურა.

ა - გრაფიტის ჩანართის ფორმა;
 ბ - ფერიტულ-პერლიტური;
 გ - ფერიტ-პერლიტური;
 დ - პერლიტური
 x200



თუჯში გვაქვს შემდეგი სტრუქტურები: ფერიტი+მომრგვალებული გრაფიტი, რომელსაც ფერიტული მაღალი სიმტკიცის თუჯი ეწოდება (ბ); ფერიტი+პერლიტი+მომრგვალებული გრაფიტი – ფერიტულ-პერლიტური მაღალი სიმტკიცის თუჯი (გ) და პერლიტი+მომრგვალებული გრაფიტი – პერლიტური მაღალი სიმტკიცის თუჯი (დ).

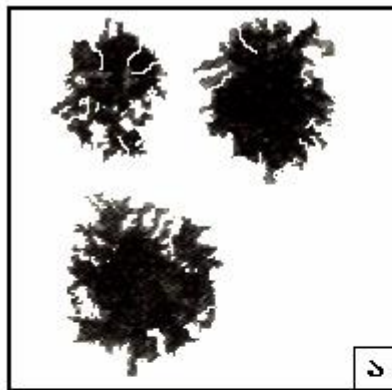
დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ და სქემატურად გამოხაზეთ გრაფიტის ჩანართის ფორმა მაღალი სიმტკიცის თუჯში;
2. გამოიკვლიეთ თუჯის ლითონური არის სტრუქტურები;
3. სქემატურად ჩაიხაზეთ გამოკვლეული ნიმუშების მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით.

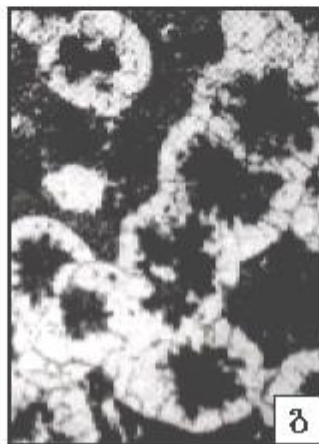
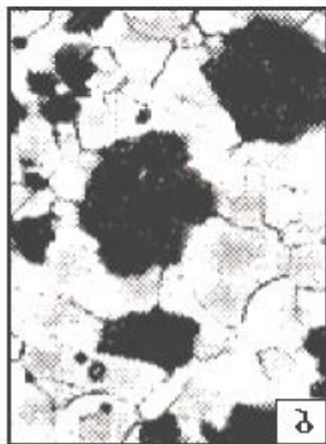
17.3. ჭედადი თუჯის მიკროსტრუქტურა. რუხი თუჯისთვის დამახასიათებელ ფირფიტოვან გრაფიტთან შედარებით დიდი უპირატესობით ხასიათდება გრაფიტის ბუდობრივი ჩანართები. იგი მიიღება თეთრი თუჯის სპეციალური თერმული დამუშავებით – მოწვით, რის შედეგადაც თუჯში შემავალი ცემენტი იშლება გრაფიტის გამოყოფით. მყარ თუჯში გრაფიტიზაციის პროცესის შედეგად გამოყოფილი ნახშირბადი ყოველთვის ბუდობრივი (ფიფქისებური) ჩანართების სახეს ღებულობს. ამ გრაფიტს ხშირად მოწვის ნახშირბადსაც უწოდებენ. რადგან გრაფიტის ბუდობრივი ჩანართები უზრუნველყოფს სიმყიფის საგრძნობ შემცირებას და პლასტიკურობის გადიდებას, ასეთმა თუჯმა ჭედადი თუჯის სახელწოდება მიიღო. ჭედადი თუჯი იმდენად პლასტიკურია, რომ მისი დახასიათება სიმტკიცის ზღვრითა და ფარდობითი წაგრძელებით ხდება.

ლითონური ფუძის სტრუქტურა ჭედად თუჯში ასევე შეიძლება იყოს ფერიტული, პერლიტური ან ფერიტულ-პერლიტური. 17.4 სურათზე გამოსახულია ჭედადი თუჯის მიკროსტრუქტურები.



სურ. 17.4. ჭედადი თუჯების მიკროსტრუქტურა.

- ა-გრაფიტის ჩანართის ფორმა;
 - ბ- ფერიტული;
 - გ- ფერიტულ-პერლიტური
 - დ- პერლიტური
- x200



დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

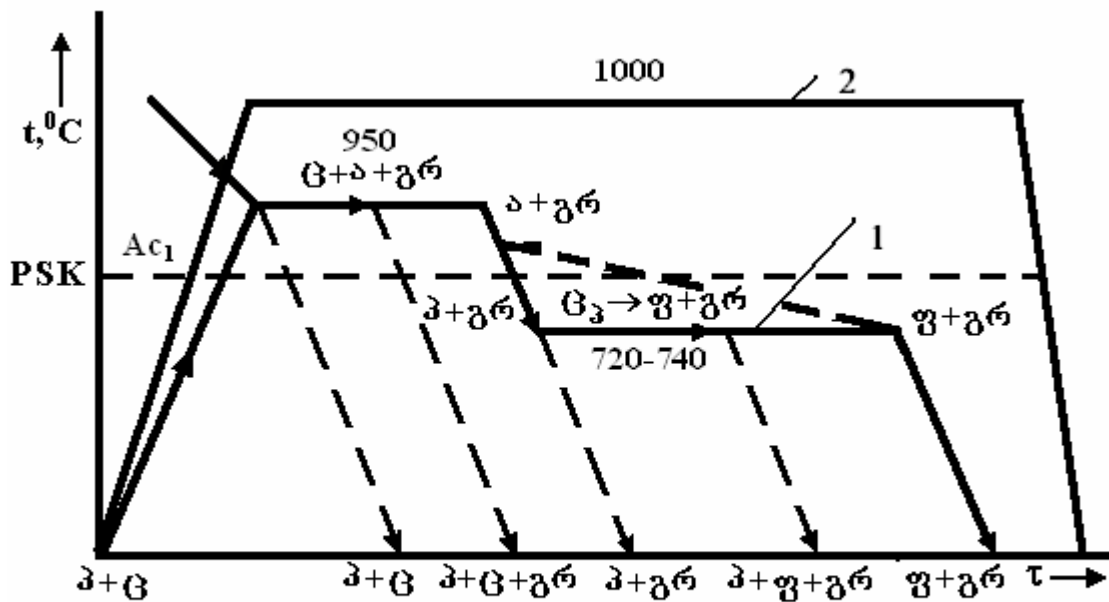
I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ გრაფიტის ჩანართის ფორმა ჭედად თუჯში;
2. გამოიკვლიეთ თუჯის ლითონური არის სტრუქტურები;
3. სქემატურად ჩახაზეთ გამოკვლეული ნიმუშების მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით;

17.4. სტრუქტურის ფორმირება ჭედად თუჯში. ჭედადი თუჯის ნაკეთობის მისაღებად მას ჯერ თეთრი თუჯისგან ჩამოსახამენ, შემდეგ კი მოწვავენ. ჭედადი თუჯისთვის განკუთვნილი თეთრი თუჯის ქიმიური შედგენილობა ზუსტად უნდა იყოს განსაზღვრული: C - 2,5-3,0%; Si ≤ 0,7-1,5%; Mn ≤ 0,3-0,5%; S < 0,1%; P < 0,2%. ნახშირბადის შემცველობა გვიჩვენებს, რომ მოწვისთვის ქვევებექტიკურ თეთრ თუჯს იღებენ.

ჭედადი თუჯი ლითონური არის სტრუქტურის მიხედვით ძირითადად ფერიტულია. იშვიათად მისი სტრუქტურა შეიძლება იყოს ფერიტულ-პერლიტური ან პერლიტური. მიკროსტრუქტურის სხვადასხვაობა დამოკიდებულია მოწვის რეჟიმზე. ზოგადად თეთრი თუჯის ჭედად თუჯად მოწვის რეჟიმი შეიძლება გამოისახოს 17.5 სურათზე მოცემული გრაფიკით.

ფერიტული ჭედადი თუჯის მისაღებად (სურ. 17.5, 1) მრუდი ნაკეთობას ნელა



სურ. 17.5. გრაფიტიზაციის შედეგად სტრუქტურის ჩამოყალიბების სქემა

ახურებენ 950-1000°C ტემპერატურამდე და აყოვნებენ 10-15 საათის განმავლობაში. დაყოვნების პროცესში მიმდინარეობს გრაფიტიზაციის პირველი სტადია – ევტექტიკაში შემაჯავლი ცემენტიტისა და აუსტენიტიში გაუხსნელი მეორეული ცემენტიტის დაშლა მოწვის ნახშირბადის წარმოქმნით. სტადიის დამთავრების შემდეგ სტრუქტურაში აუსტენიტი და მოწვის ნახშირბადი მიიღება.

ტემპერატურას ამცირებენ. გაცივების პროცესში აუსტენიტიდან გამოყოფილი მეორეული ცემენტიტი იშლება გრაფიტის წარმოქმნით.

გრაფიტიზაციის მეორე სტადია მიმდინარეობს ევტექტოიდური გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში მეტად მცირე სიჩქარით გაცივებისას ან 720-740°C ტემპერატურულ ინტერვალში ხანგრძლივი (20-25 სთ) დაყოვნებით. ორივე შემთხვევაში პერლიტიში შემაჯავლი ცემენტიტი იშლება გრაფიტის წარმოქმნით.

ამრიგად, მოწვის სრული ციკლის ჩატარების შემდეგ სტრუქტურაში მიიღება ფერიტი+გრაფიტი (მოწვის ნახშირბადი). თუ გრაფიტიზაციის მეორე სტადია სრულად არ ჩატარდა, დაუშლელი პერლიტი შემოინახება ოთახის ტემპერატურამდე და ჩამოყალიბდება ფერიტულ-პერლიტური ჭედადი თუჯის სტრუქტურა.

პერლიტური ჭედადი თუჯის მისაღებად მოწვის რეჟიმი რამდენადმე განსხვავებულია (სურ. 17.5, მე-2 მრუდი). როგორც გრაფიტიდან ჩანს, იზრდება გრაფიტიზაციის პირველი სტადიის ხანგრძლივობა, რომლის დამთავრების შემდეგ სხმულს განუწყვეტლად აცივებენ ოთახის ტემპერატურამდე. სტრუქტურაში მიიღება პერლიტი+მოწვის ნახშირბადი.

დავალებათ:

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. შეისწავლეთ მაღალი სიმტკიცისა და ჭედადი თუჯების მიკროსტრუქტურები და ახსენით მათ შორის არსებითი განსხვავება;

2. თეთრი თუჯის მოწვისას მიმდინარე გრაფიტიზაციის პროცესზე დაყრდნობით (იხ. სურ. 17.5) ჩამოაყალიბეთ სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ლითონური ფუძის ფორმირების პირობები და გამოხაზეთ შესაბამისი სტრუქტურული სქემები;

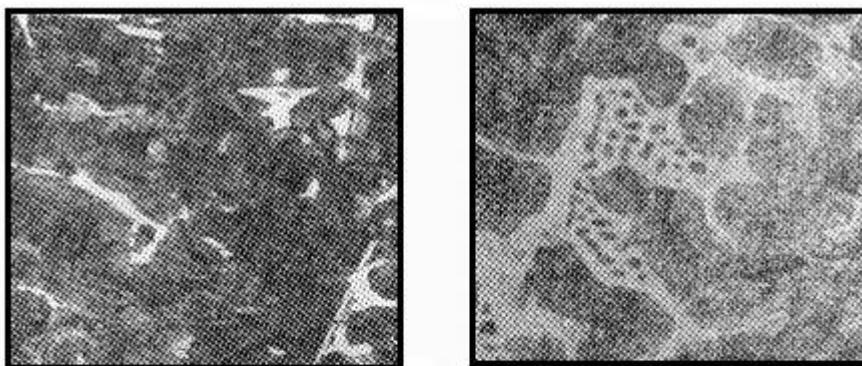
3. გამოხაზეთ თუჯების განზოგადებული სტრუქტურული დიაგრამა გრაფიტის ჩანართის ფორმისა და ლითონური არის სტრუქტურის მიხედვით.

4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

17.5. გარდამავალი თუჯის მიკროსტრუქტურა. თხევადი თუჯის ნელი გაცივების პირობებში მაღალნახშირბადიანი ფაზა გრაფიტის სახით გამოკრისტალდება, დიდი სიჩქარით გაცივებისას კი წარმოიქმნება ცემენტიტი. არის ისეთი შემთხვევები, როდესაც თხევადი ფაზის გაცივება რაღაც შუალედური სიჩქარეებით მიმდინარეობს, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის იმისათვის, რომ კრისტალიზაცია წარიმართოს ორივე მაღალნახშირბადიანი ფაზის – როგორც გრაფიტის, ისე ცემენტიტის წარმოქმნით. შედეგად სტრუქტურაში მიიღება პერლიტი, ცემენტიტი და გრაფიტის ჩანართები. ასეთი სტრუქტურის მქონე თუჯს გარდამავალს უწოდებენ.

