

სსიპ სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური  
ცენტრი "დელტა"

**ლითონური მასალების მექანიკური  
თვისებების მახასიათებლები და მათი  
განსაზღვრის მეთოდები**

**ომარ შურაძე**

აკადემიური დოქტორი

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის  
ბ.ნიჟოლაძის სახელობის კრემიის ლაურეატი

თბილისი  
2014

წიგნში მოცემულია ლითონური მასალების, ნაწარმებისა და კონსტრუქციების მექანიკური თვისებების კვლევის მიზნები და დანიშნულებები. დასაბუთებულია მათი ხარისხის სხვადასხვა მეთოდით კონტროლისა და გამოკვლევის აუცილებლობა. განხილულია დრეკადობის, პლასტიკურობის, განმტკიცების, რღვევის და ლითონური მასალების სხვა დამახასიათებელი თვისებების თეორიული ასპექტები. აღწერილია მექანიკური თვისებების კვლევის მეთოდები და საშუალებები.

ნაშრომი განკუთვნილია ლითონური მასალების მექანიკური თვისებებით დაინტერესებული ლითონმცოდნეების, ინჟინერ-მექანიკოსების, კონსტრუქტორების, მეცნიერების, ქარხნებსა და საგამოცდო ლაბორატორიებში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალის, უმაღლესი სკოლის პედაგოგების, დოქტორანტების, მაგისტრანტებისა და მაღალი კურსის სტუდენტებისათვის.

**რედაქტორები:** **მერაბ რატიშვილი** აკადემიური დოქტორი  
**თამაზ ნატრიაშვილი** ტექნ. მეცნ. დოქტორი  
საქართველოს ეროვნული პრემიის ლაურეატი  
**თეიმურაზ ნამიჩიშვილი** ტექნ. მეცნ. დოქტორი

**რეცენზენტები – ანატოლი ოქლინი** აკადემიური დოქტორი

**გამოცემის რედაქტორი – სინანო თოდუა-ქარტოზია**

**კომპიუტერული უზრუნველყოფა: პაატა ქორქიასი**

ISBN.....

© ო. შურაძე, 2014

# შინაარსი

ავტორისაზიანი	5
შესავალი	9
<b>თაზი I. ლითონური მასალები და მათი ძირითადი თვისებები</b>	
<b>თვისებები</b>	12
1.1 ლითონური მასალების ზოგადი დახასიათება	12
1.2 ლითონური მასალების ფიზიკური თვისებები	21
1.3 ლითონური მასალების ქიმიური თვისებები	27
1.4 ლითონური მასალების ტექნოლოგიური თვისებები	34
1.5 ლითონური მასალების საექსპლოატაციო თვისებები	41
<b>თაზი II. ლითონური მასალების მემანიკური თვისებების ზოგადი დამოკლება</b>	50
2.1 დრეკადობა, ჰუკის ელემენტარული კანონი	50
2.2 დრეკადი მდგომარეობის დახასიათებლები	53
2.3 მასალების დრეკადობის რაოდენობრივი დახასიათებლები	57
2.4 არადრეკადი მოვლენები	61
2.5 ლითონების პლასტიკურობა	83
2.6 ლითონების სიმტკიცე	102
2.7 რღვევა და რღვევის პროცესის ფიზიკური არსი	116
2.8 რღვევის მექანიზმი	121
2.9 პოლიკრისტალური მასალების რღვევა	129
2.10 ლითონების სიბლანტე	144
2.11 ლითონების სისაღე	148
<b>თაზი III. ლითონური მასალების გარეგანი მემანიკური დამოკლება</b>	150
3.1 მექანიკური დამოკლების სახეები	150
3.2 ლითონური მასალების პირობითი მაკრომექანიკური თვისებები	152
<b>თაზი IV. ძაბვა და დეფორმაცია</b>	161
4.1 დამოკლება-დეფორმაციისას პოლიკრისტალურ ლითონებში მიმდინარე შინაგანი ცვლილებები და ამ ცვლილებებზე დეფორმირების პირობების გავლენა	161
4.2 ლითონების დამბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დახასიათება	165
4.3 ძაბვები და დეფორმაციები	173
4.4 დენადობის კბილი და დენადობის ბაქანი	182
4.5 ნარჩენი ძაბვები	193

<b>თაზო V. ლითონური მასალების მექანიკური გამოცდები</b> ..	199
5.1 მასალების გამოცდის ზოგადი დახასიათება .....	199
5.2 ლითონური მასალების მექანიკური გამოცდების დანიშნულება და ძირითადი ტიპები .....	202
5.3 ზოგადი მოთხოვნები მექანიკური გამოცდების ნიმუშებზე .....	211
5.4 გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშების ფორმა, მათი დამზადების წესები, გამოცდის პირობები და თავისებურებები .....	215
5.5 გაჭიმვაზე ლითონური მასალების მექანიკური მახასიათებლების პრაქტიკული განსაზღვრის თავისებურებები .....	225
5.6 ერთდერძა გაჭიმვის ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამა .....	228
5.7 კუმშვაზე სტატიკური გამოცდა, გამოსაცდელი ნიმუშების ფორმა და ზომები .....	247
5.8 გრეხა .....	256
5.9 ღუნვა .....	272
5.10 ღუნვაზე გამოცდა .....	278
5.11 დარტყმითი სიბლანტე .....	285
5.12 დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა .....	293
5.13 ჭრა და ჭრის დეფორმაციები .....	296
5.14 ჭრაზე გამოცდა .....	301
5.15 მექანიკური თვისებების გამოყენებითი მნიშვნელობა .....	305
5.16 სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა მექანიკურ თვისებებზე და ამ თვისებების ურთიერთკავშირი .....	312
<b>თაზო VI. რღვევის სიბლანტე (ბზარმდეგობა)</b> .....	316
6.1 სიმტკიცისა და რღვევის ზოგადი მიმოხილვა .....	316
6.2 რღვევის მექანიკა .....	333
6.3 რღვევის სიბლანტე .....	355
6.4 ბზარმდეგობაზე გამოცდა .....	361
6.5 რღვევის მექანიკის პრინციპებზე დაფუძნებული დაპროექტება .....	371
<b>თაზო VII. საცდელი მანქანები</b> .....	375
<b>ლექსიკონი</b> .....	389
<b>გამოყენებული ძირითადი ლიტერატურა</b> .....	398

უქმენი ჩემი შშობლების ნათელ სსოენას,  
რომელთა ნატება მუდამ თან ძღვეს  
და მასსენებს მათი ცხოვრების წესს:  
შრომისა და ღირსების პატეისტკმას

## ავტორისაბან

წიგნი წარმოადგენს ჩვენი ჩანაფიქრის ერთ-ერთ ნაწილს, რომელიც ითვალისწინებს, რომ არაორგანული მასალების კვლევებით დაკავებულ სპეციალისტებს მიაწოდოს ლითონური მასალების თვისებების კვლევის ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდები ქართულ ენაზე. ამდენად, იგი წარმოადგენს ამ მიმართულებით გამოცემული–წიგნების–CTP–ფიზიკურ-ქიმიური სისტემების წონასწორული მდგომარეობის ცვლადი პარამეტრებისა და დიფრომეტრის–ორგანულ გაგრძელებას.

მასალების მექანიკურ თვისებებს მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალი დარგი იკვლევს. თითოეულს ამ საკითხისადმი საკუთარი პოზიცია და მიდგომა აქვს: მაგ., მათემატიკა დრეკადობის, პლასტიკურობის და ცოცვადობის თეორიის შესწავლისას სხეულს განიხილავს როგორც მასიურ და უწყვეტ გარემოს; მყარი ტანის ფიზიკა, პირიქით, ითვალისწინებს ატომურ სტრუქტურას და განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს წონასწორობიდან მის გადახრას (დამახინჯებას), რასაც შეისწავლის დისლოკაციური და ვაკანსიური თეორიების საფუძველზე; ლითონმცოდნეობა ითვალისწინებს მიკროსტრუქტურას და მის ცვლილებებს; ფიზიკურ-

ქიმიური მექანიკა კი სწავლობს გარემოს გავლენას დეფორმირებად მასალაზე და ა.შ.

მექანიკური თვისებების მახასიათებლები არ წარმოადგენენ მასალის მუდმივას. ისინი მნიშვნელოვნად არიან დამოკიდებული მასალის სტრუქტურაზე, შედგენილობაზე, გამოსაცდელი ნიმუშის ფორმაზე, ზომასა და ჩამაგრების სახეზე, გარე ზემოქმედების მექანიკურ, ტემპერატურულ, მაგნიტურ, დასხივების, კოროზიულ და ა.შ. პირობებზე. უცვლელ ტემპერატურაზე გამოცდილი ერთი და იგივე მასალა შეიძლება იყოს მყიფე ან პლასტიკური, მგრძობიარე ან არამგრძობიარე ჩანაჭერისა და წინასწარჩასახული ბზარის მიმართ და ა.შ.

ლითონური მასალების მექანიკური თვისებები წარმოადგენს ცენტრალურ დისციპლინას არა მხოლოდ ლითონთმცოდნეებისა და ლითონთა თერმული დამუშავების სპეციალისტთა მომზადების, არამედ მასალათმცოდნეების, მექანიკოსების და ლითონკონსტრუქციების გაანგარიშებებითა და აგებით დაკავებული ინჟინერ-სპეციალისტებისათვისაც. ვვარაუდობთ, მკითხველი გარკვეულია ისეთ ცნებებში, როგორიცაა: დატვირთვა, ძაბვა, დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები, მუშაობა, ენერგია, ლითონების ატომურ-კრისტალური აღნაგობა, ნაწილაკებს შორის კავშირის სახეები მყარ სხეულებში, ლითონების ძირითადი ფიზიკური და ქიმიური თვისებები და მისთ. მიუხედავად აღნიშნული მოლოდინისა, წიგნში მაინც არის მრავალი ახსნა და მინიშნება.

მექანიკური თვისებების აღსაქმელად აუცილებელია ამ თვისებების ფიზიკური საფუძვლების გააზრება. აქედან გამომდინარე, ხშირად მივმართავთ თვისებების ფიზიკური არსის მოკლე გადმოცემას. წიგნში განხილულია არა კონ-

კრეტული შენადნობის მექანიკური თვისებები, არამედ მათი ქცევის კანონზომიერებები, მექანიკური თვისებების ფიზიკური საფუძვლები. ბუნებრივია, ატომურ, მიკროსკოპულ თუ მაკროსკოპულ მოცულობებში, ფაზათა საზღვრებზე მიმდინარე პროცესები და ა.შ. ართულებს მექანიკური თვისებების შესახებ მეცნიერულ კვლევებს და პრაქტიკაში ასეთი გართულებების გვერდის აგლა შეუძლებელია. ამიტომ რეალურ პირობებში მასალების ურთიერთშედარებისას ან კონსტრუქციისათვის სასურველი მასალის არჩევისას, აღნიშნული ფაქტორების გაუთვალისწინებლობა მცდარი მეცნიერული და პრაქტიკული დასკვნების გაკეთების მიზეზი ხდება.

მიუხედავად იმისა, რომ მანქანათმშენებლობა და მეტალურგია ქვეყნის მრეწველობის მნიშვნელოვან დარგებს წარმოადგენს, ლითონური მასალების მექანიკური თვისებებისა და მათი კვლევის მეთოდების შესახებ ლიტერატურა ქართულ ენაზე, ფაქტობრივად არ არსებობს. სწორედ ამიტომ განვიზრახეთ საქართველოში მოღვაწე მასალათმცოდნეებს, ლითონთმცოდნეებს, მექანიკოსებს და სხვა სპეციალისტებს ქართულ ენაზე, შემოკლებულად, ზედმეტი დეტალიზაციის გარეშე, (ლიტერატურული წყაროების ანალიზისა და კომპიუტერული ძებნის სისტემა გუგლის უახლესი მონაცემების საფუძველზე), მივაწოდოთ თანამედროვე მეცნიერული მიდგომები პოლიმერისტალური ლითონური მასალების მაკრომექანიკური თვისებების შესახებ. ამასთან, გავაცნოთ ამ თვისებების კვლევის თანამედროვე მეთოდები და საკვლევი აპარატურა. ამიტომ ტექსტში გამოყენებული გვაქვს ორნაირი შრიფტი: ძირითადი მასალისათვის – შედარებით მსხვილი, ხოლო დამატებითი და საცნობარო მასალებისათვის შედარებით წვრილი. ვიმედოვნებთ, წიგნი დიდად დაეხმარება მეცნიერებს, სასწავ-

ლო პროცესებით დაკავებულ პედაგოგებსა და წარმოებაში მომუშავე სპეციალისტებს, რადგან იგი, მცირე მოცულობის მიუხედავად, ეხება და აშუქებს ყველა ძირითად მექანიკურ თვისებას და მათი შესწავლის სტანდარტულ მიდგომებს. ვფიქრობთ, წიგნი დიდ სამსახურს გაუწევს ასევე ლითონური ნაწარმის ხარისხის კონტროლის სფეროში მოღვაწე ქართველ ინჟინერ-ტექნიკურ სპეციალისტთა ფართო სპექტრს. ვიმედოვნებთ, რომ ნაშრომი ინტერესს გაუღვიძებს ამ დარგის სპეციალისტებს და მოხდება მასალების მექანიკური თვისებების მახასიათებლების კიდევ უფრო ღრმა ანალიზი.