გარდამავალი თუჯის ლითონური არის სტრუქტურა დამოკიდებულია ქიმიურ ნაერთში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობაზე. თუ ნახშირბადის ეს რაოდენობა უმნიშვნელოდ აღემატება ევტექტოიდურ კონცენტრაციას, თუჯში პირველადი კრისტალიზაციის პროცესში ევტექტიკა (ლედებურიტი) არ წარმოიქმნება. აქედან გამომდინარე, ასეთ შემთხვევაში თუჯის სტრუქტურა პერლიტის, ცემენტიტისა და გრაფიტისაგან იქნება შედგენილი (სურ. 17.6 ა).

თუ თუჯის პირველადი კრისტალიზაციის პროცესში გრაფიტის ჩანართების გარკვეული რაოდენობის წარმოქმნის შემდეგ ცემენტიტის ევტექტიკა, ანუ ლედებურიტი გამოკრისტალდა, ჩამოყალიბდება გარდამავალი თუჯი, რომლის სტრუქტურა შედგენილი იქნება პერლიტის, ლედებურიტის და გრაფიტის ჩანართებისგან (ნახ. 17.6 ბ).



ა

ბ

სურ. 17.6. გარდამავალი თუჯის მიკროსტრუქტურა:

ა - პერლიტი + მორეული ცემენტიტი + გრაფიტი;
 ბ - პერლიტი + ლედებურიტი + გრაფიტი

x500

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ გარდამავალი თუჯის სტრუქტურის თავისებურებანი და სქემატურად ჩახაზეთ მათი მიკროსტრუქტურები;
2. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

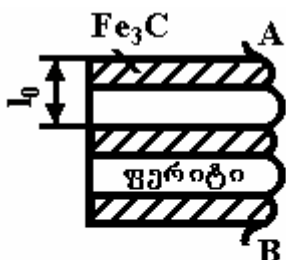
1. შეისწავლეთ გარდამავალი თუჯის სტრუქტურები და სქემატურად ჩახაზეთ მათი მიკროსტრუქტურები;
2. Fe-C დიაგრამაზე აღმართეთ შესაბამისი სტრუქტურის მქონე შენადნობების ტემპერატურული დერძები;
3. ახსენით გამოსაკვლევი შენადნობების სტრუქტურის ჩამოყალიბების პირობები Fe-C დიაგრამასთან კავშირში;
4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

აუსტენიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურული კვლევა

აუსტენიტის დიფუზიური დაშლა ფერიტისა და ცემენტიტის ევტექტოიდური მიკრომექანიკური ნარევის, პერლიტის წარმოქმნით ევტექტოიდური შედგენილობის ფოლადში 727°C ტემპერატურაზე იწყება. ევტექტოიდური სტრუქტურის წარმოქმნას ორი ძირითადი პარამეტრი მართავს: კრისტალიზაციის ცენტრთა რიცხვი და ამ ცენტრებიდან ფირფიტების ზრდის სიჩქარე. ეს ორივე პარამეტრი დამოკიდებულია გადაცივების ხარისხზე, რაც განაპირობებს გარდაქმნის სხვადასხვა სიჩქარეს სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში.

გადაცივების ხარისხის გაზრდასთან ერთად ხდება ევტექტოიდური სტრუქტურის დისპერსიულობის გაზრდა და მისი გარჩევა ოპტიკური მიკროსკოპით თანდათან ძნელდება.

ევტექტოიდურ ფოლადში 700-650°C ტემპერატურულ ინტერვალში აუსტენიტის დაშლის შედეგად უხეში აგებულების მიკრომექანიკური ნარევი მიიღება. პერლიტის კოლონიებში ფერიტისა და ცემენტიტის ფირფიტების გასაშუალოებული ჯამური სისქე ანუ ფირფიტებს შორის l_0 მანძილი (იხ. სურ. 18.1) 0,5-1 მიკრონს შეადგენს. კოლონიების ორფაზა აგებულება კარგად მოჩანს მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპში საშუალო გადიდებისას. ასეთ ევტექტოიდურ ნარევს პერლიტი ეწოდება (სურ. 18.2, ა).

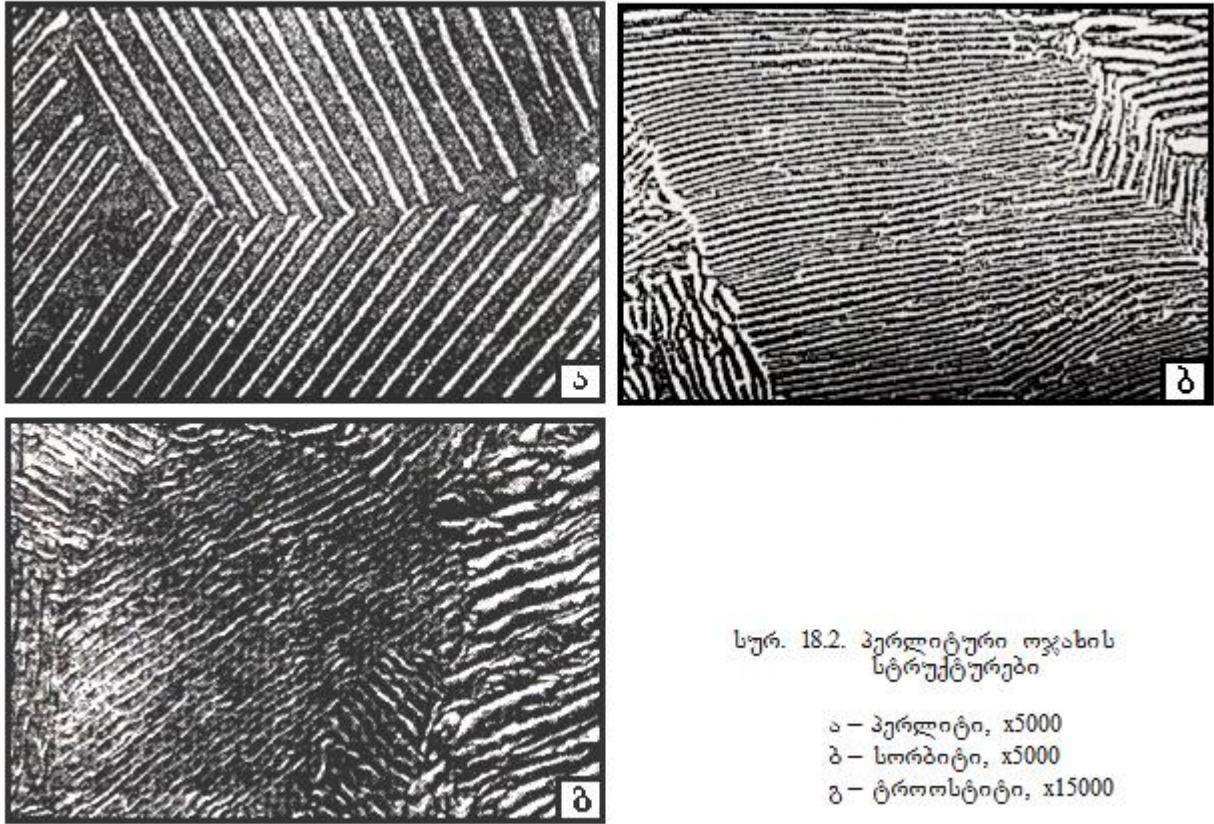


სურ. 18.1. ფირფიტებს შორის მანძილი პერლიტის კოლონიებში

პერლიტური სტრუქტურის განსაკუთრებული თვისება ის არის, რომ კოლონიების მთელ ზედაპირზე ფირფიტებს შორის მანძილი ტოლია, რაც კარგად მუდგენდება წარმოდგენილ მიკროფოტოგრაფიაზე.

650-600°C ტემპერატურულ ინტერვალში გარდაქმნის შემდეგ ჩამოყალიბდება ფერიტისა და ცემენტიტის შედარებით უფრო წვრილდისპერსიული მიკრომექანიკური ნარევი, რომელსაც სორბიტი ეწოდება. სორბიტულ სტრუქტურაში ფირფიტებს შორის მანძილი 0,4-0,2 მიკრონამდე მცირდება, რის გამოც სტრუქტურის დიფერენცირება ოპტიკურ მიკროსკოპში შესაძლებელია მხოლოდ დიდი გადიდებისას (სურ. 18.2, ბ).

უფრო დაბალ ტემპერატურაზე (600-500°C) აუსტენიტის დაშლის შედეგად ფორ-



სურ. 18.2. პერლიტური ოჯახის სტრუქტურები

ა - პერლიტი, x5000
 ბ - სორბიტი, x5000
 გ - ტროოსტიტი, x15000

მირებული სტრუქტურა ხასიათდება კიდევ უფრო წვრილდისპერსიული აგებულებით (ფირფიტებს შორის მანძილი 0,1 მიკრონამდეა). მას ტროოსტიტი ეწოდება. ტროოსტიტული სტრუქტურის გამომუდგენება შესაძლებელია ელექტრონული მიკროსკოპის გამოყენებით (სურ. 18.2, გ)

ამრიგად, პერლიტი, სორბიტი და ტროოსტიტი ერთნაირი ბუნების სტრუქტურებია, ისინი ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევიან და ერთმანეთისგან განსხვავდება ფირფიტების დისპერსიულობის ხარისხით. მათ პერლიტური ოჯახის სტრუქტურა ეწოდება. რაც უფრო მეტია დისპერსიულობა, მით უფრო მეტია სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლები. მაგალითად, სისაღე კანონზომიერად იცვლება პერლიტიდან ტროოსტიტისაკენ 150 HB-დან 250 HB-მდე.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურები;

2. სქემატურად გამოსაზეთ გამოკვლეული შენადნობების მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით;

3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ პერლიტური ოჯახის (პერლიტი, სორბიტი და ტროოსტიტი) მიკროსტრუქტურები;

2. ჩამოაყალიბეთ გამოკვლეული სტრუქტურების ფორმირების პირობები აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამასთან კავშირში.

3. ახსენით გამოკვლეული შენადნობების სტრუქტურული განსხვავების მიზეზი;

4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ჯაბორატორიული სამუშაო 19

მარტენსიტული სტრუქტურის კვლევა ფოლადში

აუსტენიტისგან ფერიტისა და ცემენტიტის ნარევის წარმოქმნა დიფუზიური პროცესია და დაკავშირებულია ნახშირბადის ატომების გადანაწილებასთან ფაზებს შორის.

თუ A_{c3} კრიტიკული წერტილის ზემოთ გადახურებულ ფოლადს დიდი სიჩქარით გავაცივებთ, მაგალითად, წყალში, ნახშირბადის დიფუზია პრაქტიკულად წყდება, რის გამოც იწყება გადაცივებული აუსტენიტის მარტენსიტული გარდაქმნა.

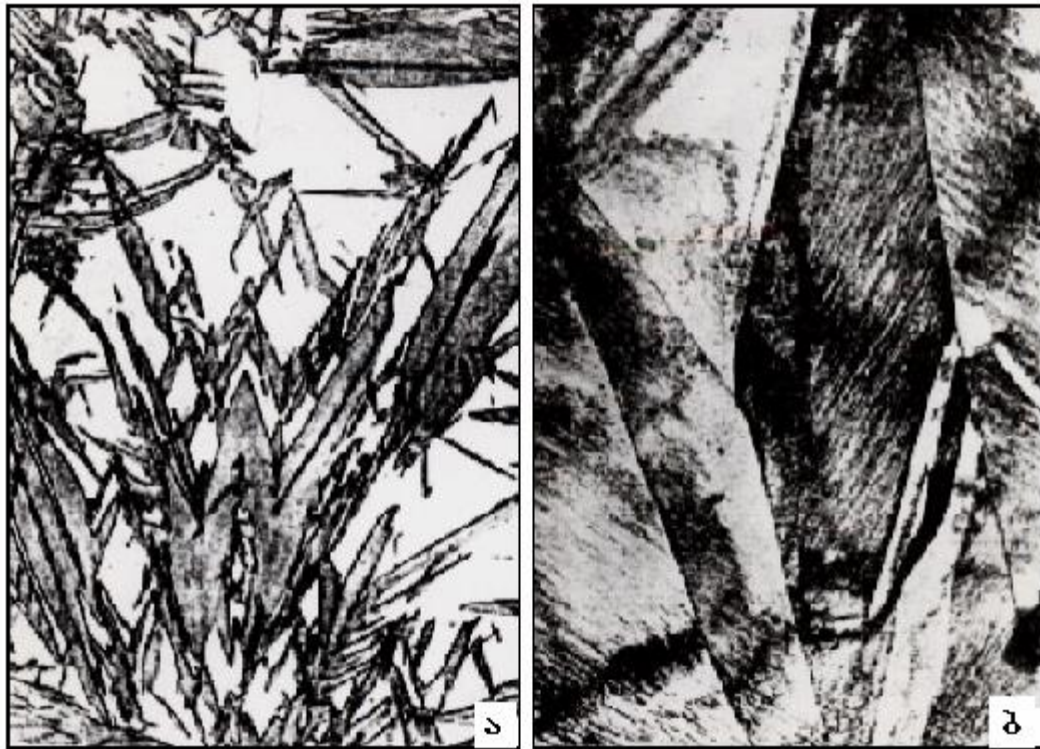
A_1 წერტილის ქვემოთ γ რკინის კრისტალური გისოსი შეუძლებელია სტაბილურად არსებობდეს. დიდი გადაცივების შემთხვევაში, როდესაც ატომების გადაადგილების უნარი უმნიშვნელოა, $\gamma \rightarrow \alpha$ პოლიმორფული გარდაქმნა მიმდინარეობს, მაგრამ ნახშირბადი ვერ ასწრებს მყარი ხსნარიდან გამოყოფას და იძულებით რჩება α რკინაში იმავე რაოდენობით ჩანერგილი, რა რაოდენობითაც მას აუსტენიტი შეიცავს.

ოთახის ტემპერატურაზე α რკინაში ნახშირბადის ხსნადობის ზღვარი წონასწორულ პირობებში უმნიშვნელოა (0,01%), ამიტომ მარტენსიტი, რომელიც წარმოიქმნება აუსტენიტის არადიფუზიური პოლიმორფული გარდაქმნის შედეგად, ყოველთვის არის ნახშირბადის გადაჯერებული მყარი ხსნარი α რკინაში. ნახშირბადის ატომების იძულებითი ჩანერგვის გამო α რკინის კუბური კრისტალური მესერი გარდაიქმნება სივრცით დაცენტრებულ ტეტრაგონურ მესრად.

ნახშირბადიანი ფოლადის ტიპური მარტენსიტული სტრუქტურა ნემსისებრია (სურ. 19.1). აუსტენიტს, რომელიც არსებობს ოთახის ტემპერატურაზე მარტენსიტთან ერთად, ნარჩენი აუსტენიტი ეწოდება. იგი მიკროსკოპში მოჩანს ღია ფერის არეების სახით მარტენსიტის ნემსებს შორის.

ნაწრობი ფოლადის სტრუქტურის კვლევით გამოქვეყნებულია მარტენსიტის ორი უმთავრესი მორფოლოგიური ტიპი: ფირფიტოვანი და პაკეტური. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდება კრისტალების ფორმით, მათი ურთიერთგანლაგებით და სუბსტრუქტურით.

ფირფიტოვანი მარტენსიტი, რომელსაც აგრეთვე ნემსისებრს უწოდებენ, არის კლასიკური მარტენსიტის ტიპი. მიკროსკოპის ზედაპირზე მარტენსიტის ფირფიტა იშვი-



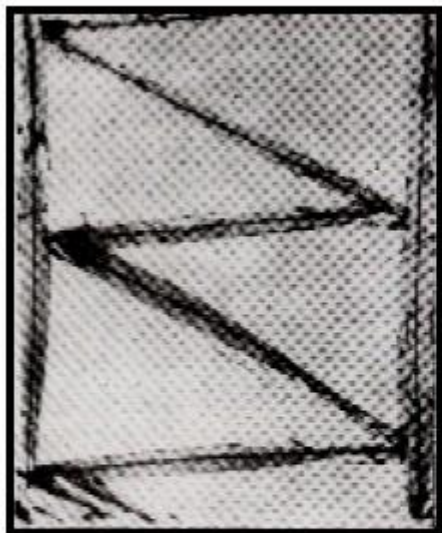
სურ. 19.1. მარტენსიტული სტრუქტურა ნახშირბადუხვ ფოლადში
 ა - x1500 ; ბ - x20000

ათად ხვდება დიდი ზედაპირით, ამიტომ მცირე გადიდების შემთხვევაში ფირფიტების კვეთი ქმნის ნემსისებრი კრისტალების შთაბეჭდილებას, თითქოს მარტენსიტის “ნემსები” ურთიერთპარალელურად არიან განლაგებული ან ქმნიან 60 და 120⁰-იან კუთხეებს.

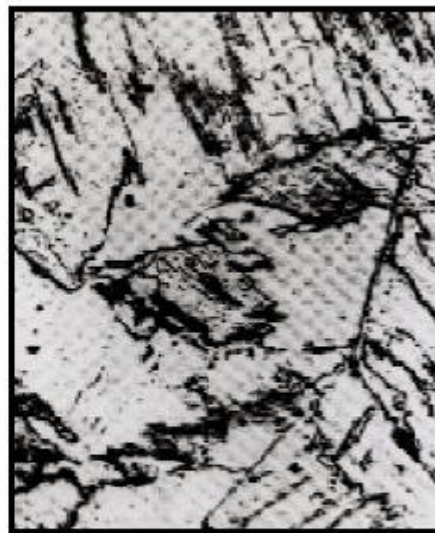
ვინაიდან მარტენსიტის ფირფიტა დედა ფაზის, აუსტენიტის მარცვლის საზღვრის გარეთ არ შეიძლება გავრცელდეს, ამიტომ ნემსის სიგრძეს აუსტენიტის მარცვლის ზომა განსაზღვრავს. რაც უფრო მსხვილია საწყისი აუსტენიტის მარცვალი, მით უფრო მსხვილნემსა მარტენსიტი მიიღება და პირიქით. ხშირ შემთხვევაში მარტენსიტის ნემსები წარმოქმნის ფერმისმაგვარ ანსამბლს (სურ. 19.2).

ლარტყისებრი მარტენსიტი გვხვდება ნაწრთობ დაბალნახშირბადიან და საშუალონახშირბადიან ფოლადებში. მარტენსიტის წარმონაქმნი ლარტყას წააგავს, პარალელურად განლაგებული ლარტყები კი მთელ დასტას წარმოქმნის (სურ. 19.3). ერთი აუსტენიტის მარცვალში წარმოიქმნება მრავალი მარტენსიტული დასტა. ფირფიტების სივანე დასტის შიგნით დაახლოებით ერთნაირია და შეადგენს 0,1-0,2 მიკრონს, რაც

ოპტიკური მიკროსკოპის გარჩევის უნარის ზედა ზღვარზე მდებარეობს ან აღემატება კიდევ მას. ამიტომ ლარტყის კრისტალები ოპტიკურ მიკროსკოპში ან საერთოდ არ



სურ. 19.2. წამწესებრივ მარტენსიტის ფირფიტები და წარჩენილი აუსტენიტი (თეთრი ფონი) $\times 550$

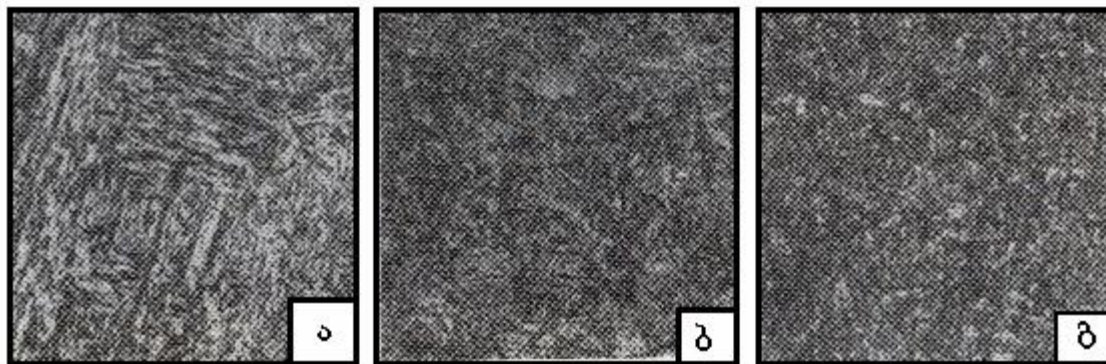


სურ. 19.3. ლარტყისებრი მარტენსიტის მიკროსტრუქტურა $\times 200$

ჩანს, ან მუდგანდება როგორც ლარტყის სუბსტრუქტურა. მაშასადამე, ოპტიკურ მიკროსკოპში მიკროხეხზე დაკვირვებისას ძირითად სტრუქტურულ ელემენტად მოჩანს დასტა ლარტყების სახით.

უმრავლეს შემთხვევაში წრთობის მიზანი მარტენსიტული სტრუქტურის მიღებაა. საშუალონახშირბადიანი ფოლადის Ac_3 კრიტიკული წერტილის ზემოთ მნიშვნელოვანი გადახურების შემთხვევაში, რაც იწვევს აუსტენიტის მარცვლის ინტენსიურ ზრდას, მსხვილნემსა მარტენსიტი მიიღება (სურ. 19.4, ა), ხოლო ნორმალური რეჟიმით წრთობა (გახურება $Ac_3+(20-30)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე და სწრაფი გაცივება წყალში) უზრუნველყოფს ან წვრილნემსა მარტენსიტული სტრუქტურის (სურ. 19.4, ბ), ან ეგრეთ წოდებული ფარულკრისტალური მარტენსიტული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას (სურ. 19.4, ვ).

ზეევეტექტიდური ფოლადის ოპტიმალური ტემპერატურიდან წრთობისას (გახურება $Ac_1+(20-30)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე და სწრაფი გაცივება წყალში) მარტენსიტთან ერთად სტრუქტურაში მეორეული ცემენტიტის ჩანართებიც შემოინახება, რაც ზრდის სისაღესა და ცვეთამედეგობას საიარაღო ფოლადებში (ნახ. 19.5).



სურ. 19.4. მარტენსიტული სტრუქტურა საშუალონახშირბადიან ფოლადში

- ა – მსხვილნემსა მარტენსიტი
 - ბ – წვრილნემსა მარტენსიტი
 - გ – ფარულკრისტალური მარტენსიტი
- x500



სურ. 19.5. ზეექტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა ნორმალური რეჟიმით წრთობის შემდეგ მარტენსიტი და მეორეული ცემენტიტი, x500

დავალება :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ მარტენსიტული სტრუქტურა ფოლადებში;
2. სქემტურად გამოსახეთ გამოკვლეული მიკროსტრუქტურები და სათანადოდ ახსენით;
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 20

ბენიტიური სტრუქტურის კვლევა ფოლადში

აუსტენიტის გარდაქმნა იზოთერმული დაშლის დიაგრამის მუხლს ქვემოთ, მაგრამ მარტენსიტული ინტერვალის ზემოთ, განსხვავებული კინეტიკით მიმდინარეობს. იგი მოიცავს 500-250°C ტემპერატურულ ინტერვალს. ამ ტემპერატურულ ინტერვალში გარდაქმნის შედეგად მიიღება ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევი, რომელსაც ბენიტი ეწოდება. ბენიტიურ სტრუქტურაში კარბიდს არ გააჩნია ფირფიტოვანი აგებულება. იგი იმდენად წვრილდისპერსიულია, რომ ფაზების დიფერენცირება შესაძლებელია მხოლოდ ელექტრონულ მიკროსკოპში დაკვირვებისას.

იმისდა მიხედვით, თუ რომელ ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს გარდაქმნა, შეიძლება ჩამოყალიბდეს განსხვავებული აგებულების სტრუქტურები – ზედა ბენიტი და ქვედა ბენიტი. პირველი ფორმირდება შუალედური გარდაქმნის ზედა ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო მეორე – ქვედა ტემპერატურულ ინტერვალში. მათ შორის პირობითი საზღვარია 350°C.

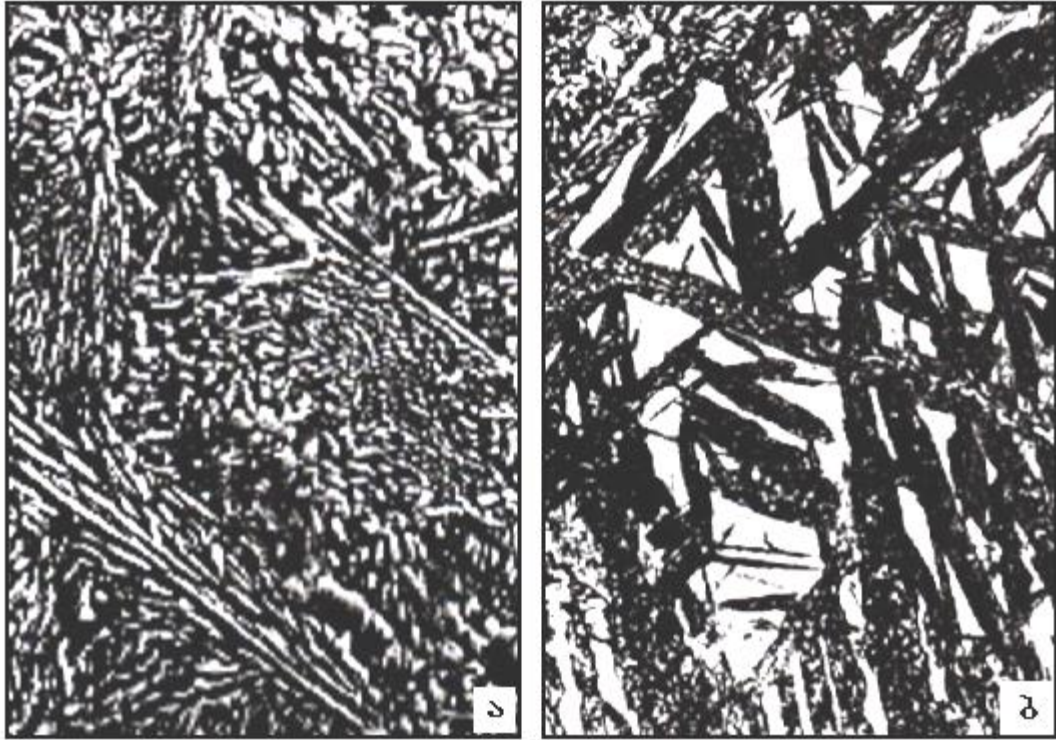
ზედა ბენიტის სტრუქტურა (სურ. 20.1, ა) მკვეთრად განსხვავდება ტროოსტიტული სტრუქტურისაგან. ზედა ბენიტში კარბიდები დაპობილია, რის გამოც აღნიშნული სტრუქტურული შემდგენი არ გვხვდება გრძელი ფირფიტების სახით, როგორც ეს დამახასიათებელია პერლიტური სტრუქტურისათვის.