სასიამოვნო მოვალეობად მიმაჩნია მადლობა გადავუხადო ქალბატონ ცისანა თოდუა-კარტოზიას, ბატონებს – მერაბ რატიშვილს, თამაზ ნატრიაშვილს, თეიმურაზ ნამიჩეიშვილს, ანატოლი ოკლეის (წიგნის რედაქტირებისა და რეცენზირებისათვის), პაატა ქორქიას, ჯონი ალანის და ირაკლი ლავგილავას (წიგნის გაფორმების დროს გაწეული მეგობრული დახმარებისათვის).

## შესავალი

ლითონური მასალების მექანიკური თვისებების მახასიათებლები გამოიყენება მეტალურგიული წარმოების პროდუქციის ხარისხის მასობრივი კონტროლის და საკონსტრუქტორო-გამოთვლითი საქმიანობისას. კონსტრუქციების და დეტალების გაანგარიშების დროს აუცილებლად ითვალისწინებენ მასალების მექანიკური თვისებების სხვადასხვა მახასიათებელს, რაც ლითონებისა და შენადნობების მექანიკური თვისებების ცოდნას მოითხოვს. ლითონური მასალების მექანიკური თვისებები კი დამოკიდებულია ისეთ პარამეტრებზე, როგორცაა: ქიმიური შედგენილობა, სტრუქტურული მდგომარეობა და სტრუქტურის ერთგვაროვნობა, მათგან მინარევებისა და არალითონური ჩანართების არსებობა და მისთ. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ფოლადისა და შენადნობის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წარმოებისა და დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესების პარამეტრებიც.

მეტალურგიული წარმოების პროდუქციის კონტროლი იწყება ქარხანაში: მადნის, სათბობის, ფეროშენადნობების და ფოლადების წარმოებისათვის აუცილებელი სხვა მასალების მიწოდების მომენტიდან. წარმოების სხვადასხვა სტადიაზე, სტადიის შესაბამისი და კონტროლის განსხვავებული მეთოდები გამოიყენება. წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის დასრულების შემდეგ ლითონები და შენადნობები, მათი მექანიკური თვისებების განსაზღვრის მიზნით, გამოიცდება სხვადასხვა მეთოდით. მექანიკური თვისებების შეფასება ხდება სიმტკიცის ზღვრით, დენადობის ზღვრით, ნიმუშის წაგრძელებით (გაწვევების შემდეგ), სისალით, დარტყმითი სიბლანტით და სხვ. ლითონის წარმოების პროცესები (კაზმის მომზადებიდან, საგლინავ დგანზე ან სხვა მანქა-

ნაზე, ლითონური ნამზადებისთვის აუცილებელი ზომებისა და ფორმების მიცემამდე) აისახება მექანიკურ თვისებებზე.

მომხმარებელს ქარხნიდან, ლითონთან ერთად, მიეწოდება მისი მექანიკური თვისებების მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობები. მომხმარებელი ამ მონაცემებით საზღვრავს ლითონის ვარგისიანობას კონსტრუქციის მუშაობის კონკრეტული პირობებისთვის. მექანიკური გამოცდების ლაბორატორიული მეთოდები, შეძლებისამებრ, ლითონის ”სასამსახურო” თვისებებს უნდა აღაწარმოებდეს და ხასიათდებოდეს მეტალურგიული ქარხნის პროდუქციის ხარისხის მასობრივი კონტროლისთვის აუცილებელი სიმარტივით.

მომხმარებელს, ხშირად, წინასწარგანსაზღვრული მექანიკური თვისებების მქონე შენადნობები ესაჭიროება. შენადნობის მექანიკური თვისებების შეფასება კი მათი გამოცდის მკაცრად რეგლამენტირებული მეთოდებით უნდა წარმოებდეს, რადგან მექანიკური მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობები დამოკიდებულია გამოცდისას გამოყენებულ მეთოდებზე. მექანიკური გამოცდის მეთოდები არ შეიძლება შეირჩეს ნებისმიერად, ასეთ შემთხვევაში მათი შედეგები არაშედარებადი იქნება. მექანიკური თვისებების მახასიათებლები არა მხოლოდ შედარებადი, არამედ საკონტრუქტორო პრაქტიკისთვის გამოსადეგი და სანდო უნდა იყოს.

მექანიკური თვისებების ის ”ძირითადი” მახასიათებელი, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელი იქნებოდა (როგორც მისგან წარმოებულის, გამოთვლებით) სხვა მახასიათებლების მიღება, ჯერ ვერ მოინახა. აქედან გამომდინარე, კონკრეტულ პირობებში მუშაობისათვის განკუთვნილი ლითონის მექანიკური თვისებების შეფასების ”ძირითადი” მახასი-

ათებლის არარსებობა მექანიკური გამოცდის სხვადასხვა მეთოდით სარგებლობას გვაიძულებს.

მექანიკური თვისებების ყველა მახასიათებელი პირობითია. ამიტომ, სხვადასხვა ლითონისა და შენადნობის მექანიკური თვისებების მათი საშუალებით შეპირისპირებისათვის აუცილებელია მექანიკური მახასიათებლების მიღების მეთოდების უნიფიცირება. შედარებადი შედეგების მისაღებად სახელმწიფოს მიერ მექანიკური გამოცდის მრავალი მეთოდი რეგლამენტირდება სტანდარტებით ან უწყებრივი ინსტრუქციებით. ამ მიმართულებით მუშაობას მუდმივად ააქტიურებს სტანდარტიზაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია ISO, სტანდარტიზაციის ევროპული კომიტეტი CEN-ი და სტანდარტიზაციის მრავალი სხვა საერთაშორისო თუ რეგიონალური ორგანიზაცია.

ჩვენი მცდელობა მექანიკური თვისებების მახასიათებლების საერთაშორისო სტანდარტებით დადგენილ აღნიშვნებთან ჰარმონიზაციისა ამ ეტაპზე უშედეგოდ დასრულდა. სამწუხაროდ, წინამდებარე ნაშრომზე მუშაობისას ლითონების მექანიკური თვისებების საერთაშორისო სტანდარტების იდენტური ქართული ვერსიები საქართველოში არ არსებობდა, მაგრამ კიდევ უფრო სამწუხაროა, რომ ისინი დღესაც არ არსებობს.

# თაზი I ლითონური მასალები და მათი ძირითადი თვისებები

## 1.1 ლითონური მასალების ზოგადი დახასიათება

ნებისმიერი ცივილიზაციის განვითარების დონე მისი არსებობის პერიოდში მოხმარებული მასალებით განისაზღვრება. კაცობრიობის განვითარებასთან ერთად იზრდება მოთხოვნაც მასალებზე. ამასთან, ჩნდება ახალი უფრო გაზრდილი მოთხოვნები მათი თვისებების მიმართ. თანამედროვე ტექნიკა მოითხოვს, რომ ახლად შექმნილი მასალები ხასიათდებოდეს არა მხოლოდ განსაზღვრული ფუნქციონალური თვისებების კომპლექსით, არამედ იყოს მაღალი სიმტკიცის, შეძლებისამებრ მსუბუქი, პლასტიკური და ადვილად ექვემდებარებოდეს დამუშავებას.

კაცობრიობის განვითარების თანამედროვე დონეზე მთავარი საკონსტრუქციო მასალებია ლითონები და შენადნობები. ისინი, ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში გამოსაყენებელ მასალებს შორის, ძირითადი და უნივერსალურია. ლითონები წარმოადგენს პოლიკრისტალურ სხეულებს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ სხვადასხვაგვარად ორიენტირებული მცირე ზომის კრისტალებისგან შედგებიან. მათ კრისტალიზაციის პირობებიდან გამომდინარე, არასწორი ფორმა აქვთ და კრისტალიტებად ან მარცვლებად იწოდებიან.

ლითონები და შენადნობები (რადგან ლითონურ შენადნობებს ლითონებთან მრავალი საერთო თვისება აქვს, ტექსტში, ხშირად, ტერმინ "ლითონის" ქვეშ ლითონური შენადნობებიც იგულისხმება), საიმედო და ტექნოლოგიური დამუშავების თვალსაზ-

რისით, მოსახერხებელი მასალებია. ამ მასალების კრისტალურ მდგომარეობაში ართო გამოყენების მიზეზი, მათი მრავალი საუკეთესო თვისებაა. მათ შორის უპირველესად, უნდა აღინიშნოს მაღალი სიმტკიცე, ძირითად თვისებათა ერთგვაროვნობა, სითხეებისა და გაზების შეუღწევობა, სისალე, დრეკადობა, პლასტიკურობა, სიხისტე, სიმეიფე, კოროზიული მედეგობა. გარდა ჩამოთვლილი თვისებებისა, ლითონები მყარ და ნაწილობრივ თხევად მდგომარეობაშიც კარგი თბო- და ელექტროგამტარობით, ასევე ელექტროწინაღობის დადებითი ტემპერატურული კოეფიციენტით ხასიათდება. მრავალ ლითონს, კრისტალურ აღნაგობასთან, ლითონურ ბზინვასთან და ა.შ. ერთად, ზეგამტარობის, თერმოელექტრონული ემისიის და კარგი არეკვლის უნარი აქვს.

ლითონებისათვის დამახასიათებელი თვისებები მათში დადებითად დამუხტული ბირთვისა და მის ირგვლივ (სხვადასხვა ენერგეტიკულ დონეზე) მოძრავი, უარყოფითად დამუხტული ელექტრონების არსებობით აიხსნება. ატომი სტაციონარულ მდგომარეობაში ნეიტრალურია. ელექტრონების რიცხვი ატომში ბირთვის დადებითი მუხტის ტოლია და პერიოდულ სისტემაში ელემენტის შესაბამისი რიგითი ნომრის ტოლია. ლითონების შემადგენელი ატომები, გარე ენერგეტიკულ დონეზე, ელექტრონების მცირე რაოდენობას შეიცავს. ელექტრონების ატომებთან კავშირი ელექტრონების გამოსვლის მუშაობით განისაზღვრება, ე.ი. იმ მუშაობით, რომელიც აუცილებელია იზოლირებული ატომის გარე შრეზე არსებული ელექტრონის მოსაცილებლად.

ლითონების (რომლებიც იონურ-ელექტრონულ გისოსს წარმოადგენენ) მდგრადობა განპირობებულია დადებითად დამუხტულ იონებსა და განზოგადებულ ელექტრონებს შორის ელექტრომიზიდულობით. ასეთი ურთიერთქმედება იწოდება

ლითონურ კავშირად და იგი ეწინააღმდეგება კრისტალური გისოსის რღვევას. ამ დროს დადებითად დამუხტული იონები და უარყოფითად დამუხტული კოლექტივიზებული ელექტრონები ურთიერთმიიზიდება. მიზიდულობის ძალები წონასწორდება იონების ურთიერთგანზიდვის ძალებით და ელექტრონების მოძრაობით გამოწვეული ძალებით. ატომები (იონები), ჩვეულებრივ, მიისწრაფიან განლაგდნენ ერთმანეთისგან იმ მანძილზე, რომ მათი ურთიერთქმედების ენერჯია მინიმალური იყოს.

კრისტალური გისოსის კვანძებში მყოფი ატომები ადვილად გასცემენ სავალენტო ელექტრონებს და დადებითად იმუხტებიან (კვანძებში, ნაწილობრივ, ნეიტრალური ატომებიც რჩება). იონებს შორის სივრცე ”შევსებულია” უარყოფითად დამუხტული, ე.წ. ”ელექტრონული გაზით” (სავალენტო ელექტრონები დადებითად დამუხტულ იონებს ერთად აკავებენ. წინააღმდეგ შემთხვევაში, განზიდვის ძალების მოქმედებით, გისოსი დაიშლებოდა. ამ დროს იონები კრისტალური გისოსის საზღვრებში აკავებენ ელექტრონებს და მისი დატოვების საშუალებას არ აძლევენ. კავშირის ასეთი ძალები ლოკალიზებული არ არის და რაიმე გარკვეული მიმართულებით არ ხასიათდებიან), ე.ი. ლითონების გარე ელექტრონულ გარსზე მყოფი ელექტრონები დაკავშირებული არ არიან განსაზღვრულ ატომთან. ისინი მოწყვეტილია მათგან და ერთობლივად ლითონის მთლიან ”ნაჭერს” ეკუთვნიან. ასეთ ელექტრონებს, ჩვეულებრივ, გამტარობის ელექტრონებს უწოდებენ. ისინი გარე ელექტრონულ ველში ადვილად აჩქარდებიან და მათი მოწესრიგებული მოძრაობა ელექტროდენის დინებას—ელექტროგამტარობას—იწვევს.

თვალსაჩინოებისთვის ლითონი შეიძლება წარმოვიდგინოთ იონურ ჩონჩხად, რომელიც ატომგულებისა (შინაგანი ელექტ-

რონებით) და კოლექტივიზებული გამტარობის ელექტრონებისგან შედგება. ისინი იონურ ჩონჩხს გარშემოედინება, როგორც სითხე. იონებს შორის მყოფი ელექტრონები მუდმივად გადაადგილდება, მაგრამ მათი გადაადგილება ახლომდებარე იონების მიზიდულობის ძალებით იზღუდება.