ქვედა ბენიტის სტრუქტურა ნემსისებრია, მარტენსიტის მსგავსია. 20.1, ბ სურათზე კარგად ჩანს ქვედა ბენიტიურ სტრუქტურაში „ნემსების“ ტიპური განლაგება. ბენიტის „ნემსები“ ხასიათდება რამდენადმე უპირატესი ორიენტაციით საწყისი აუსტენიტის მიმართ. დიდი გადაცივების შემთხვევაში კარგად ჩანს ბენიტში („ნემსებში“) კარბიდული გამონაყოფი.

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ ზედა და ქვედა ბენიტიური სტრუქტურა ფოლადში;
2. გამოავლინეთ მათ შორის პრინციპული განსხვავება, სქემატურად გამოხატეთ გამოკვლეული სტრუქტურები და სათანოდო ახსენით;



ნახ. 20.1. ზედა (ა, x5000) და ქვედა (ბ, x7500) ბენიტური სტრუქტურა ფოლადებში

3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ მარტენსიტული და ბენიტური სტრუქტურები;
2. აღწერეთ სტრუქტურის ჩამოყალიბების თავისებურებანი აუსტენიტის დაშლის იზოთერმულ დიაგრამასთან კავშირში;
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

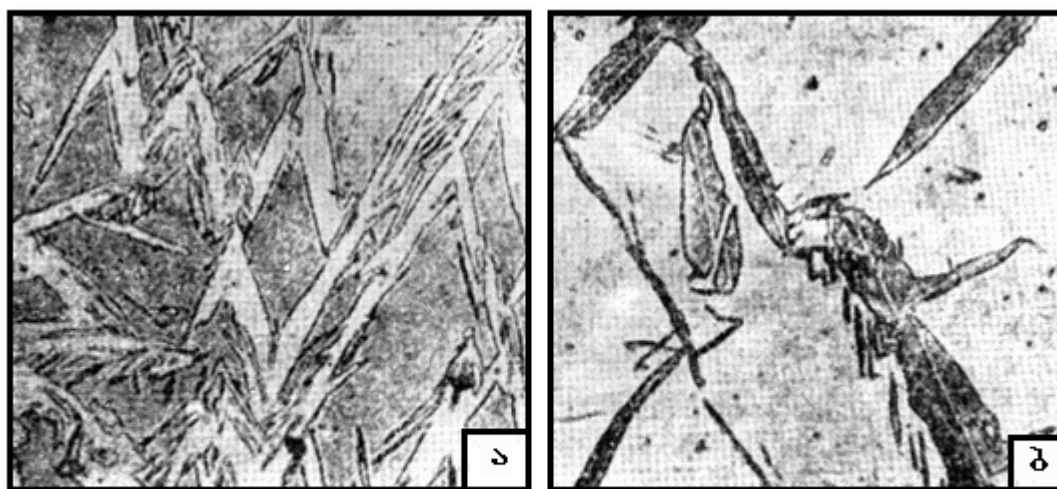
მარტენსიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურის კვლევა

ფოლადის წრთობის შედეგად მიღებული მარტენსიტული სტრუქტურა არამდგრადია და ექვემდებარება დაძველებას. არამდგრადია აგრეთვე ნარჩენი აუსტენიტიც, რომლის დაშლა 200°C-ის ზემოთ იწყება.

100°C ტემპერატურაზე ნაწრთობ ფოლადში იწყება მარტენსიტიდან რკინის კარბიდის გამოყოფა. იგი თავისი აგებულებითა და ნახშირბადის შემცველობით განსხვავებულია ცემენტიტისაგან. ლიტერატურაში მას ϵ კარბიდი ეწოდება, ხასიათდება მეტად წვრილდისპერსიული აგებულებით, აქვს ჰექსაგონური კრისტალური მესერი და მისი ფორმულა, Fe_3C -ს მზგავსია. გამოყოფილი კარბიდი კრისტალოგრაფიულად დაკავშირებულია მყარი ხსნარის მესერთან.

კარბიდის გამოყოფასთან ერთად მცირდება მარტენსიტის კრისტალური მესრის ტეტრაგონურობის ხარისხი. ასეთი დაბალტემპერატურული მოშვების შედეგად ჩამოყალიბებულ სტრუქტურას მოშვების მარტენსიტი ეწოდება. მოშვების მარტენსიტი აგებულებით წრთობის შედეგად მიღებული მარტენსიტის ანალოგიურია, მაგრამ თუ წრთობის შედეგად მარტენსიტის „ნემსები“ ღია შეფერილობისაა, მოშვების მარტენსიტში იგი მუქ შეფერილობას ღებულობს (სურნახ. 21.1).

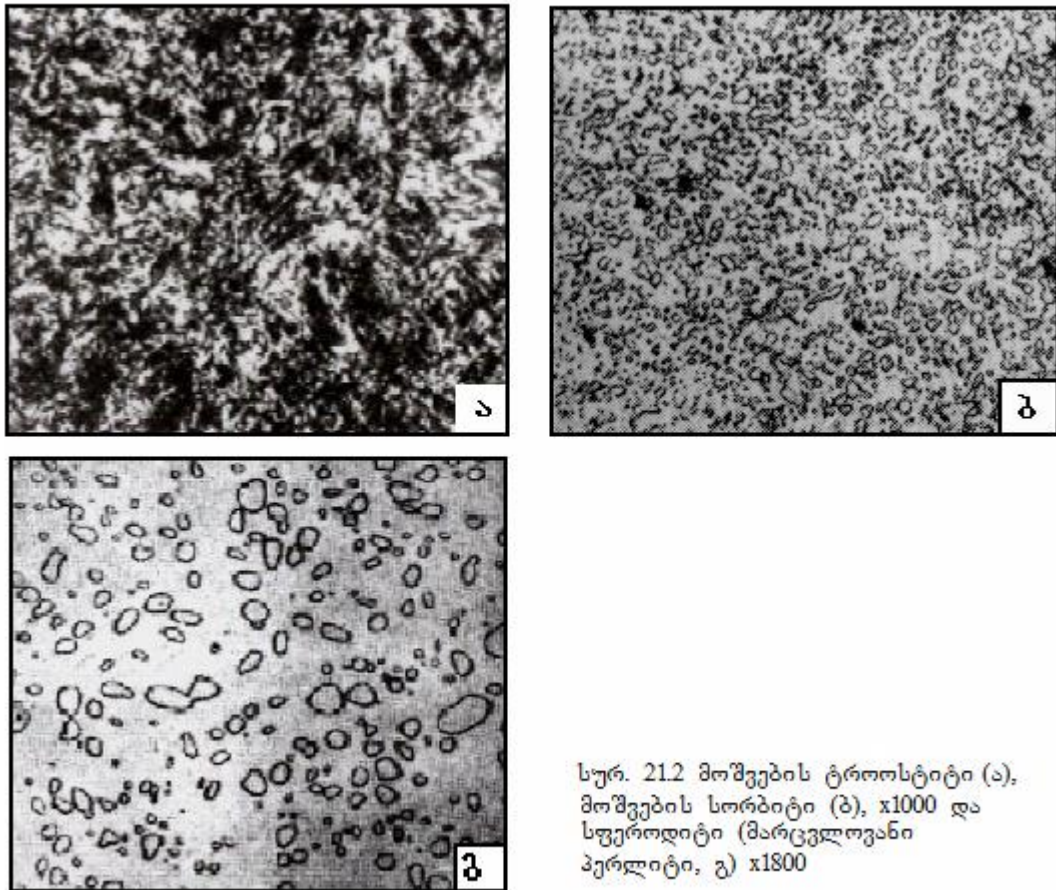
200-300°C ტემპერატურულ ინტერვალში გარდაქმნა მიმდინარეობს ნარჩენ აუს-



სურ. 21.1 მარტენსიტული სტრუქტურა წრთობისა (ა) და წრთობისა და მოშვების (ბ) შემდეგ, x500

ტენიტში – ხორციელდება $\gamma \rightarrow \alpha$ გადაჯგუფება, რასაც თან ახლავს მესრიდან კარბიდების გამოყოფა. შედეგად წარმოიქმნება ნახშირბადით გადაჯერებული α მყარი ხსნარისა და კარბიდების ჰეტეროგენული ნარევი ანუ ნარჩენი აუსტენიტი მოშვებულ მარტენსიტად გარდაიქმნება.

300-350⁰C-ზე გრძელდება α მყარი ხსნარიდან ნახშირბადის გამოყოფა და კარბიდის კრისტალების გამსხვილება. რკინის კარბიდი შედგენილობით ცემენტიტს უახლოვდება. ჩამოყალიბებულ სტრუქტურას მოშვების ტროოსტიტი ეწოდება (სურ. 21.2, ა).



სურ. 21.2 მოშვების ტროოსტიტი (ა), მოშვების სორბიტი (ბ), x1000 და სფერულიტი (მარტენსიტის პერლიტი, გ) x1800

ტემპერატურის გაზრდა 500⁰C-მდე არ იწვევს ფაზური შედგენილობის შეცვლას, იგი კვლავ ფერიტისა და ცემენტიტის ნარევი, თუმცა იცვლება მისი სტრუქტურა. α მყარ ხსნარში ნახშირბადის შედგენილობა მცირდება 0,01%-მდე, მიმდინარეობს ცემენტიტის კოალესცენცია და ფერიტის რეკრისტალიზაცია. მიღებულ ფერიტისა და ცემენტიტის ნარევს მოშვების სორბიტი ეწოდება (სურ. 21.2, ბ). A1 კრიტიკული წერტი-

ლის მახლობლობაში ფერიტისა და ცემენტიტის ნარევის აგებულება უფრო უხეში ხდება და მას სფეროდიტი ანუ მარცვლოვანი პერლიტი ეწოდება (სურ. 212, გ).

მოშვების პროდუქტებს – ტროოსტიტს, სორბიტს და სფეროდიტს – ერთნაირი ბუნების სტრუქტურები აქვს. ყოველი მათგანი შედგება ფერიტისა და ცემენტიტის ნარევისაგან, მაგრამ ერთმანეთისგან განსხვავდება ცემენტიტის დისპერსიულობითა და ფერიტის რეკრისტალიზაციის ხარისხით, რაც ძირითადად ფოლადის მექანიკურ მახასიათებლებზე ახდენს გავლენას – მოშვების ტემპერატურის გაზრდით სისაღე და სიმტკიცე მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა მატულობს.

აღსანიშნავია მეტად არსებითი განსხვავება ფერიტული და ცემენტიტური ნარევის აგებულებებს შორის, რომელიც მიიღება აუსტენიტის უშუალო დაშლისა და მარტენსიტის დაშლის შედეგად. პირველ შემთხვევაში ცემენტიტი ფირფიტოვანი აგებულებისაა, ხოლო მარტენსიტის დაშლის შედეგად ცემენტიტი მარცვლოვან ფორმას იღებს, რაც განაპირობებს მოშვების სტრუქტურების დიდ უპირატესობას თვისებების კომპლექსის თვალსაზრისით წრთობის ანალოგიურ სტრუქტურებთან შედარებით.

დ ა გ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. შეისწავლეთ ფოლადის მიკროსტრუქტურა უშუალოდ წრთობისა და წრთობისა და დაბალი მოშვების შემდეგ. ახსენით განსხვავება სტრუქტურებს შორის;
2. შეისწავლეთ მარტენსიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურა, გამოხაზეთ სტრუქტურის სქემები და სათანადოდ ახსენით.
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ და ახსენით სტრუქტურული განსხვავების მიზეზი ფოლადში უშუალოდ წრთობისა და წრთობისა და მოშვების შემდეგ.
2. გამოიკვლიეთ მარტენსიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურა, აღწერეთ მათი ჩამოყალიბების პირობები და სტრუქტურული განსხვავება აუსტენიტის დაშლის ანალოგიურ სტრუქტურებთან შედარებით;
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ზოგიერთი მძანდიკური თვისების განსაზღვრა ფოლადებსა და თუჯებსში
მათი სტრუქტურის მიხედვით

ცნობილია რკინა-ნახშირბადის შენადნობების ცალკეული ფაზებისა და სტრუქტურული შემდგენების სისაღის მნიშვნელობები: ფერიტის – 100 HV, ცემენტიტის – 1000 HV, პერლიტის – 180-240 HV, სორბიტის 250-300 HV, ტროოსტიტის – 350-450 HV, ბეინიტის – 500 HV, მარტენსიტის – 600 HV.

შენადნობის სისაღე შემადგენელი ფაზების რაოდენობისა და მათი სისაღის ნამრავლთა ჯამის ტოლია, რაც შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$HV = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \quad (1)$$

სადაც X_i არის i -ური სტრუქტურული შემდგენის (ფაზის) ფარდობითი შემცველობა შენადნობში;

Y_i – სტრუქტურული შემდგენის (ფაზის) სისაღე.

ცვალებადი სისაღის მქონე სტრუქტურული შემდგენის, მაგალითად, პერლიტის სისაღე ბრინელის ერთეულებით განისაზღვრება შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$HB = \frac{80}{l_0}, \quad (2)$$

სადაც l_0 არის ცემენტიტისა და ფერიტის ფირფიტების გასაშუალოებული სისქე მიკრომეტრობით. პერლიტისათვის იგი იცვლება 0,5-1,0მკმ საზღვრებში, სორბიტისათვის – 0,2-0,4 მკმ, ხოლო ტროოსტიტისათვის $l_0 < 0,1$ მკმ საზღვრებში.

უნდა გავითვალისწინოთ, რომ თუ $HB < 300$, $HB \approx HV$.

არსებობს ემპირიული დამოკიდებულება სისაღესა (HB) და გაჭიმვაზე სიმტკიცის ზღვრებს (σ_{აქს}) შორის, რომელსაც ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის შემდეგი სახე აქვს:

$$\sigma_{აქს} = 0,36 HB \quad (3)$$

განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი:

1. განვსაზღვროთ პერლიტური სტრუქტურის მქონე ფოლადის (0,8%С) სისაღე შემდგენი ფაზების რაოდენობებისა და სისაღის მიხედვით.

ამოხსნა:

პერლიტური სტრუქტურის მქონე ფოლადი შეიცავს 12% ცემენტიტს (რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამაზე ნახშირბადის ყოველ 1%-ს შეესაბამება 15% ცემენტიტი) ანუ $X_1=15 \times 0,8=12$ (იხ. 1 ტოლობა) და 88% ფერიტს (X_2). რადგან ცემენტიტის სისაღე შეადგენს 1000 HV, ხოლო ფერიტისა - 100 HV, (1) ტოლობის თანახმად, პერლიტის სისაღე

$$HV=X_1Y_1+X_2Y_2=0,12 \times 1000+0,88 \times 100=120+88=208.$$

(2) ფორმულის შესაბამისად,

$$HB=\frac{80}{0,5}=160 \text{ კგ/მმ}^2=1600 \text{ მგპა},$$

სადაც 0,5 არის ფერიტისა და ცემენტიტის ფირფიტების გასაშუალოებული სისქის ქვედა ზღვარი პერლიტში.

2. განვსაზღვროთ სისაღე და სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე მომწვარი ფოლადისათვის, რომელიც 0,4% ნახშირბადს შეიცავს.

ამოხსნა:

გამოსაკვლევ ფოლადში მონაკვეთების წესით ან წრფივი მეთოდით წინასწარ უნდა განისაზღვროს ფაზათა პროცენტული შემცველობა. განსახილველი შემთხვევისათვის ეს მაჩვენებლები ასეთია: პერლიტი – 50%, ფერიტი – 50%. აქვე უნდა გავითვალისწინოთ პერლიტისა და ფერიტის სისაღის მნიშვნელობებიც.

ამრიგად, (1) ტოლობის საფუძველზე მიიღება:

$$HV=0,5 \times 100+0,5 \times 208=50+104=154.$$

რადგან $HB < 300$, $HB \approx HV$. ამიტომ, (3) ტოლობიდან გამომდინარე,

$$\sigma_{\text{აქს}}=0,36 HV=0,36 \times 154=55,44 \text{ კგ/მმ}^2=554,4 \text{ მგპა}.$$

3. განვსაზღვროთ თეთრი თუჯის სისაღე, რომელიც 3% ნახშირბადს შეიცავს.

ამოხსნის თანამიმდევრობა ასეთია:

თუ გავითვალისწინებთ, რომ რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამაზე ნახშირბადის ყოველ 1%-ს შეესაბამება 15% ცემენტიტი, საკვლევ თუჯში ფაზების შემცველობა ტოლი იქნება:

$$\text{ცემენტიტი}=15 \times 3=45\%;$$

$$\text{ფერიტი}=100-45=55\%.$$

(1) ტოლობის თანახმად,

$$HV=X_1Y_1+X_2Y_2=0,45 \times 1000+0,55 \times 100=505.$$

4. განვსაზღვროთ ფოლადის სისაღე, თუ თერმული დამუშავების შემდეგ მისი სტრუქტურა შედგება 10% ფერიტისა, 70% სორბიტისა და 5% ბენიტისაგან.

(1) ფორმულიდან გამომდინარე ვღებულობთ:

$$HV=X_1Y_1+X_2Y_2+X_3Y_3=0,10 \times 100+0,7 \times 300+0,05 \times 500=10+210+5=235.$$

სისაღის მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება დაახლოებით განისაზღვროს მოცემული მასალის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას. კერძოდ, სისაღისა და გაჭიმვისას სიმტკიცის ზღვარს შორის შემდეგი თანაფარდობა არსებობს:

ფოლადი:	სპილენძი, თითბერი, ბრინჯაო
120-175 HB – $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,34 \text{ HB}$;	მომწვარი: $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,55 \text{ HB}$;
175-450 HB – $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,35 \text{ HB}$.	ცივნაჭედი: $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,40 \text{ HB}$.

ალუმინი და მისი შენადნობები: 20-45 HB – $\sigma_{\text{აქს}} \approx (0,33 \div 0,36) \text{ HB}$;

დურალუმინი: მომწვარი – $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,36 \text{ HB}$;

წროთობისა და დაძველების შემდეგ – $\sigma_{\text{აქს}} \approx 0,35 \text{ HB}$.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

II საფეხური (მაგისტრატურა)

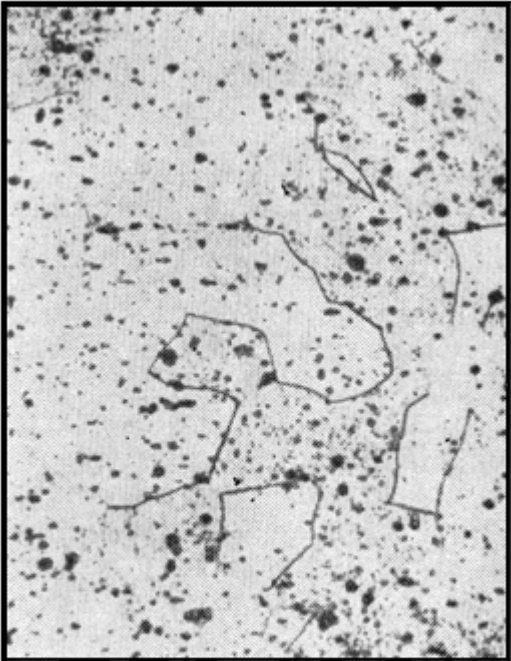
1. შეისწავლეთ საშუალონახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურა;
2. გამოთვალეთ სტრუქტურის შემდგენი ფაზების (სტრუქტურული შემდგენების) პროცენტული შემცველობა;
3. ფაზების (სტრუქტურული შემდგენების) სისაღეების მიხედვით გამოთვალეთ გამოსაკვლევი ფოლადის სისაღის საშუალო მნიშვნელობა;
4. სისაღის მახასიათებლების მიხედვით შეაფასეთ ლითონის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე და შეადარეთ შესაბამისი ცხრილის მონაცემებს;
5. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

VI. შპრადი ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურული კვლევა

ლაბორატორიული სამუშაო 23

ალუმინი და მისი შენადნობები

დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ ალუმინი ხასიათდება ერთგვაროვანი, მარცვლოვანი აგებულებით (23.1). მიკროანალიზით შესაძლებელია აგრეთვე გამოვლინდეს მავნე მინარევების არსებობა: $FeAl_3$ მუქი ფერის ნაერთის და სილიციუმის რუხი შეფერილობის ჩანართების სახით. ალუმინში რკინისა და სილიციუმის ერთდროულად არსებობის შემთხვევაში სტრუქტურაში შეინიშნება ალუმინის, რკინისა და სილიციუმის სამმაგი ნაერთები, რომელსაც დატოტვილი აგებულება აქვს. აღნიშნული ჩანართები ამცირებს როგორც ალუმინის, ისე მის ფუძეზე დამზადებული შენადნობების პლასტიკურობას.

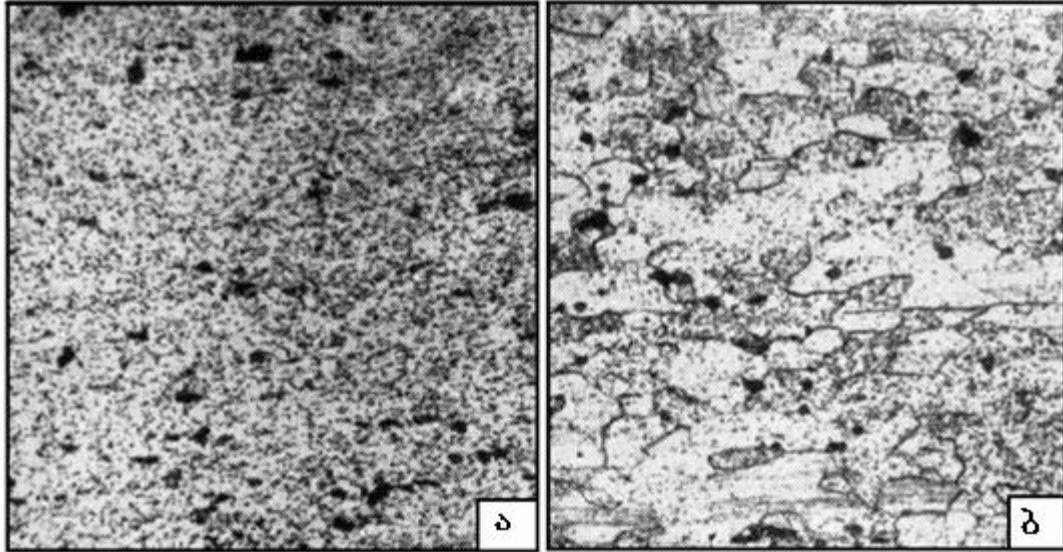


სურ. 23.1 მომწვარი ალუმინის მიკროსტრუქტურა $\times 300$

ალუმინის სამრეწველო შენადნობის (4%Cu) მიკროსტრუქტურა წონასწორულ (მომწვარ) მდგომარეობაში შედგება α მყარი ხსნარისა (სურ. 23.2, ა) და როგორც მყარ ხსნარში ხსნადი, მაგალითად $CuAl_2$ (მუქი შეფერილობის ჩანართები მიკროსტრუქტურაში), ისე უხსნადი, მაგალითად, Cu_2FeAl თეთრი შეფერილობის ჩანართებისგან.

უშუალოდ წრთობის ან წრთობისა და ბუნებრივი დაძველების შემდეგ სტრუქტურაში მუდგანდება გადაჯერებული α მყარი ხსნარის მარცვლები. სტრუქტურა შეიცავს აგრეთვე ალუმინის, რკინისა და სილიციუმის მყარ ხსნარში უხსნადი ნაერთების ჩანართებს (სურ. 23.2, ბ).

ორმაგი Al-Si სისტემის სამრეწველო სამსხმელო შენადნობი შეიცავს 12-13% სილიციუმს. ასეთი შენადნობი სტრუქტურის მიხედვით ზევეტექტიკურს მიეკუთვნება. მისი სტრუქტურა შედგება ნემსისებრი, უხეში Al+Si ევტექტიკისა და სილიციუმის პირველადი კრისტალებისგან (ნახ. 23.3 ა). ასეთი



სურ. 23.2 Al-Cu სისტემის შენადნობის (4%Cu) მიკროსტრუქტურა x300
 ა – მომწვარ მდგომარეობაში; ბ – წრთობის შემდეგ

სტრუქტურის მქონე შენადნობი ხასიათდება დაბალი მექანიკური თვისებებით.