იონები და ატომები კრისტალური გისოსის კვანძებში, რომელიდაც საშუალო წერტილის ირგვლივ, ირხევა. ამ დროს მათ ურთიერთგანლაგების შეცვლა, გისოსის შუალედებში გადაადგილება და რომელიდაც კვანძის თავისუფლად დატოვება შეუძლიათ. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მატულობს იონებისა და ატომების რხევის ამპლიტუდები. მყარ ან თხევად ლითონში განუწყვეტლივ ხდება ატომებიდან ცალკეული სავალენტო ელექტრონების მოწყვეტა და მათი მიერთება იონებთან. მყარდება მოძრავი წონასწორობა, რომლის დროსაც ელექტრონების გარკვეული რაოდენობა მუდმივად თავისუფალ მდგომარეობაში რჩება. რაც უფრო მეტი თავისუფალი ელექტრონი აქვს ლითონს, მით უფრო მეტად ახასიათებს ლითონური თვისებები (მაგ., მაღალი ელექტრო- და თბოგამტარობა). თავისუფალი ელექტრონების მცირე რაოდენობის მქონე სხეულები დაქვეითებული ელექტროგამტარობითა და პლასტიკურობით ხასიათდება.

ლითონური კავშირის არსებობა მასალას პლასტიკური დეფორმირებისა და პლასტიკური დეფორმაციით თვითგანმტკიცების უნარს ანიჭებს. პლასტიკურად დეფორმირებისას იცვლება ლითონის ფორმა და რიგი თვისებებისა, კერძოდ, ცივი დეფორმირებისას მატულობს სიმტკიცე და მცირდება პლასტიკურობა. ამიტომ, თუ მასალის შიგნით არის დეფექტები ან დეტალის ფორმა ძაბვების კონცენტრატორს წარმოადგენს, მაშინ ასეთ ადგილებში ძაბვები ისეთ სიდიდე-

ებს აღწევს, რომ ბზარის წარმოქმნის შესაძლებლობა არ გამოირიცხება. მაგრამ, იმის გამო, რომ ლითონის პლასტიკურობა მაღალია ამ ადგილებში, მათ შორის ბზარისა და დაურღვეველი მასალის საზღვართან (შესართავთან), ლითონი პლასტიკურად დეფორმირდება, განმტკიცდება და რღვევის პროცესი შეჩერდება.

არალითონებში მსგავსი რამ არ შეინიშნება. ლითონებისგან განსხვავებით, ყველა არალითონი იონური ან კოვალენტური კავშირებით ხასიათდება. კავშირის ეს სახეები განპირობებულია ორი სხვადასხვაგვარად დამუხტული იონის ელექტროსტატიკური ძალებით და ხისტია. მათ არა აქვთ პლასტიკური დეფორმაციისა და თვითგანმტკიცების უნარი. როგორც კი ბზარისა და დაურღვეველი მასალის საზღვართან ძაბვა განსაზღვრულ სიდიდეს მიაღწევს, მასალა მყისიერად ირღვევა. ამ მდგომარეობებითაა განპირობებული ის ფაქტი, რომ ლითონები საიმედო საკონსტრუქციო მასალებად გვევლინება, ხოლო არალითონური მასალები, მათი ბუნებიდან გამომდინარე, მოთხოვნილ საიმედოობას ვერ უზრუნველყოფენ. ლითონების, როგორც საკონსტრუქციო მასალების, თვისებებს შორის, უმეტეს შემთხვევაში, უმნიშვნელოვანესია მექანიკური თვისებები. აუცილებელი საიმედოობის უზრუნველსაყოფად ყველა საპასუხისმგებლო დეტალი და ნაკეთობა უნდა მზადდებოდეს ლითონისაგან და არა პლასტმასის, მინის ან ქვისაგან.

სუფთა ლითონების სამრეწველო გამოყენება, ყოველთვის არ არის ეკონომიკურად მომგებიანი. ისინი, ხშირად, მოთხოვნილ თვისებებს ვერ პასუხობენ. სუფთა ლითონში ყოველთვის არ არის ერთდროულად შეთავსებული რამდენიმე აუცილებელი თვისება. მათი სიმტკიცე დაბალია, ელექტრული თვისებები დამოკიდებულია ტემპერატურის ცვლი-

ლებზე, აქვთ სიბიური გაფართოების მაღალი კოეფიციენტი და ა.შ. სუფთა ლითონებს, შენადნობებთან შედარებით, დაბალი მექანიკური თვისებები გააჩნია. ამის გამო, მათი გამოყენების სფერო იმ შემთხვევებით შემოსაზღვრება, როდესაც აუცილებელია მათი სპეციალური თვისებებით სარგებლობა (მაგ., მაგნიტური ან ელექტრული). სუფთა ლითონებისგან განსხვავებით, თითქმის ნებისმიერი მოთხოვნილი თვისებების მქონე შენადნობის მიღებაა შესაძლებელი.

იდეალური საიმედოობის მქონე საკონსტრუქციო მასალას შემდეგი თვისებები მოეთხოვება: მცირე სიმკვრივე, მაღალი სიმტკიცე, დრეკადობის მაღალი მოდული, კარგი შედუღებადობა, კოროზიული მედეგობა ყველანაირი არის მიმართ, სტრუქტურის მაღალი სტაბილურობა და იზოტროპულობა. ამასთან, არ უნდა ახასიათებდეს სიმეიფე და ჰქონდეს მაქსიმალური ზომების კონსტრუქციებად აკრეფის უნარი. არარეალურია მცდელობა იმისა, რომ ყველა ეს თვისება ერთ მასალაში გაერთიანდეს. ასე რომ, არსებული ტექნოლოგიებით ჩვენ უახლოეს მომავალში უნივერსალურ მასალას ვერ მივიღებთ. ამდენად, თანამედროვე, ე.წ. "ფართოდ გამოყენებული მასალები" (ფოლადები, თუჯები, მინა და სხვ.) ჯერჯერობით თავის მნიშვნელობებს ინარჩუნებენ. ამასთან ერთად, მასალების სხვადასხვა ჯგუფის ფარგლებში, თანდათან ჩნდება განსაკუთრებული თვისებების მქონე წარმომადგენლი, რომლის მასობრივად გამოყენება, მისი სიძვირის გამო, ჯერ შეზღუდულია და მხოლოდ ცალკეულ სფეროში ვრცელდება. მიუხედავად ეკონომიკურად არახელსაყრელობისა, განსაზღვრული სფეროსთვის შექმნილი სპეციალური თვისებების მატარებელი შენადნობების რიცხვი სწრაფად იზრდება.

მას შემდეგ, რაც თანამედროვე ლითონთა ფიზიკამ ლითონების პლასტიკურობისა და სიმტკიცის გაზრდის შესაძლებლობები ახსნა, ახალი მასალების სისტემატური და ინტენსიური შემუშავება დაიწყო. ეს კი ახლო მომავალში ისეთ მასალებამდე მიგვიყვანს, რომელთა სიმტკიცის მაჩვენებლების სიდიდე დღევანდელი ჩვეულებრივი შენადნობების სიმტკიცეზე მრავალჯერ მეტი იქნება. ამავე დროს დიდი ყურადღება დაეთმობა კომბინირებული მასალების მრავალი შესაძლებლობის თანდათან გამოვლენას. კომბინირებული მასალები ორი პერსპექტიული მიმართულებით ვითარდება: 1. არაორგანული ლითონური ან ორგანული პოლიმერული მასალების განმტკიცება (არმირება) უწვრილესი მაღალი სიმტკიცის მქონე მინის, ნახშირბადის, ბორის, ბერილიუმის, ფოლადის და ა.შ. ბოჭკოებით ან ძაფისებრი მონოკრისტალებით. (ასეთი კომბინირებისას მასალის მაქსიმალური სიმტკიცე დრეკადობის მაღალ მოდულთან და მცირე სიმკვრივესთანაა შეხამებული); 2. მასალების განმტკიცება ხალი დისპერჰირებული ნაწილაკებით.

პ. რეზინდერმა მიუთითა იდეალური მაღალმტკიცე მასალის მიღების საინტერესო შესაძლებლობაზე. ის გამოდიოდა პრინციპიდან—“გზა სიმტკიცისკენ რღვევაზე გადის”. ამავე დროს ნებისმიერ რეალურ მასალას მოიაზრებდა როგორც სტრუქტურული დეფექტებიდან, პრაქტიკულად, თავისუფალ უმცირეს ნაწილაკებად დანაწევრებულს. მისი აზრით, ზემტკიცე ნაწილაკების დაწნეხითა და გახურებით შეერთებისას შესაძლებელი იქნება უფრო, თეორიულ სიმტკიცესთან მიახლოებული სიმტკიცის მქონე მასალის მიღება.

მასალის დაქუცმაცება არ არის სიმტკიცის ამღლების ერთადერთი გზა. ნადნობებში, ხსნარებში და ორთქლის კონდენსაციისას უმცირესი ჩანასახი კრისტალების წარ-

მოქმნით სასურველი წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მქონე მასალა მიიღება (მაგ., ელექტროკონტაქტებში გამოყენებული დისპერსიულდანაფარიან მასალებში დანაფარის სიმტკიცის მკვეთრი გაზრდა ლითონურ ფუძეში უწვრილესი ოქსიდების ან სხვა სალი ნივთიერებების თანაბარი განაწილებით მიიღწევა). დამუშავების ახალი მიდგომებით შესაძლებელი გახდა ისეთი ზეპლასტიკური მასალების მიღება, რომლებიც 1000%-იან გაჭიმვას უძლებენ. მოყვანილი მაგალითები გვიჩვენებს, რომ ახალი მასალების მიღება მათი წარმოებისა და დამუშავების ახალ ტექნოლოგიებს ითხოვს.

ახალი მასალების მიღების და მათი დამუშავების ტექნოლოგიების უახლესი მეთოდების ძიება ფართოდ გაიშალა და ინტენსიურად მიმდინარეობს მას შემდეგ, რაც 1959 წელს რიჩარდ ფეიმანი ამერიკის ფიზიკური საზოგადოების კრებაზე გამოვიდა ცნობილი მოხსენებით: "იქ ქვევით მრავალი თავისუფალი ადგილია". შეიძლება ითქვას, რომ მან ნანოტექნოლოგიის კონცეფცია შემოიტანა, რითაც დაიწყო ახალი ერა ნანომეტრული ნაწილაკებისა და ნანომეტრული მასალების თვისებების კვლევების მიმართულებაში.

უკანასკნელ წლებში ლითონების დამუშავების არსებული ტექნოლოგიების ვექტორმა მკვეთრი შემობრუნება განიცადა. იქმნება ახალი და იხვეწება არსებული მიდგომები ნანოტექნოლოგიებში. ნანომეტრული მასალები, მრავალ უნიკალურ თვისებასთან ერთად, ერთ ისეთ თვისებას ავლენს რომელიც მასალათმცოდნეობას (და არა მარტო მას) შემდგომი განვითარების უკიდევანო შესაძლებლობებს უქმნის. ეს არის ნანომეტრული მასალების თვისებების დამოკიდებულება ნანომეტრული ნაწილაკების ზომებზე. ამ დამოკიდებულების დასადგენად ფართოდაა გაშლილი სამეცნიერო კვლევები არა მარტო მასალათმცოდნეობაში, არამედ ისეთ

დარგებშიც, როგორცაა მედიცინა, ბიოლოგია, გენეტიკა, ენერგეტიკა და მრავალი სხვა. ნანომეტრული მასალების უნიკალური თვისებების გამოვლენაში დიდ როლს ასრულებს მათი მიღების ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. მათი სიმრავლის მიუხედავად, ნანომეტრული მასალების მიღების შესაძლებლობები შეიძლება ორ ძირითად მიმართულებაში გაერთიანდეს: 1. ცალკეული ატომების ან მოლეკულების შეერთება; 2. სხვადასხვა მეთოდით კომპაქტური მყარი სხეულის ნანომეტრულ ზომებამდე დაქუცმაცება.

თანამედროვე მეცნიერთა საერთო აღიარებით, უახლოეს მომავალში, ნანომეტრული ტექნოლოგიები მოიცავს ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროს და რადიკალურ გაგვლენას მოახდენს სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესზე. წარმოდგენილი ნაშრომი არ ითვალისწინებს ნანომეტრული მასალების კვლევის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების ანალიზს, ამის გამო მათ განხილვას არ შევუდგებით.

ლითონური მასალების თვისებების მრავალფეროვნებაა ის მთავარი ფაქტორი, რომლითაც განისაზღვრება მათი ფართო გამოყენება ტექნიკაში. დღეს უკვე კონსტრუქტორებსა და ტექნოლოგებს შეუძლიათ მასალების მახასიათებლების ვრცელი მონაცემებით ისარგებლონ. მათ შესაძლებლობა აქვთ განსაზღვრული სფეროსთვის ყველაზე მიზანშეწონილი თვისებების მქონე მასალები შეარჩიონ. ლითონურ მასალებს, მათი შინაგანი აგებულების თავისებურებებიდან გამომდინარე, ერთმანეთისგან განსხვავებული თვისებები გააჩნია. ამდენად, აუცილებელია მასალების აგებულებისა და თვისებების ერთიან კავშირში შესწავლა.

მასალების ძირითად თვისებებად შეიძლება ჩაითვალოს მათი ფიზიკური, ქიმიური, მექანიკური, ტექნოლოგიური და

საექსპლუატაციო თვისებები. ჩვენ ზოგადად ყველა ამ თვისებას განვიხილავთ. განსაკუთრებით კი შევჩერდებით მექანიკურ თვისებებზე და შევეცდებით გადმოვცეთ იმ მოცულობით, რომელიც განსაზღვრულ წარმოდგენას შეუქმნის ლითონების მექანიკური თვისებების მახასიათებლების დადგენით დაკავებულ სპეციალისტს.

## 12 ლითონური მასალების ფიზიკური თვისებები

ნივთიერების ნიშანდობლივ თვისებებს ქიმიური ურთიერთქმედების გარეშე ფიზიკური თვისებები ეწოდება. მათ მიეკუთვნება: დნობის ტემპერატურა, დუღილის ტემპერატურა, სიბლანტე, სიმკვრივე, დიელექტრიკული შეღწევადობა, სითბოტევადობა, სითბოგამტარობა, ელექტროგამტარობა, აბსორბცია, ფერი, კონცენტრაცია, ემისია, დენადობა, ინდუქტიურობა, რადიაქტიურობა და მისთ.

ნივთიერება რჩება თავისთავადი, ე.ი. უცვლელი, მანამ, სანამ შენარჩუნებული იქნება მისი მოლეკულის შედგენილობა და აგებულობა (არამოლეკულური ნივთიერებისათვის—სანამ შენარჩუნდება მისი შედგენილობა და ატომებს შორის დამახასიათებელი კავშირები).

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ნივთიერების ყველა თვისება (მათ შორის მექანიკურიც) ფიზიკურია. მაგრამ არსებობს გარკვეული გარეგნული ნიშანი იმისა რომელიც უფლებას იძლევა სხეულის ყველა თვისება დაიყოს ე. წ. ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებად. ეს ნიშანი თვისებათა გაზომვების ზოგიერთ შედეგს ეფუძნება. მექანიკური თვისებების განსაზღვრისას სხეული რღვევას ან შეუქცევ დეფორმაციას განიცდის, ხოლო ფიზიკური თვისებების

განსაზღვრა მის ნარჩენ დეფორმაციას არ იწვევს. ფიზიკური თვისებების თეორია, უპირატესად, კრისტალური გისოსის დინამიკას შეისწავლის. იგი ელექტრონების ურთიერთშორის და მათი კრისტალური გისოსის ველს შორის ურთიერთქმედებას ეფუძნება, ხოლო მექანიკური თვისებები, ძირითადად, კრისტალური აღნაგობის დეფექტების თეორიით შემოისაზღვრება. ამდენად, ცნება "ფიზიკური თვისებები" პირობითია და იგი მექანიკურ თვისებებს "უპირისპირდება".

განვიხილოთ ნივთიერების შინაგან აგებულებაზე და მის ატომურ-ელექტრონულ სტრუქტურაზე დამოკიდებული ზოგიერთი ძირითადი ფიზიკური თვისება:

ა) **ფერი** არის სხეულის უნარი გამოიწვიოს მის მიერ არეკლილი ან მისგან გამოფრქვეული ხილული გამოსხივების სპექტრული შედგენილობისა და განსაზღვრული ინტენსიურობის შესაბამისი მხედველობითი შეგრძნება დამკვირვებელში. სხვაგვარად: ლითონების უნარი არეკლოს მასზე დაცემული განსაზღვრული სიგრძის სინათლის სხივები, რომლებიც ადამიანის თვალით (ფერად) აღიქმება. იგი ხილული ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მახასიათებელია და ობიექტის ვიზუალურ, სუბიექტურ აღქმას იწვევს. ლითონებს ლითონური ბზინვა ახასიათებს. ბზინვა არის მასალის ზედაპირის უნარი მიმართულად არეკლოს სინათლის ნაკადი. იგი ლითონის ამრეკლი ზედაპირის მახასიათებელია და ზედაპირიდან სარკულად არეკლილი და დიფუზურად გაბნეული სინათლის თანაფარდობებს გვიჩვენებს. ლითონის გლუვი ზედაპირი სინათლის დიდ პროცენტს აირეკლავს. ლითონები ფერით ერთმანეთისგან განსხვავდება, მაგალითად: სპილენძს აქვს მოვარდისფრო-მოწითალო, ოქროს-ყვითელი, ცეზიუმს-ღია ყვითელი,

ვერცხლს მახასიათებელი—თეთრი, ალუმინს, მაგნიუმს, პლატინას, კალას, კადმიუმს, და ვერცხლისწყალს—მოლურჯო-თეთრი, ხოლო რკინასა და დარიშხანს—მორუხო ფერი. ძლიერ დაქუცმაცებული ლითონები რუხი, ყავისფერი ან შავი ფერით ხასიათდება.

სხვადასხვა ნაკეთობისათვის გამოყენებული ლითონის შენადნობები ფერთი მახასიათებლებით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ძირითადი ლითონის ფერისგან. მიუხედავად იმისა, რომ მრავალი საუკუნეა სხვადასხვაგვარ და სხვადასხვა ფერის შენადნობებს იყენებენ, ლითონების აღნაგობასა და მის ამრეკლ უნარს შორის ურთიერთკავშირი ჯერ კიდევ არ არის გახსნილი;

**ბ) სიმკვრივე** ლითონების უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია. იგი ასახავს, ერთეულ მოცულობაში, ნივთიერების რაოდენობას. სიმკვრივის მიხედვით ლითონები დაყოფილია ჯგუფებად: მსუბუქი, სიმკვრივე  $\leq 5$  გ/სმ<sup>3</sup>-ზე; მძიმე, სიმკვრივე 5-დან 10 გ/სმ<sup>3</sup>-მდე და ძალიან მძიმე სიმკვრივე 10 გ/სმ<sup>3</sup>-ზე მეტი. ყველაზე მსუბუქი ლითონია ლითიუმი—0,53 გ/სმ<sup>3</sup>, ხოლო ყველაზე მძიმე ლითონის დასახელება დღეისათვის შეუძლებელია. ორი ყველაზე მძიმე ლითონის ოსმიუმისა და ირიდიუმის სიმკვრივეები ტოლია და დაახლოებით 22,6 გ/სმ<sup>3</sup>-ს შეადგენს. მათი ზუსტი სიმკვრივის გამოთვლა გაძნელებულია, მათი მინარევებისგან არასრულფასოვნად გასუფთავების გამო. ნებისმიერი მინარევი მათ სიმკვრივეს ამცირებს;

**გ) დნობის ტემპერატურა** არის ის ტემპერატურა, რომელზეც გასახურებელი ნივთიერება, სითბოს შთანთქმით, კრისტალური მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადადის. დნობის ტემპერატურის მიხედვით ლითონები

შემდეგ ჯგუფებად იყოფა: ადვილდნობადი, დნობის ტემპერატურა  $\leq 600$  °C-ზე, საშუალოდნობადი დნობის ტემპერატურა 600-დან 1600 °C-მდე და ძნელდნობადი, დნობის ტემპერატურა  $\geq 1600$  °C-ზე.

დნობის ტემპერატურამდე გახურებული მყარი კრისტალური ნივთიერების თხევადში გადასაყვანად საჭიროა ე.წ. დნობის ფარული სითბო. იგი სითბოს ის რაოდენობაა რომელიც იხარჯება დნობის ტემპერატურაზე მყარი სხეულის ერთეული მასის იმავე ტემპერატურაზე თხევად მდგომარეობაში გადასაყვანად. იმისთვის, რომ მყარი ნივთიერება გათხევადდეს საკმარისი არ არის დნობის ტემპერატურამდე გახურება. კრისტალური სტრუქტურის დასარღვევად კიდევ უნდა მიეწოდოს დამატებით სითბური ენერჯია, რომელიც გამდნარი ნივთიერების ტემპერატურის მომატებას არ გამოიწვევს. ე.ი., სანამ მყარი ნივთიერება მთლიანად არ გათხევადდება, მისი ტემპერატურა სითბური ენერჯიის წყაროს ტემპერატურაზე მაღლა არ აიწევს. სითბოს წყაროს სიმძლავრის ამაღლება მხოლოდ დააჩქარებს გადნობას, მაგრამ გასადნობი ნივთიერების სრულ გათხევადებაზე მისი ტემპერატურა დარჩება მუდმივი;

**დ) თბოგამტარობა** არის ლითონის უნარი, გახურებისას, ამა თუ იმ სიჩქარით გაატაროს სითბო, ხოლო გაცივებისას გასცეს იგი. ან კიდევ: მასალის უნარი გადასცეს სითბო სხვადასხვა ტემპერატურის მქონე საკუთარი უფრო თბილი ზედაპირიდან ნაკლებად თბილ ზედაპირს. პროცესი ნივთიერების შემადგენელი მოლეკულების, ატომების, ელექტრონების სითბური გააქტიურების ხარჯზე მიმდინარეობს. საუკეთესო თბოგამტარობით ხასიათდება სუფთა ლითონები—ვერცხლი, სპილენძი და ალუმინი. მაღალი თბოგამტარობის ლითონები და შენადნობები ცხელი დამუშავებისას

თანაბრად ხურდება, ადვილია მათი შედუღება და რჩილვა. მათ ფართოდ გამოიყენებენ თბომომოცვლის აპარატების დასამზადებლად. მაღალი თბოგამტარობის ლითონები ამავე დროს საუკეთესო ელგამტარებია. თბოგამტარობა გამოიყენება თბოტექნიკურ გაანგარიშებებში;

**ე) თბური გაფართოება** არის ლითონების თვისება გაფართოვდეს გახურებისას და შეიკუმშოს გაცივებისას. ეს გათვალისწინებული უნდა იქნეს მანქანათა დეტალებისა და ლითონური ნაგებობების დამზადებისას. სხვადასხვა ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტის მქონე ლითონებისგან დამზადებული და შემდეგ ურთიერთშეერთებული დეტალები გახურებისას შეიძლება მოიღუნოს ან დაირღვეს.

ჩამოსხმული დეტალების გაცივებისას თხელი ნაწილები უფრო სწრაფად ცივდება ვიდრე სქელი და კუმშვას განიცდის. ამ დროს წარმოიქმნება შინაგანი ძაბვები და შესაძლებელია ბზარის გაჩენაც. კონსტრუქტორი ვალდებულია სწორად შეარჩიოს სხმულის კვეთის ზომები. სითბურ გაფართოებას დიდი მნიშვნელობა აქვს შენადული კონსტრუქციებისთვის, რომლებშიც, შინაგანი ძაბვებიც აღიძვრება და მოსალოდნელია ბზარების გაჩენა. განსაკუთრებით საგულდაგულოდ უნდა იქნეს გათვალისწინებული ლითონების ხაზობრივი გაფართოება საზომი და პრეციზიული ხელსაწყოების, კალიბრების და მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე მანქანათა დეტალების დამზადებისას. გარდა აღნიშნულისა, ეს თვისება გათვალისწინებული უნდა იქნეს ხიდის ფერმების აგებისას, რკინიგზის რელსების დაგებისას და სხვა შემთხვევებში;

**ე) სითბოტევადობა** არის სხეულის  $1^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის მობატებისას შთანთქმული სითბოს რაოდენობა. სხვადასხვა

ლითონის სითბოტევადობის შესადარებლად ხვედრითი სითბოტევადობის ცნება გამოიყენება. იგი ერთეული მასის ლითონის  $1^{\circ}\text{C}$  ტემპერტურის მომატებისას შთანთქმული სითბოს რაოდენობაა;

**ზ) ელექტროგამტარობა** არის ლითონის უნარი, ელექტრული ველის მოქმედებით გაატაროს ელექტრული დენი. იგი, აგრეთვე, ამ უნარის რაოდენობრივად დამახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა. ელექტროგამტარობა განპირობებულია სხეულში მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების—ელექტრონების, იონების და სხვათა არსებობით. ლითონების უნარის შეფასება გაატაროს ელექტროდენი ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო თვისებით—ელექტროგამტარობით და ელექტროწინააღმდეგობით—ხასიათდება. კარგი ელექტროგამტარობა აუცილებელია მაგ., დენგამტარი მასალებისათვის, ხოლო ხელსაწყოების და ღუმლების ელექტროგამხურებლების დამზადებისას აუცილებელია მაღალი ელექტროწინააღმდეგობის მქონე შენადნობები.