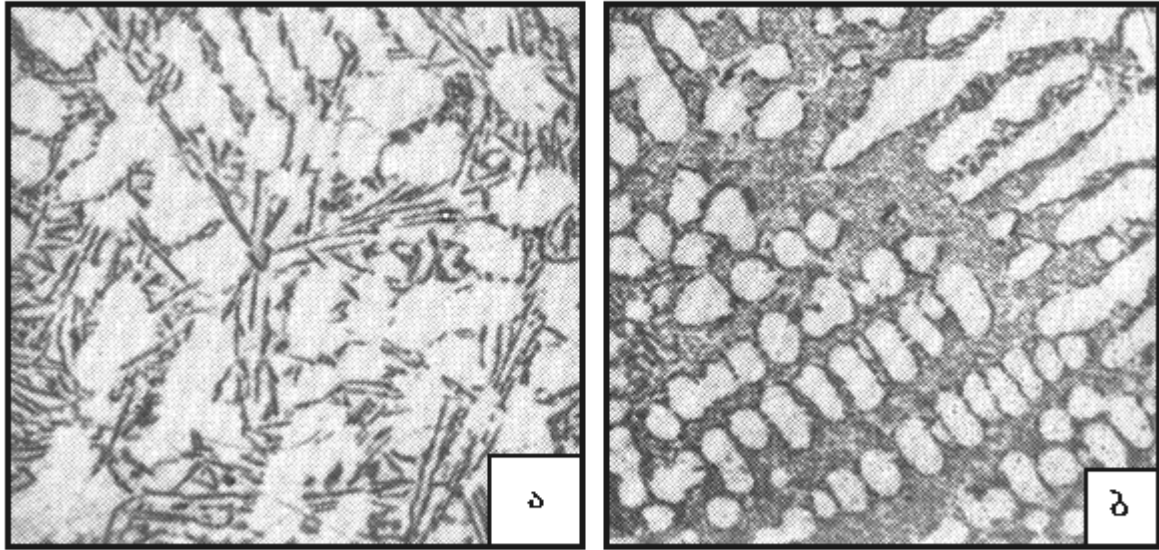
თხევად შენადნობში მცირე რაოდენობით (0,01-0,1%) ნატრიუმის ან ზოგიერთი სხვა ნივთიერების ($2/3\text{NaF}+1/3\text{NaCl}$) შეყვანა უზრუნველყოფს სილიციუმის ჩანართების მნიშვნელოვან დაწვრილმანებას და შენადნობის მექანიკური თვისებების გაუმჯობესებას. თავისებურება ისაა, რომ მოდიფიცირების შედეგად მცირდება ევტექტიკაში შემავალი სილიციუმის კრისტალიზაციის ტემპერატურა, ევტექტიკის წერტილი გადაადგილდება მარჯვნივ და შენადნობი ქვეევტექტიკური ხდება.

23.3, ბ სურათზე მოცემულია იმავე შენადნობის მიკროსტრუქტურა მოდიფიცირების შემდეგ. როგორც მიკროსტრუქტურის ხასიათიდან გამომდინარეობს, სტრუქტურა შედგენილია ალუმინში სილიციუმის α მყარი ხსნარის დენდრიტებისგან (ღია შეფერილობის ფაზა) და წვრილდისპერსიული აგებულების $\alpha+\text{Si}$ ევტექტიკისაგან.

დ ა ვ ა ლ ე ბ ა :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ Al-4%Cu შენადნობის მიკროსტრუქტურა მომწვარ მდგომარეობაში და წრთობის შემდეგ;



სურ. 23.3 Al-Si სისტემის შენადნობის (12-13% Si) მიკროსტრუქტურა მოდიფიკაციამდე (ა) და მოდიფიკაციის შემდეგ (ბ)

ჩატარეთ Al+12%Si შენადნობის მიკროსტრუქტურული ანალიზი მოდიფიკაციამდე და მოდიფიკაციის შემდეგ.

3. დაახასიათეთ გამოკვლეული მიკროსტრუქტურები და აღწერეთ მათ შორის განსხვავება;

4. აღწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. გამოიკვლიეთ Al+5%Cu შენადნობის მიკროსტრუქტურა მომწვარ მდგომარეობაში და წრთობის შემდეგ; Al-Cu შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამაზე დაყრდნობით აღწერეთ:

- ა – შენადნობის წონასწორული სტრუქტურის ჩამოყალიბების პირობები;
- ბ – წრთობის შედეგად სტრუქტურის ფორმირების თავისებურებანი და გარდაქმნების ხასიათი, რომელიც მოსალოდნელია ნაწრთობი შენადნობის ხელოვნური დაძველების დროს.

2. ჩატარეთ Al+12%Si შენადნობის მიკროსტრუქტურა მოდიფიკაციამდე და მოდიფიკაციის შემდეგ. ახსენით მოდიფიცირების გზით სტრუქტურული ცვლილების ხასიათი და მიზეზი.

3. აღწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 24

სპილენძი და მისი შენადნობები

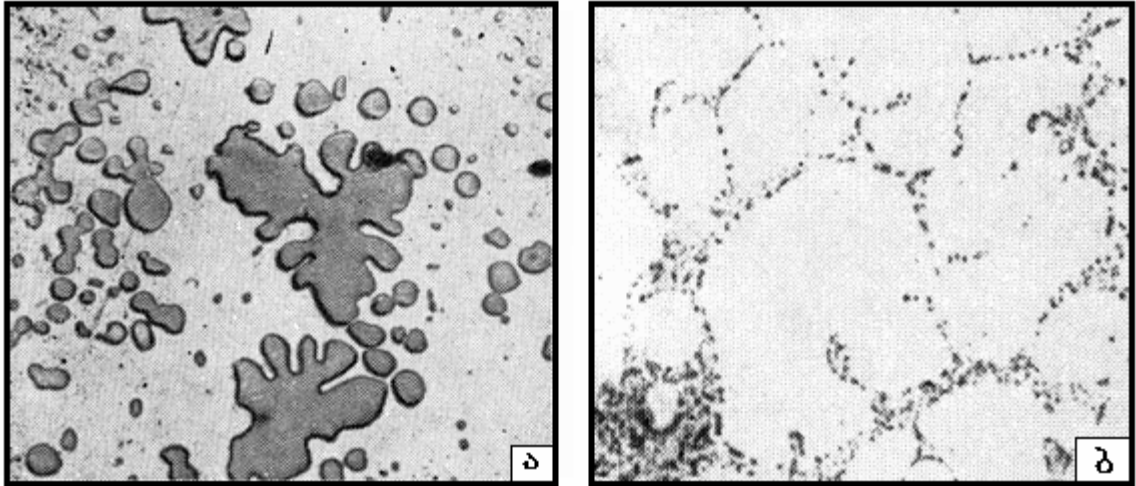
24.1. სპილენძის მიკროსტრუქტურა. მაღალი სისუფთავის სპილენძი, ისევე როგორც ყველა სუფთა ლითონი, სხმულ და მომწვარ მდგომარეობაში ხასიათდება პოლიედრული აგებულებით (სურ. 24.1, ა). დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ სტრუქტურაში წარმოიქმნება ორეულები (სურ. 24.1, ბ).



სურ. 24.1. სპილენძის მიკროსტრუქტურა
ა – სხმულ და მომწვარ მდგომარეობაში, x200
ბ – დეფორმირებულ და მომწვარ მდგომარეობაში, x100

ტექნიკურ სპილენძში შეიძლება არსებობდეს სხვადასხვა მანე მინარევი – ტყვია, ბისმუტი, ჟანგბადი, გოგირდი და სხვა. მათგან ყველაზე საშიში მინარევებია ტყვია და ბისმუტი. ტყვია იწვევს წითელმეტეხობას, ხოლო ბისმუტი – ცივმეტეხობას. სიმყიფის ეს სახეები იმით არის განპირობებული, რომ ტყვიისა და ბისმუტის მინარევები უპირატესად მარცვლის საზღვრებშია განლაგებული.

არასაკმარისად განუანგულ სპილენძში ჟანგბადი წარმოქმნის ევტექტიკას $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$, რომელიც მხოლოდ სხმულებში მუდავნდება (სურ. 24.2, ა). დეფორმაციის პროცესში ევტექტიკა იმსხვრევა და სტრუქტურაში მუდავნდება Cu_2O -ს განცალკევებული ჩანართები, რომლებიც ხშირად სპილენძის მარცვლის საზღვრებში განლაგდება (სურ. 24.2, ბ). ჩანართები ღია რუხი ან მოლურჯო შეფერილობით ხასიათდება.



სურ. 24.2. არასაკმარისად განფანტული სპილენძის მიკროსტრუქტურა
 ა – x250; ბ – x150

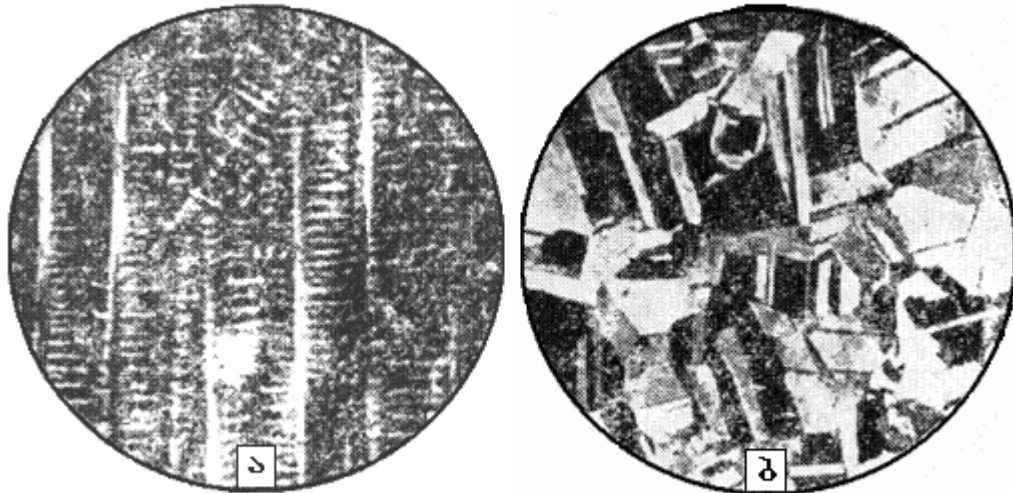
ჟანგბადის ჩანართები ამცირებს სპილენძის ელექტროგამტარობას და პლასტიკურობას ნორმალურ ტემპერატურაზე.

24.2. თითბრის მიკროსტრუქტურა. სხმული თითბრის (30%Zn) მიკროსტრუქტურა დენდრიტული აგებულებისაა (სურ. 24.3, ა). დენდრიტები (ღია შეფერილობის უბნები მიკროსტრუქტურაში) გამდიდრებულია სპილენძით, ხოლო დენდრიტშორისისიერცე, მუქი უბნები – თუთიით.

დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ სტრუქტურა გადადის პოლიედრულ აგებულებაში მისთვის დამახასიათებელი გაორებული კრისტალებით (ბ). მარცვლების სხვადასხვა ორიენტაციის გამო ისინი სხვადასხვა ინტენსივობით იწამლება, რის გამოც განსხვავებულ შეფერილობას ღებულობს.

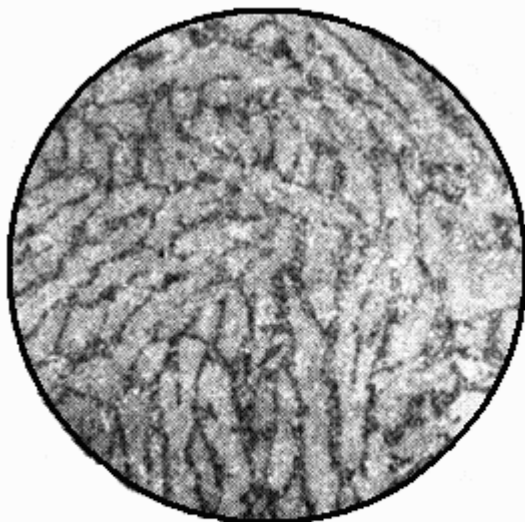
ტყვიის მინარევები ერთფაზა თითბერში უწყვეტი შუაშრის სახით არის განლაგებული, რაც მკვეთრად ამცირებს შენადნობის მექანიკურ თვისებებს. ორფაზა α+β თითბერში ისინი მარცვლის შიგნით ცალკეული იზოლირებული წარმონაქმნების სახით არიან, რაც არ იწვევს სიმყიფეს გახურებისას (ცხლადტეხადობას).

α+β თითბრის სტრუქტურაში α მყარი ხსნარის მარცვლებთან ერთად გვხვდება შედარებით მუქი შეფერილობის β ფაზის ჩანართები (სურ. 24.4).



სურ. 24.3 ა თითბრის მიკროსტრუქტურა

ა – სხმულ მდგომარეობაში x250; ბ – დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ x100



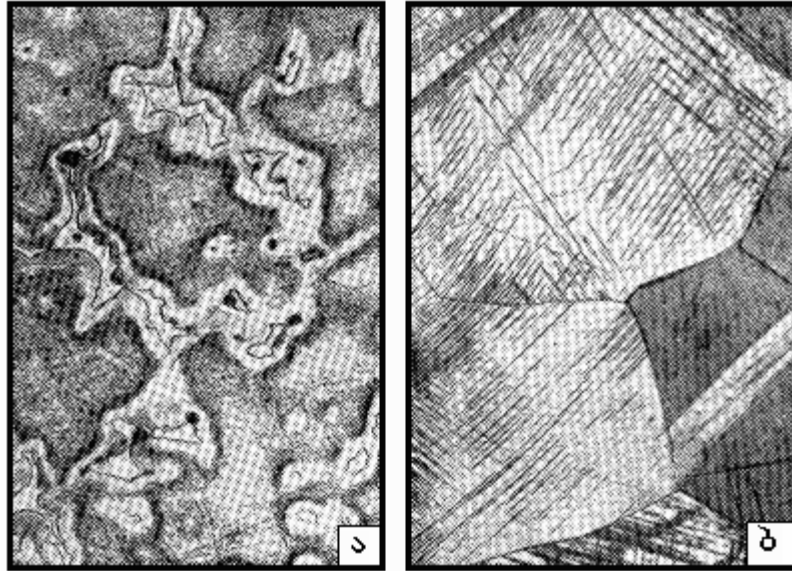
სურ. 24.4. სხმული $\alpha+\beta$ თითბრის მიკროსტრუქტურა, x150 თუთიის შემცველობა 40%

24.3. ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა.