არალითონებისაგან განსხვავებით, ყველა ლითონისათვის დამახასიათებელია ელექტროწინააღმდეგობის ამაღლება ტემპერატურის ამაღლებასთან ერთად. ასეთი კლასიკური დასკვნა ძალას ინარჩუნებდა მანამ, სანამ 1911 წელს ჰოლანდიელი მეცნიერი ჰაიმე კამერლინგ ონესი (ასისტენტებთან ერთად), იყენებდა რა თავის მიერ გათხვევადებულ ჰელიუმს ვერცხლისწყლის თვისებების, კერძოდ, მისი ელექტროწინააღმდეგობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ცვლილების საკვლევეად, ზეგამტარობის აღმოჩენამდე არ მივიდა (ზეგამტარობა არის ზოგიერთი მასალის თვისება, მათთვის დამახასიათებელ  $T_0$  ტემპერატურაზე ქვევით გაცივებისას, ნულოვანი ელექტრული წინააღმდეგობა გამოავლინოს). მათ შენიშნეს, რომ დასაწყისში დასკვნა იმის შესახებ, რომ ტემპერატურის შემ-

ცირებით ლითონის ელექტროწინაღობა მდოვრედ მცირდება დადასტურდა. ხოლო, როდესაც ვერცხლისწყლის ტემპერატურამ 4,15 K-ს მიაღწია, მისი ელექტროწინაღობა ნახტომისებრად შეიცვალა და ნულის ტოლი გახდა.

ეს ეფექტი მათთვის სრულიად მოულოდნელი იყო, ხოლო მაშინ არსებული თეორიებით მისი ახსნა-შეუძლებელი. შემდეგმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ზეგამტარობა ქვანტური მოვლენაა და იგი არ შეიძლება აღიწეროს კლასიკური გაგებით, როგორც მარტივი იდეალური გამტარობა. დღეისათვის ცნობილია რამდენიმე ათეული სუფთა ლითონი, შენადნობი და კერამიკული მასალა, რომლებიც მათთვის დამახასიათებელ  $T_c (>77\text{K-ზე})$  ტემპერატურაზე უფრო ქვევით გაცივებისას ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადადის;

**თ) მაგნიტური თვისებები** არის ლითონის უნარი დამაგნიტდეს. მაგნიტური თვისებების მიხედვით ყველა ლითონი დიამაგნიტურ და პარამაგნიტურ ჯგუფებად იყოფა. პარამაგნიტური ჯგუფის კერძო შემთხვევას ფერო-მაგნიტური ლითონები-რკინა, კობალტი, ნიკელი და იშვიათი ლითონი გადოლინიუმი წარმოადგენს. მაღალ ტემპერატურებზე ისინი თავიანთ მაგნიტურ თვისებებს კარგავენ (მაგ., რკინა-768, კობალტი-1100, ხოლო ნიკელი-350 °C) მაგნიტური თვისებების მქონე მასალები გამოიყენება ელექტროტექნიკურ ხელსაწყოებში;

### 1.3 ლითონური მასალების ქიმიური თვისებები

ნივთიერებების (ქიმიური ელემენტების, მარტივი ნივთიერებების და ქიმიური ნაერთების) ქიმიურ პროცესებზე დამოკიდებულ

თვისებებს, ანუ თვისებებს, რომლებიც ქიმიური რეაქციების პროცესში გამოვლინდებიან, ქიმიური თვისებები ეწოდება. ზოგადად, ქიმიურ თვისებებს მიეკუთვნება სხვა ნივთიერებებთან რეაგირების და დაშლის უნარი. ფართო გაგებით ნივთიერების ქიმიური თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო იმისგან თუ რომელი ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება ის, არამედ ნივთიერების მოლეკულების სტრუქტურისა (სტრუქტურული იზომერია) და მოლეკულების სივრცული კონფიგურაციისაგან (კონფორმაცია, სტერეოიზომერია). როგორც წესი, ერთნაირი შედგენილობისა და სტრუქტურის მქონე ნივთიერებებს ერთნაირი ქიმიური თვისებები აქვს.

ლითონის ძირითადი ქიმიური თვისება მისი შემადგენელი ატომების მიერ სავალენტო ელექტრონების ადვილად გაცემის და დადებითად დამუხტული იონების მდგომარეობაში გადასვლის უნარია. ტიპური ლითონები არასოდეს არ იერთებს ელექტრონებს. მათი იონები ყოველთვის დადებითადაა დამუხტული. ისინი, ქიმიური რეაქციებისას ადვილად გასცემენ რა ელექტრონებს, ითვლებიან ენერგეტიკულ აღმდგენლებად. სხვადასხვა ლითონს ელექტრონების გაცემის სხვადასხვა უნარი აქვს. რაც უფრო ადვილად გასცემს ლითონი ელექტრონებს, მით უფრო აქტიურია იგი და უფრო ენერგიულად შედის რეაქციაში სხვა ნივთიერებებთან. ლითონების ქიმიურ თვისებებს ახასიათებს მათი დამოკიდებულება სხვადასხვა აქტიური არის ქიმიურ ზემოქმედებასთან. თითოეულ ლითონს ამ ზემოქმედებისადმი წინააღმდეგობის გაწევის განსაზღვრული უნარი აქვს. ლითონების ქიმიური თვისებებიდან, პრაქტიკული თვალსაზრისით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია: ხსნადობა, ჟანგვადობა, კოროზიული მედეგობა.

ა) **ხსნადობა** არის ნივთიერების უნარი გაიხსნას ამა თუ იმ გამხსნელში, როგორც თხევადში, ისე მყარში. დიდი მნიშვნელობა აქვს ლითონების ნაღნობების და აირების ურთიერთქმედებას. ლითონების დნობის პროცესში, ნაღნობში, ზოგიერთი აირი ენდოთერმული რეაქციებით იხსნება სხვა კო-ეგზოთერმულით. ნაღნობის გამყარების პროცესში, ენდოთერმული რეაქციებით გახსნილი აირების ხსნადობა მცირდება და კრისტალიზაციისას წარმოქმნილი აირის ბუშტები სხმულის ფორიანობას განაპირობებს.

ბ) **ჟანგვადობა** არის ლითონის უნარი, მჟანგავის ქიმიური ზემოქმედებით, ჟანგბადთან შევიდეს რეაქციაში და წარმოქმნას ოქსიდი. ლითონების ჟანგვადობის უნარი ფართო საზღვრებში იცვლება. მათი უმრავლესობა ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე, სხვადასხვა სიჩქარით იჟანგება ჰაერის ჟანგბადით. რეაქციის სიჩქარე და მექანიზმი ძლიერაა დამკიდებელი კონკრეტული ლითონისა და შენადნობის ბუნებაზე. უმრავლეს შემთხვევაში ჟანგვის პროცესის შედეგად ოქსიდები წარმოიქმნება, ტუტე ლითონები კი (ლითიუმის გარდა) პეროქსიდებს წარმოქმნიან.

პრაქტიკული თვალსაზრისით, ზოგ შემთხვევაში სასურველია ნაკეთობის ზედაპირზე მტკიცე ოქსიდური ფირის წარმოქმნა. იგი ლითონის ზედაპირს ჟანგბადის სიღრმეში შეღწევისაგან და შემდგომი ჟანგვისგან იცავს. ლითონების ჰაერისადმი მდგრადობა წარმოქმნილი ოქსიდის თვისებებით განისაზღვრება, კერძოდ—წარმოქმნილი ოქსიდის მოლური მოცულობის ლითონის მოლურ მოცულობასთან ფარდობით ( $V_{\text{ოქს}}/V_{\text{ლით.}}$ ). როცა  $V_{\text{ოქს}} / V_{\text{ლით}} > 1$  ლითონზე ჟანგეულის დამცავი ფირი წარმოიქმნება და იგი ლითონს შემდეგი ჟანგვისგან

დაიცავს. ასეთი ფირები დამახასიათებელია მაგ., Al, Ti და Cr-თვის. მიუხედავად მათი აქტიურობისა, ისინი ჰაერზე (დამცავი ფირების დახმარებით) მდგრადია. ის ლითონები, რომელთა  $V_{\text{თქს}} / V_{\text{ლით}} < 1$ -ზე ჰაერზე არამდგრადია (მაგ., ტუტე ლითონები)

**გ) კოროზიული მედეგობა** არის ლითონის უნარი გაუწიოს წინააღმდეგობა გარემოს ზემოქმედებით გამოწვეულ რღვევას. თითქმის ყველა ლითონის ზედაპირი, რომელიც შეხებაშია აირულ ან თხევად გარემოსთან, მეტნაკლებად სწრაფად ირღვევა. ამის მიზეზი კი ლითონისა და ჰაერში არსებული გაზების, აგრეთვე წყალთან და მასში გახსნილ მინარევებთან ქიმიური ურთიერთქმედებაა. ამდენად, კოროზიული მედეგობის თვალსაზრისით, ქიმიური თვისებები შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც ლითონების უნარი წინ აღუდგეს დაჟანგვას ან სხვადასხვა ნივთიერებებთან (ჰაერის ჟანგბადთან, ნახშირჟანგთან, სინესტესთან, ტუტეებთან და სხვ.) ნაერთის წარმოქმნას. რაც უფრო იოლად შედის ლითონი სხვა ელემენტებთან ნაერთში, მით უფრო ადვილად ირღვევა იგი.

კოროზიული რღვევა ორი სახისაა: ქიმიური და ელექტროქიმიური. სუფთა ქიმიური კოროზია, ძირითადად, ჟანგვადობით განისაზღვრება. ელექტროქიმიური კოროზია აღიძვრება დენგამტარი სითხის თანაარსებობისას, ლითონების ფიზიკურ-ქიმიური არაერთგვაროვნების გამო. ლითონების ელექტროქიმიური აქტიურობის დახასიათებისა და ელექტროქიმიური პროცესების გაგების ფუძემდებლურ რგოლს ლითონების ძაბვათა რივი (მწკრივი) წარმოადგენს. იგი იწყება ქიმიურად აქტიური და მთავრდება ყველაზე პასიური-კეთილშობილი ლითონით. უმნიშვნელოვანესი ლითონ-

ნებისა და წყალბადისთვის ძაბვათა რიგი, უახლესი წარმოდგენებით, შემდეგნაირად გამოიყურება: Li, Rb, K, Ba, Sr, Ca, Mg, Al, Be, Mn, Zn, Cr, Ga, Fe, Cd, Tl, Co, Ni, Sn, Pb, H, Sb, Bi, As, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au.

ნებისმიერი ორი ლითონი წარმოქმნის გაღვანურ წყვილს. ამასთან, ემმ მით მეტი იქნება, რაც უფრო შორს დგანან ისინი ერთმანეთისგან ძაბვათა რიგში. ორი სხვადასხვა ლითონისგან დამზადებული გაღვანური ელემენტის ელექტროდებიდან ძაბვათა რიგში წინა ადგილზე მდგომ მასალაზე გაჩნდება უარყოფითი პოტენციალი. ძაბვის სიდიდე (პოტენციალთა სხვაობა) დამოკიდებულია ელემენტის ადგილზე ძაბვათა რიგში და ელექტროლიტის თვისებებზე.

წყალბადის მიმართ გაზომილი ზოგიერთი ლითონის ელექტროდული პოტენციალი წარმოდგენილია №1 ცხრილში.

ლითონთა უმრავლესობა ამა თუ იმ მჟავათი იჟანგება. ის ლითონები, რომლებსაც უარყოფითი სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალი აქვთ იჟანგებიან  $H^+$  იონებით და იხსნებიან. ლითონური ელემენტების მნიშვნელოვანი მახასიათებელი ფუძე ჟანგეულებისა და შესაბამისი ჰიდროჟანგეულების წარმოქმნის უნარია. პერიოდული სისტემის მთავარი ქვეჯგუფის ლითონების ოქსიდებისა და ჰიდროოქსიდების ფუძიანობა იზრდება ზევიდან ქვევით, ხოლო თანაქვეჯგუფების (გარდა I–III)–უკუდამოკიდებულებით. პერიოდებით და რიგებით ელემენტის რიგითი ნომრის ზრდისას ფუძიანობა კლებულობს. დაჟანგულობის რამდენიმე ხარისხის მქონე ლითონების (როგორც  $d$  და  $f$  ლითონები) დაჟანგულობის ხარისხის ზრდა ოქსიდების ფუძიანობის შემცირებას იწვევს და მათ მაღალ ოქსიდებს მჟავა ხასიათი აქვს.

ცხრილი 1. ლითონების ელექტროდული პოტენციალი

ლითონი	ელექტროდული პოტენციალი, ვ	ლითონი	ელექტროდული პოტენციალი, ვ
Li	- 3,045	Fe	- 0,440
Rb	- 2,925	Cd	- 0,403
K	- 2,924	Co	- 0,277
Cs	- 2,923	Ni	- 0,250
Ba	- 2,910	Sn	- 0,136
Sr	- 2,890	Pb	- 0,126
Ca	- 2,866	H	0,00
Na	- 2,714	Bi	+ 0,215
Mg	- 2,363	Cu	+ 0,337
Al	- 1,663	Ag	+ 0,799
Mn	- 1,179	Hg	+ 0,850
Zn	- 0,763	Pt	+ 1,188
Cr	- 0,744	Au	+ 1,692

შენიშვნა: აღმდგენელი ელექტროდების სტანდარტული პოტენციალები წყალბადის მიმართ აღნიშნულია “-” ნიშნით, ხოლო მჟანგავები აღნიშნულია “+” ნიშნით).

მასალების ქიმიური თვისებების შეფასება ხდება სხვადასხვა გარემოში (მჟავებში, ტუტეებში, მარილხსნარებში, წყალში და ჰაერზე), სხვა ქიმიურ ნივთიერებებთან მათი დამოკიდებულების განსაზღვრით. შერჩეული მასალების ქიმიური თვისებების ცოდნა აუცილებელია კონსტრუქციების მედეგობის წინასწარ შესაფასებლად. შენადნობებზე სხვადასხვაგვარი აქტიური აგენტის მოქმედებისას მათი ზედაპირი სხვადასხვა ინტენსიურობით იწყებს რღვევას და ეს პროცესი, დროთა განმავლობაში, ნაკეთობის ზედაპირიდან

სიღრმის მიმართულებით ვრცელდება. ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე გარემოს გავლენით გამოწვეულ ქიმიურ რღვევას ლითონების კოროზია ეწოდება.

მშრალი ჰაერის ატმოსფეროს პირობებში, ოთახის ტემპერატურაზე, ყველა ლითონისა და შენადნობის ზედაპირი იფარება თავისივე ჟანგეულის თხელი შრით (ფირით). ეს პროცესი ქიმიურად ყველაზე უფრო მდგრად-პლატინისა და ოქროს ზედაპირებზეც მიმდინარეობს. ტემპერატურის აწვევასა და შენადნობი უფრო ინტენსიურად იჟანგება და ნაკეთობის ზედაპირზე უფრო სქელი ფირი-ხენჯი-წარმოიქმნება (ხენჯის აშრევა ლითონის დეტალის განიკვეთის და, შესაბამისად, კონსტრუქციის მედეგობის შემცირებას იწვევს). ჟანგეულის ფირის წარმოქმნით ზოგიერთი ლითონი გარემოს გავლენის მიმართ უფრო მედეგი ხდება, ვიდრე თვითონ ლითონია. ამ მოვლენას ლითონების გაპასიურება (პასივაცია) ეწოდება.

ლითონებისა და კონსტრუქციების რღვევა შეიძლება ელექტროქიმიური პროცესებით გამოწვეული კოროზიითაც მოხდეს. ელექტროლიტურ ხსნარში მოთავსებული ყოველი ლითონი დადებითად დამუხტულ იონებს გამოყოფს. ცალკეული ლითონი ხსნარში განსხვავებული რაოდენობის იონებს გამოყოფს, რის შედეგადაც ისინი ელექტროლიტში მოთავსებისას სხვადასხვა პოტენციალს იძენენ. უნდა აღინიშნოს, რომ ლითონური შენადნობების ქცევა ელექტროლიტებში და მათი ელექტროქიმიური კოროზიის მექანიზმიც, ლითონებისთვის აღწერილი მოვლენის ანალოგიურია

## 14 ლითონური მასალების ტექნოლოგიური თვისებები

ტექნოლოგიური თვისებები არის მჭრელი იარაღით—ჭრით—დამუშავებადობა, შედუღებადობა, ჭედადობა, საჩამომსხმელო თვისებები და სხვა. ანუ მასალის უნარი დაექვემდებაროს ცივ და ცხელ მდგომარეობაში დამუშავების ამა თუ იმ ტექნოლოგიას. მათი საშუალებით ირკვევა, შესაძლებელია და ადვილია თუ არა შერჩეული მასალისაგან, მოცემული ტექნოლოგიით, დეტალის დამზადება. წარმოებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ლითონებისა და შენადნობების ტექნოლოგიური თვისებების ცოდნას. მათი საშუალებით ხდება მანქანა-მოწყობილობების დეტალების დამზადების ხერხებისა და მეთოდების შერჩევა, დამზადების ამა თუ იმ ოპერაციის განხორციელება. ტექნოლოგიურ თვისებებს ტექნოლოგიური სინჯებით ახასიათებენ. ისინი, შერჩეული ხერხით, ლითონის დამუშავების ვარგისობის ხარისხობრივ შეფასებას იძლევიან. თუ ტექნოლოგიურ სინჯად გამოყენებულ ნიმუშზე, გამოცდის შემდეგ დათვალიერებისას, არ აღმოჩნდება ბზარი, ჩანახევი, განშრევა ან რღვევის სხვა ნიშანი, ჩაითვლება, რომ ნიმუშმა გაუძლო გამოცდას. განვიხილოთ ლითონების ძირითადი ტექნოლოგიური თვისებები ზოგადად:

ა) **ჭრით დამუშავებადობა** არის ლითონის ან შენადნობის რეაქცია მასზე მჭრელი ინსტრუმენტის განსაზღვრული სიჩქარითა და ძალით მოქმედების პროცესზე. იგი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ტექნოლოგიური თვისებებია. მექანიკურად (ჭრით) მუშავდება ლითონური ნამზადების უდიდესი უმრავლესობა, ასევე კონსტრუქციის შენადნული კვანძების დეტალები. სუფთა და გლუვი ზედაპირის მისაღებად ზოგიერთი ლითონი კარგად, ზოგიერთი კი, მალაღი

სისაღის გამო, ცუდად მუშავდება. ცუდად მუშავდება დაბალი სისაღის მქონე ბლანტი ლითონებიც. ჭრით დამუშავების შემდეგ, მათი ზედაპირები მქისე და ანაგლეჯებიანია. დამუშავებადობის გაუმჯობესება (მაგ., ფოლადების) თერმული დამუშავებით სისაღის მომატებით ან შემცირებით მიიღება;

**ბ) შედუღებადობა** არის ლითონის უნარი, როგორც წესი, სხვა ლითონებთან წარმოქმნას ძირითადი ლითონების თვისებებთან მიახლოებული თვისებების მქონე შენადული ნაკერი. სხვანაირად: შედუღებადობა არის მასაღის ან შეუღლებული მასაღების თვისება, შედუღების დადგენილი ტექნოლოგიით წარმოქმნას შენადული შენაერთი, რომელიც უპასუხებს ნაკეთობის საექსპლუატაციო მოთხოვნებს. არსებობს ფიზიკური და ტექნოლოგიური შედუღებადობის ცნება. ფიზიკური შედუღებადობა გულისხმობს ქიმიური კავშირებით მონოლითური შენადული ნაერთის მიღებას. ასეთი შედუღებადობა თითქმის ყველა სუფთა ლითონსა და შენადნობს ახასიათებს. ტექნოლოგიური შედუღებადობა არის ლითონის მახასიათებელი, რომელიც განსაზღვრავს დამუშავების მოცემული მეთოდისადმი დაქვემდებარების და წინასწარგანსაზღვრული საექსპლუატაციო თვისებების მქონე შენადული ნაერთის წარმოქმნის უნარს. ტექნოლოგიური შედუღებადობის დასადგენად უნდა განისაზღვროს: შენადული ლითონის ქიმიური შედგენილობა, სტრუქტურისა და თვისებების შედუღების ხერხზე დამოკიდებულება, ნაკერმიდებარე ზონის სტრუქტურა, ნაკერის მექანიკური თვისებები და ბზარწარმოქმნისადმი მასაღის მიდრეკილება. პრაქტიკულად შედუღებადობა შენადული ნაკერის გაჭიმვასა და ღუნვაზე გამოცდის სინჯებით განისაზღვრება;

**გ) ჭედადობა** არის ლითონის ჭედვის უნარი, ცივ ან ცხელ მდგომარეობაში, გარეგანი ძალების მოქმედებით, რღვევის რაიმე ნიშნის გარეშე, შეიცვალოს საწყისი ფორმა. ჭედადობასთანაა დაკავშირებული დამუშავების ისეთი უმნიშვნელოვანესი სახეები, როგორცაა გლინვა, წნეხა, ადიღვა, ჭედვა და შტამპვა. წნევით დამუშავების სხვადასხვა ხერხით ნაკეთობის დასამზადებლად ლითონის შერჩევისას, მხედველობაში მიიღება მასალის დამუშავების მოცემული მეთოდისადმი დაქვემდებარების უნარი. ჭედადობის განსაზღვრა ხდება სამჭედლო სინჯის დეფორმაციის მოცემულ ხარისხამდე დასმით (ნიმუშის სიმაღლე, ჩვეულებრივ, მისი დიამეტრის გაორმაგებული სიდიდით აიღება). თუ ნიმუშის გვერდით ზედაპირზე ბზარი არ წარმოიქმნა, ითვლება, რომ ასეთი ლითონი ვარგისია წნევით დამუშავებისათვის. ჭედადობის ხარისხი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი პლასტიკურობაა. იგი ახასიათებს მასალის უნარს დაურღვევლად დეფორმირდეს. რაც უფრო მაღალია მასალის პლასტიკურობა, მით უფრო დიდ ჯამურ მოჭიმვას უძლებს იგი.

ლითონების წნევით დამუშავებისას პლასტიკურობაზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს: დასამუშავებელი მასალის შედგენილობა და სტრუქტურა, დაძაბული მდგომარეობის ხასიათი დეფორმაციისას, დეფორმაციის არათანაბრობა, დეფორმაციის სიჩქარე, დეფორმაციის ტემპერატურა და სხვ. დამუშავებისას აღნიშნული ფაქტორებიდან რომელიმეს ცვლილება იწვევს პლასტიკურობის ცვლილებას. ზოგადად განვიხილოთ თითოეული მათგანის პლასტიკურობაზე გავლენა;

**ა) ლითონის შედგენილობა და სტრუქტურა.** მასალის პლასტიკურობა პირდაპირაა დამოკიდებული ქიმიურ შედგე-

ნილობაზე. ფოლადში ნახშირბადის შემცველობის ზრდა პლასტიკურობის შემცირებას იწვევს. პლასტიკურობაზე დიდ გავლენას ახდენს ფოლადში მინარეგების სახით შემავალი ელემენტები: კალა, სტიბიუმი, ტყვია, გოგირდი. ისინი ლითონში არ იხსნებიან. განთავსდებიან მარცვლის საზღვრებზე და მათ შორის კავშირებს ასუსტებენ. ამ ელემენტების დნობის ტემპერატურა დაბალია და ცხელი დეფორმაციის ჩასატარებლად ლითონის გახურებისას დნებიან. იწვევენ პლასტიკურობის დაკარგვას. პლასტიკურობა დამოკიდებულია ლითონის სტრუქტურულ მდგომარეობაზეც (განსაკუთრებით კი ცხელი დეფორმაციისას). პლასტიკურობას დაბლა სწევს მიკროსტრუქტურის არაერთგვაროვნებაც. ერთფაზა შენადნობი, სხვა თანაბარ პირობებში, ყოველთვის უფრო პლასტიკურია ვიდრე ორფაზა. ფაზების განსხვავებული მექანიკური თვისებები არათანაბარ დეფორმაციას იწვევს. წვრილმარცვლოვანი ლითონი უფრო პლასტიკურია, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანი. ზოდის ლითონი უფრო ნაკლებპლასტიკურია, ვიდრე ნაგლინი ან ნაჭკელი ლითონი, რადგან სხმულის სტრუქტურა მარცვლების, ჩანართების და სხვა დეფექტების მკვეთრი არაერთგვაროვნებით ხასიათდება;

**ბ) დაძაბული მდგომარეობის ხასიათი.** დაძაბული მდგომარეობის სქემის ცვლილებისას ერთი და იგივე მასალა სხვადასხვა პლასტიკურობას ავლენს. 1912 წელს გამოჩენილმა მეცნიერმა თეოდორ ფონ კარმანმა (1881-1963), სქელკედლიან ცილინდრში განთავსებულ ნიმუშზე 170 მეგა ნ/მ<sup>2</sup> წნევით გლიცერინის დაჭირხვნიტ ქვიშაქვისა და მარმარილოს დასმა შეძლო. ყოველმხრივი კუმშვის სქემით განხორციელებული დეფორმაციის შემდეგ ნიმუშების ნარჩენმა დეფორმაციამ 9% შეადგინა (შემდეგ მან 78 %-იანი

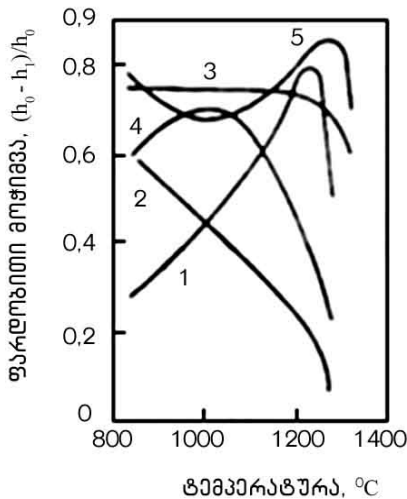
ნარჩენი დეფორმაციის მიღწევა შეძლო). პლასტიკური თვისებების გამოვლენის ყველაზე უფრო ხელსაყრელ დაძაბული მდგომარეობის სქემას ყოველმხრივი კუმშვა წარმოადგენს. ამ დროს მარცვალთშორისი დეფორმაცია ძნელდება და მთელი დეფორმაცია მარცვალთშიგა დეფორმაციით ხდება. დეფორმაციის სქემაში გამჭიმავი ძაბვების გაჩენისას პლასტიკურობა მცირდება და ყველაზე უფრო დაბალი პლასტიკურობა ვლინდება ყოველმხრივი გაჭიმვის სქემისას;