კალიანი ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა ჩამოსხმის შემდეგ განსხვავებულია Cu-Sn მდგომარეობის დიაგრამის შესაბამისად ჩამოყალიბებული სტრუქტურისაგან. ბრინჯაო, რომელიც კალას შეიცავს 4-6%-ის რაოდენობით, α მყარ ხსნართან (ან α მყარი ხსნარისა და Cu_3Sn მეორად გამონაყოფებთან) ერთად მუდგანდება ($\alpha+Cu_{31}Sn_8$) ან ($\alpha+Cu_3Sn$) ევტექტოიდის უბნები (სურ. 24.5, ა). მუქი უბნები მიკროსტრუქტურაში α მყარი ხსნარია, ხოლო ღია შეფერილობის უბნები – ევტექტოიდი $\alpha+Cu_{31}Sn_8$. ასეთი სტრუქ-

ტურის წარმოქმნის მიზეზი ძლიერი ლიკვაცია და დიფუზიური პროცესების ნელი სიჩქარით მიმდინარეობაა.

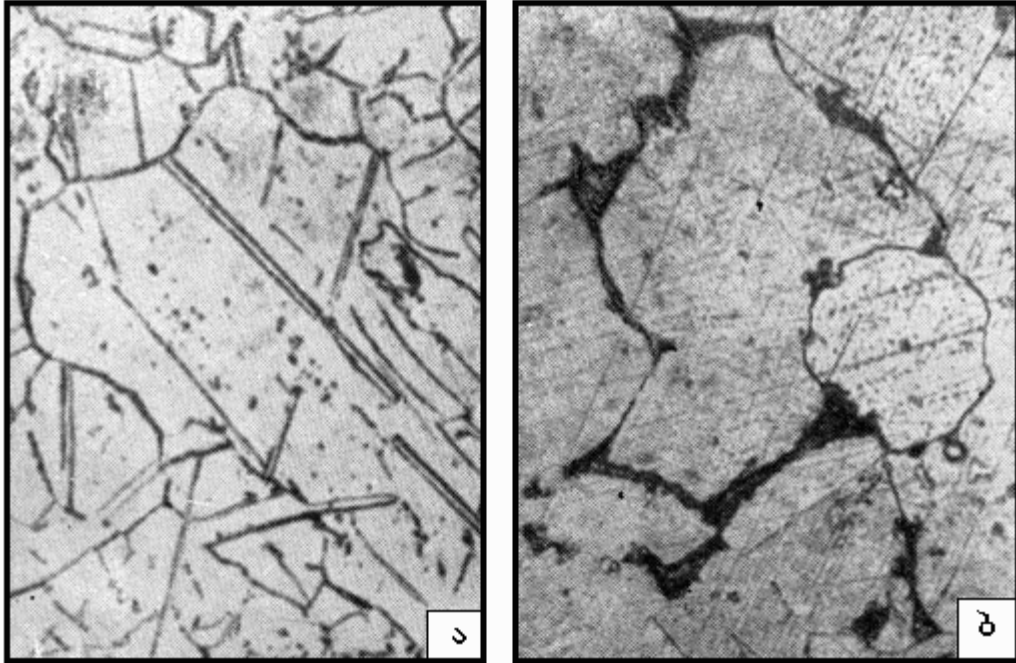
დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ შედგენილობა გათანაბრდება და ისეთი შენადნობიც კი, რომელიც 6-7% კალას შეიცავს, ერთფაზა ხდება. მიკროსკოპში იგი მოჩანს α მყარი ხსნარის პოლიედრული მარცვლების სახით (ბ).



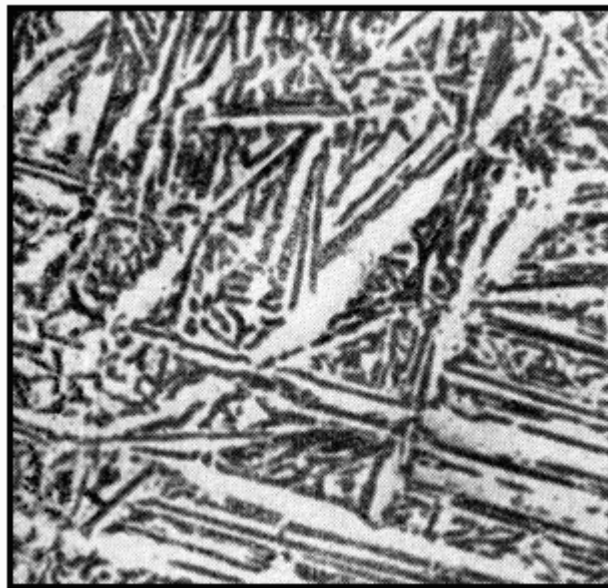
სურ. 24.5. ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა (6% Sn) x250
 ა – სხმულ მდგომარეობაში; ბ – დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ

ალუმინიანი ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა, რომელიც 9,8%-მდე ალუმინს შეიცავს, დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ შედგება α მყარი ხსნარის მარცვლებისაგან (სურ. 24.6, ა). ალუმინის რაოდენობის გაზრდით 9,8%-დან 15,2%-მდე α მყარი ხსნარის მარცვლებთან ერთად სტრუქტურაში მუდგანდება ევტექტოიდი ($\alpha+\delta$) (სურ. 24.6, ბ). აღნიშნული შენადნობების β მყარი ხსნარის არიდან წრთობით ფიქსირდება მარტენსიტული β' ფაზის ნემსისებრი კრისტალები (სურ. 24.7). ბრინჯაოში ნიკელისა და მანგანუმის დამატება არ იწვევს ახალი ფაზების წარმოქმნას, ხოლო რკინის დამატებით მუდგანდება რკინის შემცველი ფაზების ჩანართები.

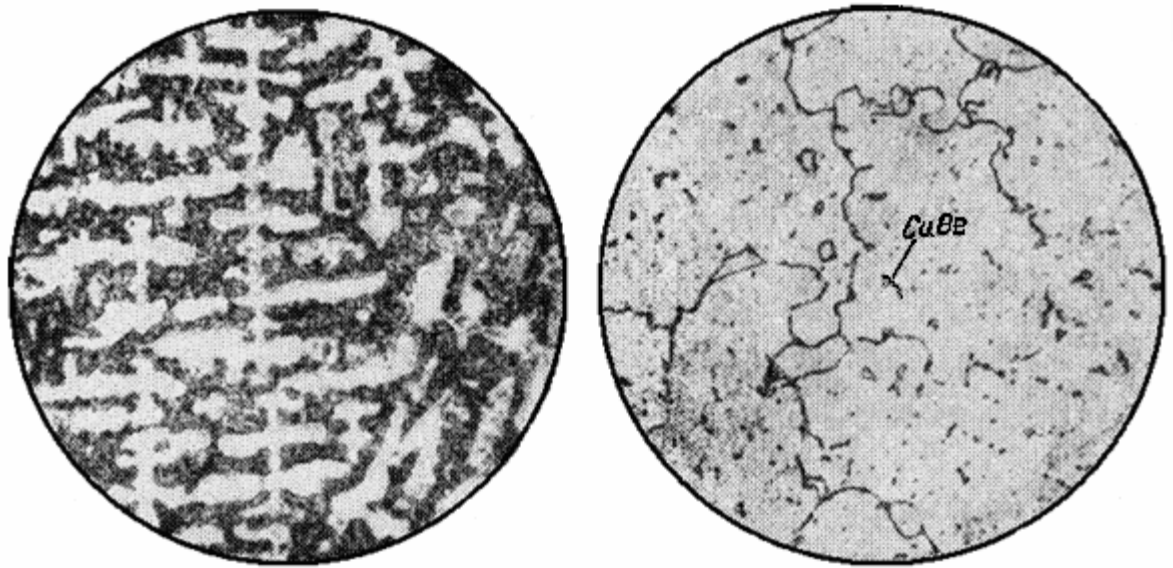
სხმული ბერილიუმიანი ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურაში α მყარი ხსნარის დენდრიტშორის არეში მოხანს $[\alpha+\gamma(\text{CuBe})]$ ევტექტოიდის ჩანართები (სურ. 24.8, ა). 800°C-დან წყალში წრთობის შედეგად ფიქსირდება α ფაზის არამდგრადი მდგომარეობა, ხოლო შემდგომი დაძველებით 300-350°C-ზე გადაჯერებული მყარი ხსნარიდან გამოიყოფა γ ფაზის (CuBe) ჩანართები, რომლებიც განლაგებული აღმოჩნდება როგორც α ფაზის მარცვლის საზღვრებში, ისე მარცვალში (სურ. 24.8, ბ).



სურ. 24.6. ალუმინიანი ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ x250
 ა - ერთფაზა (5% Al); ბ - ორფაზა ($\alpha+\beta$, 10%Al)



სურ. 24.7. ნაწრთობი ალუმინიანი ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა x500



სურ. 24.8. ბერილიუმის ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა
 ა - სხმულ მდგომარეობაში x150; ბ - წითობისა და დაძველების
 შემდეგ x250

დავალებათ:

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ სუფთა და უანგბადით დაბინძურებული სხმული სპილენძის მიკროსტრუქტურა და სათანადოდ ახსენით;
2. ჩატარეთ ერთფაზა და ორფაზა თითბრის მიკროსკოპული ანალიზი და ახსენით მათ შორის სტრუქტურული განსხვავების მიზეზი;
3. გამოიკვლიეთ კლასიკური ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა სხმულ მდგომარეობაში, დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ და სათანადოდ ახსენით;
4. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

II საფეხური (მაგისტრატურა)

1. შეისწავლეთ ერთფაზა თითბრის მიკროსტრუქტურა სხმულ მდგომარეობაში და დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ.
 მიუთითეთ: ა - სხმული თითბრის სტრუქტურის თავისებურებანი;
 ბ - არაერთგვაროვანი სტრუქტურის ჩამოყალიბების მიზეზი ჩამოსხმის შემდეგ;

გ – აღწერეთ დეფორმაციისა და მოწვის დროს მიმდინარე პროცესები, რომელიც უზრუნველყოფს თითბრის სტრუქტურის შეცვლას სხმულ მდგომარეობასთან შედარებით.

2. ჩაატარეთ 4-6% კალის შემცველი ბრინჯაოს მიკროანალიზი სხმულ, დეფორმირებულ და მომწვარ მდგომარეობაში.

მიუთითეთ: ა – სხმული სტრუქტურის თავისებურება და Cu-Sn დიაგრამაზე დაყრდნობით ახსენით მიკროანალიზით გამოქვეყნებული არაერთგვაროვნების მიზეზი;

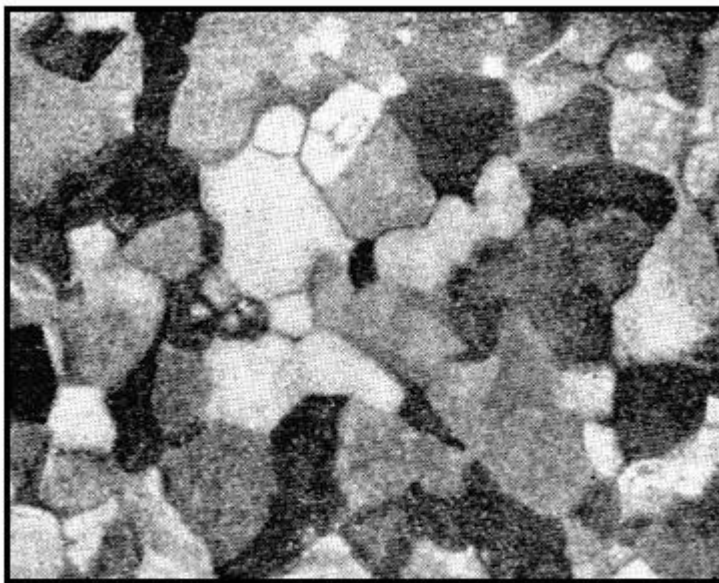
ბ – ამავე ბრინჯაოს სტრუქტურის ცვლილების ხასიათი და მიზეზი დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ.

3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლაბორატორიული სამუშაო 25

ტიტანისა და მისი შენადნობების მიკროსტრუქტურა

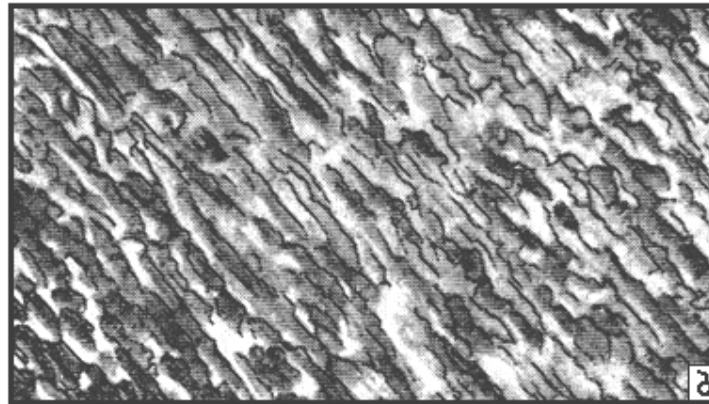
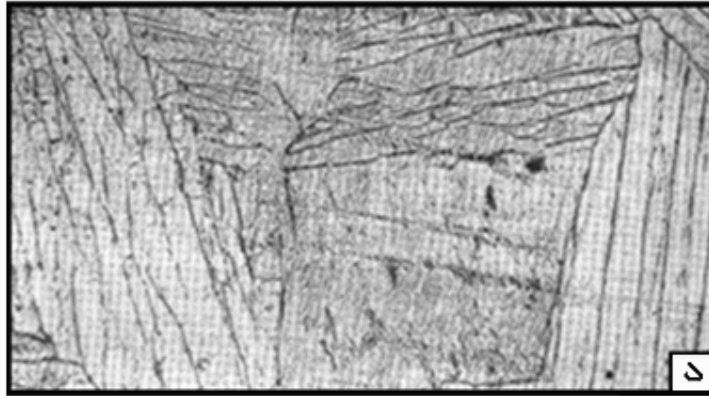
ტექნიკური ტიტანის მიკროსტრუქტურა დეფორმაციისა და მოწვის შემდეგ ხასიათდება მარცვლოვანი აგებულებით (სურ.25.1).



სურ. 25.1. დეფორმირებული და მომწვარი ტიტანის მიკროსტრუქტურა. α ფაზის წონასწორული მარცვლები $\times 200$

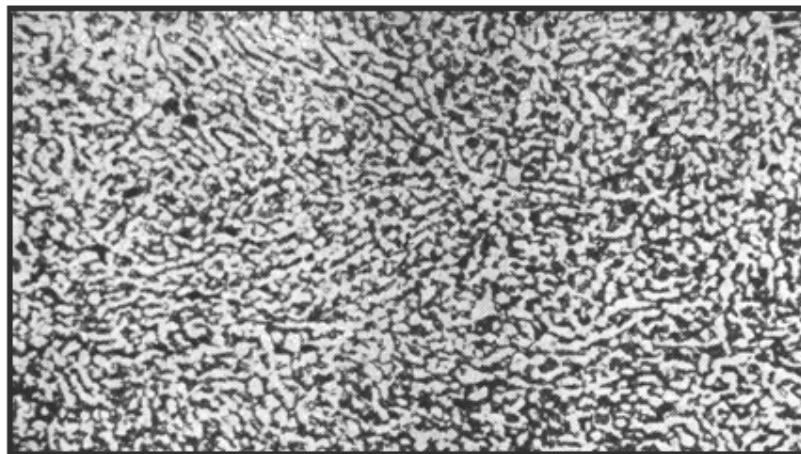
ტექნიკაში გამოყენებული ტიტანის შენადნობების სტრუქტურა ძირითადად შედგება ან ერთფაზა α მყარი ხსნარისგან (ნახ. 25.2, ა), ან მიეკუთვნება ორფაზა, $(\alpha+\beta)$ შენადნობებს (ბ).

წონასწორულ მდგომარეობაში ორფაზა $(\alpha+\beta)$ სტრუქტურის მქონე შენადნობების (სურ. 25.3) სტრუქტურა ერთფაზა β არიდან წრთობის შემდეგ შედგება ორი მეტასტაბილური ფაზისაგან – ნემსისებრი α' მარტენსიტისა და β ფაზისაგან, ხოლო β სტაბილიზატორების დიდი რაოდენობით შემცველობის შემთხვევაში – მხოლოდ მეტასტაბილური β ფაზისაგან (სურ. 25.4).

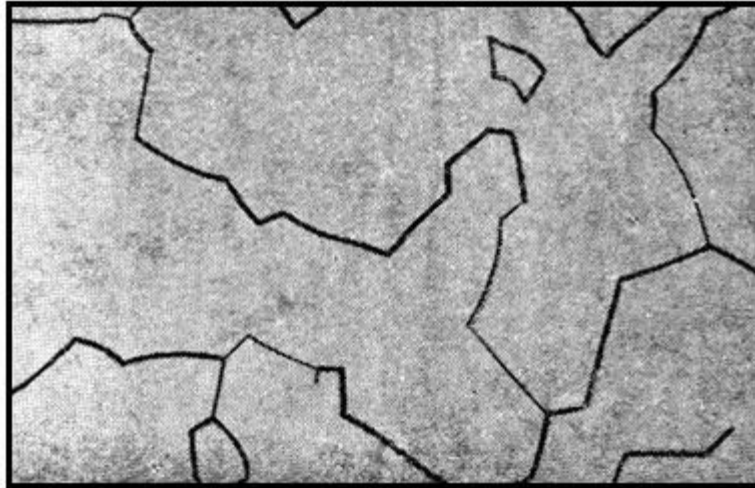


სურ. 25.2. ტიტანის შენადნობების მიკროსტრუქტურა:

ა - α მყარი ხსნარი $\times 400$; ბ - ტიპური ორფაზა ($\alpha+\beta$) შენადნობი $\times 800$. რუხი ფერის მარცვლები - α ფაზა ღია შეფერილობის არეები - β ფაზა



სურ. 25.3. ორფაზა ($\alpha+\beta$) შენადნობის მიკროსტრუქტურა მოწევის შემდეგ $\times 800$



სურ. 25.4. სტაბილიზებული β ფაზა
წითლის შემდეგ $\times 200$

დაგება :

I საფეხური (ბაკალავრიატი)

1. გამოიკვლიეთ ტიტანისა და მისი ორფაზა შენადნობის მიკროსტრუქტურა წონასწორულ მდგომარეობაში და წითლის შემდეგ;
2. ახსენით სტრუქტურის ჩამოყალიბების პირობები;
3. დაწერეთ ჩატარებული სამუშაოს ანგარიში.

ლიტერატურა

1. მ. ოქროსაშვილი, ი. ჯანელიძე. მეტალოგრაფიული კვლევის მეთოდები. თბილისი: სტუ, 1992, გვ. 99.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А. Г. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи). М.: Металлургия, 1983, 384 с.
3. Мозберг Р.К. Материаловедение. Пособие для самостоятельной работы и контроля текущей успеваемости. М: Высшая школа, 1976, 126 с.
4. Фрактография и атлас фрактограмм. Справочник. Перевод с англ. Е.А. Шура под редакцией М.Л. Бернштейна. М.: Металлургия, 1982. 489 с.
5. მ. ოქროსაშვილი, გ. გოგოლაძე. მასალათმცოდნეობა. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2008. – 262. გვ.
6. მ. ოქროსაშვილი, მეტალოგრაფია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2008.– 304. გვ.

ს ა რ ჩ ე გ ი

I. ლითონის აგებულების შესწავლა მაკროსკოპული და ფრაქტოგრაფიული ანალიზის მეთოდებით. 3

 ლაბორატორიული სამუშაო №1. ტეხილის მაკროანალიზი 4

 ლაბორატორიული სამუშაო №2 შლიფის მაკროანალიზი 9

 2.1. დეფექტებისა და სტრუქტურის გამომჟღავნება ლითონებში
 ზედაპირული და ღრმად ამოჭმის მეთოდებით 9

 2.2. ელემენტების განაწილების არაერთგვაროვნების (ლიკვაციის)
 გამომჟღავნება ფოლადში. 15

 ლაბორატორიული სამუშაო №3. კრისტალიზაციის პროცესის შესწავლა.
 ფოლადის ზოდის აგებულება. 19

II. მიკროსკოპული ანალიზი 22

 ლაბორატორიული სამუშაო №4. მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის
 გაცნობა და მასზე მუშაობის პრაქტიკული გამოცდილების შექმნა 24

 ლაბორატორიული სამუშაო №5. ნიმუშის მომზადება მიკროსკოპული
 კვლევისათვის. 37

 ლაბორატორიული სამუშაო №6. მიკროსტრუქტურის გამომჟღავნების
 მეთოდები. 45

 6.1. მიკროხეხის გამოკვლევა მოწვამლავ მდგომარეობაში 45

 6.2. მიკროსტრუქტურის გამოკვლევა ფაზების შერჩევითი გახსნის მეთოდით
 (ქიმიური მოწვამლვა) 45

 6.3. ელექტროლიტური მოწვამლვა 49

 6.4. ამოჭმა დაუანგვის მეთოდით 49

 6.5. ვაკუუმში ამოჭმა ფაზების შერჩევითი აორთქლების მეთოდით 50

 6.6. ვაკუუმური კათოდური ამოჭმა 50

 ლაბორატორიული სამუშაო №7. ცინაჭედი და რეკრისტალიზებული
 ლითონის მიკროსტრუქტურული კვლევა 52

 ლაბორატორიული სამუშაო №8. მიკროსკოპული ობიექტის კვეთის
 ხაზობრივი ზომების დადგენა 55

 ლაბორატორიული სამუშაო №9. შენადნობის მოცულობითი ფაზური
 შედგენილობის განსაზღვრა წრფივი მეთოდით 62

 ლაბორატორიული სამუშაო №10. შენადნობის სტრუქტურული
 შედგენილობის განსაზღვრა წერტილოვანი მეთოდით 65

III. ტემპერატურის გაზომვის მეთოდები	71
ლაბორატორიული სამუშაო №11	78
11.1. თერმოელექტრული პირომეტრის დაგრადუირება	78
11.2. თერმოელექტრული პირომეტრის შესწორების სიდიდის განსაზღვრა	81
ლაბორატორიული სამუშაო №12. შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის აგება	83
IV. სისხლის განსაზღვრის მეთოდები	88
ლაბორატორიული სამუშაო №13	89
13.1. სისხლის განსაზღვრა ბურთულას ჩაწნეხის მეთოდით (ბრინჯის ხერხი)	89
13.2. სისხლის განსაზღვრა კონუსის ან ბურთულას ჩაწნეხის მეთოდით (როკველის ხერხი)	94
13.3. სისხლის განსაზღვრა აღმასის პირამიდის ჩაწნეხით (ვიკერსის ხერხი)	98
ლაბორატორიული სამუშაო №14. მიკროსისხლის განსაზღვრა	103
V. რკინა-ნახშირბადის შენადნობების სტრუქტურული კვლევა	110
ლაბორატორიული სამუშაო №15. ნახშირბადიანი ფოლადების მიკროსტრუქტურის კვლევა წონასწორულ მდგომარეობაში	110
15.1. ტექნიკურად სუფთა რკინის მიკროსტრუქტურა	111
15.2. ქვევტექტოიდური და ევტექტოიდური ფოლადების მიკროსტრუქტურა	112
15.3. ზეევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა	114
15.4. ნახშირბადის შემცველობის განსაზღვრა ფოლადში მეტალოგრაფიული მეთოდით	115
ლაბორატორიული სამუშაო №16. თეთრი თუჯის მიკროსტრუქტურის კვლევა	117
ლაბორატორიული სამუშაო №17. რუხი, ჭედადი და მაღალი სიმტკიცის თუჯების მიკროსტრუქტურის კვლევა	120
17.1. რუხი თუჯის მიკროსტრუქტურა	120
17.2. მაღალი სიმტკიცის თუჯის მიკროსტრუქტურა	123
17.3. ჭედადი თუჯის მიკროსტრუქტურა	125
17.4. სტრუქტურის ფორმირება ჭედად თუჯში	126
17.5. გარდამავალი თუჯის მიკროსტრუქტურა	128
ლაბორატორიული სამუშაო №18. აუსტენიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურული კვლევა	130

ლაბორატორიული სამუშაო №19. მარტენსიტული სტრუქტურის კვლევა ფოლადში	133
ლაბორატორიული სამუშაო №20. ბეინიტური სტრუქტურის კვლევა ფოლადებში	137
ლაბორატორიული სამუშაო №21. მარტენსიტის დაშლის პროდუქტების მიკროსტრუქტურის კვლევა	139
ლაბორატორიული სამუშაო №22. ზოგიერთი მექანიკური თვისების განსაზღვრა ფოლადებსა და თუჯებში მათი სტრუქტურის მიხედვით . .	142
VI. ფერადი ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურული კვლევა	145
ლაბორატორიული სამუშაო №23. ალუმინი და მისი შენადნობები	145
ლაბორატორიული სამუშაო №24. სპილენძი და მისი შენადნობები	148
24.1. სპილენძის მიკროსტრუქტურა	148
24.2. თითბერის მიკროსტრუქტურა	149
24.3. ბრინჯაოს მიკროსტრუქტურა	150
ლაბორატორიული სამუშაო №25. ტიტანისა და მისი შენადნობების მიკროსტრუქტურა	155
ლიტერატურა.	158

რედაქტორი მ. ბაზაძე

გადაეცა წარმოებას 06.06.2012. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 21.01.2013. ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 10. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