**გ) დეფორმაციის არათანაბრობა.** რაც მეტია დეფორმაციის არათანაბრობა, მით ნაკლებია პლასტიკურობა. დეფორმაციის არათანაბრობა დამატებითი ძაბვების გაჩენას იწვევს. გამჭიმავი ძაბვები ყოველთვის ამცირებენ პლასტიკურობას და ხელს უწყობენ მყიფე რღვევას. გარდა ამისა, დაძაბული მდგომარეობის არათანაბრობა მასალის მექანიკურ სიმტკიცეს ამცირებს, რადგან გარე დატვირთვებით გამოწვეული ძაბვები ჯამდება ნარჩენ გამჭიმავ ძაბვებთან და რღვევა იწყება უფრო ნაკლები სიდიდის დატვირთვებისას;

**დ) დეფორმაციის სიჩქარე.** ცხელი დეფორმაციისას, დეფორმაციის სიჩქარის მატებით, პლასტიკურობა მცირდება. დეფორმაციის არსებული არათანაბრობა აღძრავს დამატებით ძაბვებს, რომლებიც მხოლოდ იმ შემთხვევაში მოიხსნებიან, თუ სიმტკიცის კარგვის პროცესის სიჩქარე დეფორმაციის სიჩქარეზე ნაკლები არ იქნება;

**ე) ტემპერატურის ფაქტორი.** ტემპერატურის გააღება არაერთგვაროვანია. სურ. 1-ის შესაბამისად, დაბალ და საშუალონახშირბადიან ფოლადებში ტემპერატურის მატება ზრდის პლასტიკურობასაც (1), მაღალლევირებული ფოლადი ცივ მდგომარეობაში უფრო პლასტიკურია (2),

სასაკისრე ფოლადის პლასტიკურობა თითქმის არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე (3), ზოგიერთ შენადნობს შეიძლება ახასიათებდეს ამადლებული პლასტიკურობის ინტერვალი (4), ტექნიკური რკინა 800-1000°C ტემპერატურულ ინტერვალში შემცირებული პლასტიკური თვისებებით ხასიათდება (5), დნობის ტემპერატურასთან მიახლოებულ ტემპერატურებზე, შესაძლებელი გადახურების ან გადაწვის გამო, ლითონების პლასტიკურობა მკვეთრად მცირდება;



სურ. 1. სხვადასხვა ლითონის ფარდობითი მოჭიმვის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

**დ) საჩამოსხმელო თვისება** არის თხევადი ლითონის უნარი, მისგან დამზადდეს სხმულები ბზარების, ნიჟარების და სხვა დეფექტების გარეშე. ძირითადი საჩამოსხმელო თვისებებია: თხელდენადობა (თხევადი ლითონის უნარი, შეავსოს სამსხმელო ყალიბი) ან თხევადი ლითონის მახასიათებელი, რომელიც სიბლანტის საპირისპირო სიდიდეს

წარმოადგენს. იგი იზომება გარკვეული კუთხით მოღუნული სხმულის წარმოქმნის უნარით; ჩაჯდომა არის კრისტალიზაციისას მოცულობის შემცირება. იგი წარმოადგენს ჩაჯდომის ნიჟარებისა და ჩაჯდომის სიცარიელების წარმოქმნის მიზეზს ზოდებსა და სხმულებში; ლიკვაცია არის შენადნობის ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნება, რომელიც ჩნდება კრისტალიზაციის პროცესში და განპირობებულია იმით, რომ სუფთა ლითონებისგან განსხვავებით, შენადნობები მყარდება არა ერთ გარკვეულ ტემპერატურაზე, არამედ ტემპერატურულ ინტერვალში. რაც უფრო ფართოა კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი, მით უფრო მეტად ვითარდება ლიკვაცია. ლიკვაციისადმი დიდ მიდრეკილებას ავლენენ შენადნობის ის კომპონენტები, რომლებიც კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალის გაფართოებაზე უფრო ძლიერ მოქმედებენ. მაგ., ფოლადებში—გოგირდი, ჟანგბადი, ფოსფორი და ნახშირბადი;

**ე) შეწრთობადობა** არის ლითონის წრთობის უნარი განსაზღვრულ სიღრმეზე. იგი დასაბუთებულია ნაკეთობაში ნაწრთობი შრით (მარტენსიტული ან ნახევარმარტენსიტული სტრუქტურის გავრცელების სიღრმით) ხასიათდება და წრთობის კრიტიკული სიჩქარით განისაზღვრება. შეწრთობადობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული შენადნობის შედგენილობაზე. მაგ., ლეგირებული ფოლადები, გადაცივებული აუსტენიტის მეტი მდგრადობით და, შესაბამისად, ნაკლები წრთობის კრიტიკული სიჩქარით ხასიათდებიან, ვიდრე ნახშირბადიანი ფოლადები და, აქედან გამომდინარე, უფრო დიდ სიღრმეზე იწრთობიან.

შეწრთობადობას ძლიერ ამაღლებს Mn, Mo, Cr, Ni და B-ის მცირე მინარევი. ექსპერიმენტულად შეწრთობადობის სიღრმე განისაზღვრება ტორსული წრთობით. ამ დროს ცილი-

ნდრული ნიმუში, საწრთობი სითხის ჭავლით, მხოლოდ ტორსიდან ცივდება (გვერდითი ზედაპირები იზოლირებულია). შეწრთობადობის სიღრმე განისაზღვრება (გვერდით ზედაპირებზე გაზომილი) სისაღის, როგორც მანძილის ფუნქცია ცილინდრის ტორსიდან. იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არის უზრუნველყოფილი ნაკეთობის გულის წრთობა (ე.ი. გულში გაცივების სიჩქარე ნაკლებია წრთობის კრიტიკულ სიჩქარეზე), შეწრთობადობას არასრული ეწოდება. როდესაც ნაკეთობის მთელი მოცულობა იწრთობა (ე.ი. ამ დროს ნაკეთობის გულში გაცივების ჭეშმარიტი სიჩქარე აღემატება წრთობის კრიტიკულ სიჩქარეს), შეწრთობადობას გამჭოლი ეწოდება.

ჩვეულებრივ, ლითონებიდან პროდუქციის მიღება ხდება: გადნობითა და ჩამოსხმით, ჭედვით, შტამპვით, გრეხით, გლინვით, შედუღებით, გრავირებითა და სხვ. თუ ლითონური მასალების ზემოთ ჩამოთვლილი თვისებები გათვალისწინებული იქნება, მაშინ, პრაქტიკულად, შესაძლებელი იქნება ლითონურ ნამზადებსა და ნაკეთობებზე მრავალი ტექნოლოგიური მოქმედების ჩატარება და წინასწარგანსაზღვრული შედეგების მიღწევა.

## **15 ლითონური მასალების სამქსპლოატაციო თვისებები**

მასალის იმ თვისებებს, რომლებიც ნაკეთობის სხვადასხვა პირობებში ექსპლუატაციისას გამოვლინდება, საექსპლუატაციო თვისებები ეწოდება. საექსპლუატაციო თვისებებს მიეკუთვნება: ცვეთამედეგობა, კოროზიული მედეგობა, ცივმეტეხობისადმი მედეგობა, მხურვალმტკიცობა, მხურვალმედეგობა ანტიფრიქციულობა და მისთ. აღნიშნული თვისებები განისაზღვრება სპეციალურ პირობებში მომუშავე

საკვლევი ობიექტის პირობების შესაბამისი სპეციალური გამოცდებით.

**ა) ცვეთამედგობა** ერთ-ერთი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო თვისებაა. იგი წარმოადგენს მასალის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს ცვეთას, ანუ სხეულის ზომებისა და ფორმის თანდათანობით ცვლილებას, გამოწვეულს ხახუნისას ნაკეთობის ზედაპირული შრის რღვევით. ლითონების ცვეთაზე გამოცდა სპეციალურ ნიმუშებზე ლაბორატორიულ პირობებში ტარდება, ხოლო დეტალების გამოცდა-ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში. ნიმუშების გამოცდისას ხდება რეალურთან მიახლოებული ცვეთის პირობების მოდელირება. ნიმუშების ან დეტალების კვლევის შედეგებს-ცვეთის სიდიდეს-სხვადასხვა მეთოდით განსაზღვრავენ: საწყისი და საბოლოო ზომების შედარებით, ნიმუშების წონის დანაკარგით და სხვა.

**ბ) კოროზიული მედეგობა** არის მასალის უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს ქიმიურ ან ელექტროქიმიურ რღვევას, მასზე გარე, ქიმიურად აგრესიული, არეების და მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას. კოროზიული მედეგობა, მოცემულ გარემოში, კოროზიის სიჩქარით განისაზღვრება. კოროზიის სიჩქარის შესაფასებლად გამოიყენება ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლები. ხარისხობრივს მიეკუთვნება: ლითონების ზედაპირის გარეგანი სახის ცვლილება, მისი მიკროსტრუქტურის ცვლილება და სხვ. რაოდენობრივ მახასიათებლებს-დრო კოროზიის პირველი კერის გაჩენამდე ან დროის გარკვეულ შუალედში წარმოშობილი კოროზიის კერების რიცხვი; მასალის სისქის შემცირება დროის ერთეულში; ლითონის მასის ცვლილება ნაკეთობის ზედაპირის ერთეულ ფართობზე დროის ერთეულში; კოროზიის პროცესში ზედაპირის ერთეული-

დან გამოყოფილი (შთანთქმული) გაზის მოცულობა დროის ერთეულში; მოცემული კოროზიის სიჩქარის შესაბამისი დენის სიმკვრივე; მექანიკური თვისებების რომელიმე მაჩვენებლის, ელექტროწინააღობის, კოროზიული პროცესის განსაზღვრულ დროში ამრეკლავი უნარის და სხვათა ცვლილება (პროცენტებში). ყველა მასალას განსხვავებული კოროზიული მედეგობა გააჩნია. მის ასამაღლებლად ფართოდ გამოიყენება შენადნობების ლეგირება, დამცავი დანაფარების დატანა ნაკეთობების ზედაპირებზე, პასივაცია და სხვა. სხვადასხვა პირობებში ლითონების კოროზიული მედეგობის შესაფასებლად, არსებულ სკალებს შორის, ყველაზე გავრცელებულია ათბალიანი სკალა.

**გ) მხურვალმტკიცობა** არის საკონსტრუქციო მასალების უნარი, მნიშვნელოვანი დეფორმირების გარეშე გაუძლოს მექანიკურ დატვირთვებს მაღალ ტემპერატურებზე. იგი განისაზღვრება ისეთი თვისებების კომპლექსით, როგორცაა: ცოცვადობისადმი წინააღობა, ხანგრძლივი სიმტკიცე და მხურვალმედეგობა. ამდენად, მხურვალმტკიცობის შესაფასებლად აუცილებელია ჩატარდეს მექანიკური გამოცდები და განისაზღვროს ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა: ა) ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი—უდიდესი მექანიკური ძაბვა, რომელიც განსაზღვრულ ტემპერატურაზე დატვირთვის განსაზღვრული ხანგრძლივობით მოქმედებისას, მოცემულ სამუშაო ატმოსფეროში, ნიმუშის ან ნაკეთობის რღვევას იწვევს; ბ) ცოცვადობის ზღვარი—უდიდესი პირობითი გამჭიმავი ძაბვა, რომლის დროსაც ცოცვადობის სიჩქარე ან დეფორმაცია განსაზღვრულ დროში მოცემულ მნიშვნელობებს აღწევს.

**დ) მხურვალმედეგობა** (ხენჯმედეგობა) არის ლითონებისა და შენადნობების უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს მაღალ

ტემპერატურებზე ჰაერის ან სხვა მუანგავი გარემოს ზემოქმედებისას მათი ქიმიური ურთიერთქმედებით გამოწვეულ რღვევას ნაკეთობის ზედაპირზე. მუანგავ გარემოში ლითონების მხურვალმედგობა განისაზღვრება ნაკეთობის ზედაპირზე წარმოქმნილი ოქსიდების შრის თვისებებით. კერძოდ, დიდი მნიშვნელობა აქვს დადგინდეს, რამდენად ართულებს იგი აირების დიფუზიას ლითონის სიღრმეში და რა წინააღმდეგობას უწევს ამით აირული კოროზიის განვითარებას. მხურვალმედგობის რაოდენობრივი მახასიათებლებია: გამოსაცდელი ნიმუშის მასის მატება ჟანგბადის შთანთქმით ან ზედაპირიდან ოქსიდური ხენჯის მოცლით გამოწვეული მასის კლება, გადათვლილი ფართობის ერთეულზე და გამოცდის დროზე. მხურვალმედგობა, მხურვალმტკიცობასთან ერთად, წარმოადგენს მოცემული ლითონის მაღალტემპერატურულ პირობებში საექსპლუატაციოდ ვარგისობის განსაზღვრის ძირითად კრიტერიუმს.

**ე) ცივმეტეხობისადმი წინააღმდეგობა.** ცივმეტეხობა არის მასალის პლასტიკურობის კარგვა და სიმყიფის გამოვლენა (ან მნიშვნელოვანი ზრდა) ტემპერატურის დაწვევისას. ზოგიერთი ლითონი და შენადნობი დაბალ ტემპერატურებზე მყიფდება. გამყიფების ფიზიკური ბუნება ჯერჯერობით დაუდგენელია და ისევ საკამათოა. არსებობს მოსაზრება, რომ ცივმეტეხობა მოცულობადაცენტრებული კუბური (მდკ) გისოსის მქონე ლითონებში და შენადნობებში უფრო გავრცელებულია. ცივმეტეხობისადმი მიდრეკილების რაოდენობრივ საზომს ცივმეტეხობის ტემპერატურა (ზღურბლი) წარმოადგენს. მყიფე რღვევა ამ დროს მოწყვეტით იწყება, ლითონის პლასტიკური დენადობის დაწყებაზე უფრო ადრე. ცივმეტეხობისადმი მიდრეკილობას ხელს უწყობს ლითონში ჩანერგვის მინარევების არსებობა. ისინი, ტემპერატურის დაწვევით, გისოსის კუმშვასთან ერთად, შიგა ძაბვების

მატებას იწვევენ. ბლანტი რღვევიდან მყიფე რღვევაზე გადასვლის ტემპერატურა დამოკიდებულია თერმული დამუშავების რეჟიმებზე, მარცვლის ზომაზე, დატვირთვის სიჩქარესა და ძაბვების კონცენტრაციის სიდიდეზე. ყველაზე ხშირად ცივმეტეხობის შეფასება ჩანაჭრიანი პრიზმული ნიმუშის დარტყმით ღუნვაზე გამოცდით ხდება. მისი შეფასება შეიძლება აგრეთვე პლასტიკურობის მკვეთრი ცვლილების ტემპერატურით ან ბლანტი რღვევის წილით რღვევის რელიეფზე. ცივმეტეხობა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ჩრდილოეთი რაიონების (ცივი) ტემპერატურის პირობებში კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას კოსმოსური აპარატებისა და წყალბადის ძრავებისთვის. ცივმეტეხობის შემცირება მიიღწევა ლითონის მავნე მინარევებისგან გაწმენდით, თერმული დამუშავებით და ლეგირებით.

**ვ) ანტიფრიქციულობა** არის მასალის უნარი (ხანგრძლივი ხახუნისას), გამოავლინოს ამაღლებული მდგრადობა ცვეთის მიმართ საკონტაქტო ზედაპირებს შორის. ანტიფრიქციულ მასალებს მოეთხოვება: მოხახუნე ზედაპირების მუშაობის პროცესში წარმოქმნილ ტემპერატურებზე დატვირთვების ატანა, დენადობის ან ცოცვადობის გამოვლენის გარეშე; საექსპლუატაციო არის მიმართ მედეგობა; ხახუნის კოეფიციენტის დაბალი სიდიდე სრიალის ხახუნის პირობებში; მოხახუნე ზედაპირების შეხეთვის კარგი უნარი (რაც მთავარია, მან უნდა უზრუნველყოს მუშაობის ნორმალური რეჟიმები საპოხის არათანაბარი მიწოდებისას); გარდა ამისა, მასალას უნდა ახასიათებდეს ადჰეზიის დაბალი უნარი, კარგი მისახმარისება, კარგი თბოგამტარობა და თვისებათა სტაბილურობა.

მასალის ანტიფრიქციულობა ვლინდება საპოხის არასრულყოფილი მიწოდებისას (ან საპოხის გარეშე ხახუნისას) და იგი დამოკიდებულია მასალის ისეთ ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე როგორცაა: თბოგამტარობა, სითბოტევადობა, ხახუნის შემამცირებელი მტკიცე სასაზღვრო შრის წარმოქმნის უნარი, ადვილად დეფორმირების (დრეკადად ან პლასტიკურად) ან ცვეთის უნარი, რაც ხელს შეუწყობს შეხების ზედაპირებზე დატვირთვის თანაბარ განაწილებას (მისამართის თვისება). ანტიფრიქციულობას განსაზღვრავს ასევე მოხახუნე ზედაპირების მიკროგეომეტრიული აგებულება, სახელობრ, სიმქისისა და ფორიანობის ხარისხი. მასალა უნდა ხასიათდებოდეს მოხახუნე ზედაპირებზე მოხვედრილი სალი აბრაზიული ნაწილაკების ”შთანთქმის” უნარით, რითაც შეუღლებულ დეტალებს დაიცავს ცვეთისგან. მშრალი ხახუნის დროს ანტიფრიქციულობის გამოვლენას ხელს უწყობს ისეთი კომპონენტების არსებობა მასალაში, რომლებსაც თვითონ გააჩნიათ შეზეთვის უნარი და მოხახუნე ზედაპირზე მოხვედრისას ამცირებენ ხახუნს (მაგ., გრაფიტი). ანტიფრიქციულობის (ხახუნის ყველა პირობებში) განსაზღვრის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა შეუღლებული დეტალების მასალების ”შეკვრის” (აღჭეხის) უნარის გამოვლენა (ანტიფრიქციული მასალები აღჭეხის უუნარობით ან მცირე უნარით უნდა ხასიათდებოდეს). ხახუნისას ”შეკვრისადმი” ყველაზე მიდრეკილი, წახნაგ-დაცენტრებული კუბური (წდკ) გისოსის მქონე ერთსახელა მასალების წყვილია. მასალათა შორის განსაკუთრებული ანტიფრიქციულობა მოეთხოვება სპეციალურ სასაქისრე შენადნობებს.

**ზ) რადიაციული მედეგობა** არის მასალის ხანგრძლივი რადიაციული დასხივებისას, ზომების, სტრუქტურისა და

თვისებების შენარჩუნების უნარი განსაზღვრულ დასაშვებ ზღვრებში. დასხივებისას ლითონური საკონსტრუქციო მასალა განიცდის სტრუქტურულ გარდაქმნას, რომელიც უარყოფით გავლენას ახდენს, პირველ რიგში, მექანიკურ თვისებებზე და კოროზიულ მედეგობაზე. გამოსხივების სახეებიდან (ნეიტრონული,  $\alpha$ - და  $\beta$ -ნაწილაკები,  $\gamma$ -გამოსხივება) ყველაზე ძლიერ გავლენას ნეიტრონული დასხივება ახდენს. რადიაციული გარემო ნეიტრონების სპექტრით და ნეიტრონული ნაკადით ხასიათდება. მაღალენერგეტიკული ნეიტრონების კრისტალური გისოსის ატომებთან დაჯახება იწვევს, ე.წ. რადიაციულ დაზიანებებს. დაჯახება ატომის ადგილიდან დაძვრას ან გისოსში ძვრების კასკადს იწვევს. ძვრის კასკადი გარკვეულ მოცულობაში მაღალი სიმკვრივის ვაკანსიებს აჩენს, ხოლო ამ მოცულობის პერიფერია გარშემორტყმულია მაღალი სიმკვრივის კვანძთშორისი ელემენტებით (მაგ., ერთ ნეიტრონს ალუმინში 6000-ზე მეტი ვაკანსიის წარმოქმნა შეუძლია). ძვრებთან ერთად, ნეიტრონული ნაკადები საკუთარი ენერჯით ატომებს ალაგზნებს, აძლიერებს მათ რხევებს და ტემპერატურას ლოკალურად ამაღლებს. ტემპერატურის ამაღლება ხელს უწყობს რადიაციულ მოღბობას, რომელსაც თან ახლავს ვაკანსიებისა და კვანძთშორისი ატომების ანიჰილაცია. მაღალი ტემპერატურა და ნეიტრონული დასხივება იწვევს ბირთვულ რეაქციას და ჰელიუმის წარმოქმნას. ჰელიუმი, თავის მხრივ, მარცვლის საზღვრებზე აირულ ბუშტებს წარმოქმნის. სტრუქტურული ცვლილება, როგორც წესი, მექანიკური თვისებების ცვლილებას იწვევს. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვევით—დაბალტემპერატურული დასხივებისას—ლითონი განმტკიცდება, რასაც თან სდევს სიბლანტისა და პლასტიკურობის კარგვა—გამყიფება. მასალების თვისებების დეგრადაციის პირველი მიზეზი, დასხივებისას,

სხვადასხვასახელა წერტილოვანი დეფექტების წარმოქმნას უკავშირდება. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზევით, დასხივების პირობებში (მაღალტემპერატურული დასხივება), წერტილოვანი რადიაციული დეფექტების როლი მცირდება. ვაკანსიები და კვანძთშორისი ატომები, ნაწილობრივ, ერთმანეთთან ანიჰილირდება, ერთიანდებიან კლასტერებში, რომლებიც, თავის მხრივ, შეიძლება კვანძთშორის ან ვაკანსიურ დისლოკაციურ მარყუებლად გარდაიქმნენ. მაღალტემპერატურული დასხივებისას დიფუზიური პროცესები აქტიურდება, გადაჯერებული მყარი ხსნარები იშლება და ხანგრძლივი სიმტკიცე კლებულობს (ტემპერატურისა და ნეიტრონების ნაკადის მატებასთან ერთად მხურვალსიმტკიცე ეცემა). ნეიტრონების დიდი ნაკადით დასხივებისას, ფოლადებსა და *Ni*-ის, *Ti*-ის, *Mo*-ის, *Zr*-ის და *Be*-ის ფუძის შენადნობებში ვაკანსიური ფორები ჩაისახება და იზრდება, ხოლო უფრო მოძრავი კვანძთშორისი ატომები შედარებით "შორეულ" მანძილზე-მარცვლის საზღვრებისაკენ-გადაადგილდებიან. აღნიშნული პროცესი მიკროფორებში, აირების თავმოყრასთან ერთად, ლითონის მოცულობის შესამჩნევ ზრდას, ე.წ. რადიაციულ გაფუებას, იწვევს. ქრომნიკელიანი შენადნობების ტიტანით, მოლიბდენით და ნიობიუმით ლეგირება ამცირებს გაფუებას. ანალოგიურად მოქმედებს წყალბადის ნაკლები ხსნადობის მქონე მაღალქრომიანი ფერიტული და პერლიტური ფოლადები. დასხივებისას მკვეთრად მცირდება ლითონური მასალების კოროზიული მედეგობა. ატომურ ელექტროსადგურებში, წყლისა და წყალორთქლოვან ტრაქტებში, თბომატარებლებად წყალი და წყლის ორთქლი გამოიყენება. რადიოლიზის შედეგად იცვლება ელექტროლიტის შედეგნილობა. ხდება წყლის მოლეკულის დაშლა ჟანგბადის იონებად (და მოლეკულებად),  $OH^-$  იონებად (და წყალბადად). წარმოქმნილი ჟანგბადი წყალთან და ორთქლთან კონტაქ-

ტში მყოფ ლითონს ჟანგავს, ხოლო წყლის რადიოლიზი და ჰიდროოქსიდის იონები ხელს უწყობს ზედაპირული ოქსიდური ფირის გახსნას (რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში ლითონს კოროზიისაგან იცავს). ლითონური მასალების რადიაციული მედეგობა დიდად განსაზღვრავს ბირთვული რეაქტორის უსაფრთხო მუშაობას. მრავალწლიანი კვლევების შედეგად დამუშავებულია რიგი ამაღლებული რადიაციამედეგი შენადნობებისა, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება მრავალ ათეულ ატომურ ელემენტოსადგურში.

## თაზი II ლითონური მასალების მექანიკური თვისებების ზოგადი ღაჟოფა

### 2.1 ღრეკადობა, ჰუკის ელემენტარული კანონი

მიუხედავად იმისა, რომ ღრეკადი დეფორმაციების გამოვლინება უხსოვარი დროიდან იყო ცნობილი (მშვილდისარი, ბალისტები, კატაპულტები, ბაგირის ღრეკადობა და სხვ.), მისი მეცნიერული გაცნობიერება, როგორც ნებისმიერი მყარი სხეულის თვისებისა, პირველად, 1660 წელს, ინგლისელმა მეცნიერმა, რობერტ ჰუკმა (1635–1703) შეძლო. იგი დიდი ნიუტონის თანამედროვე გამოჩენილი მეცნიერი, ინჟინერი და არქიტექტორი იყო. მან თავისი აღმოჩენა ძალიან მოკლედ–ლათინური აფორიზმის სახით (“*Ut tension sic vis*”)–ჩამოაყალიბა, რომლის აზრიც შემდეგნაირად გადმოიცემა: “როგორცაა ძალა, ისეთივეა წაგრძელება”. იმ დროს მიღებული “წესის” თანახმად, ჰუკმა გამოაქვეყნა არა ეს თეზისი, არამედ მხოლოდ მისი ანაგრამა “*ceiinossttuu*” (მაშინ ასეთი სახით, აღმოჩენის არსის გაუსხნელად, პრიორიტეტს უზრუნველყოფდნენ).

ჰუკი დარწმუნებული იყო, რომ ღრეკადობა მყარი სხეულების უნივერსალურ თვისებას წარმოადგენდა. მიუხედავად ამისა, თვლიდა, რომ თავისი თავდაჯერებულობა ექსპერიმენტით უნდა განემტკიცებინა. 1676 წელს ჰუკმა ღრეკადობისადმი მიძღვნილი წიგნი გამოსცა. იქ აღწერილი ცდების შედეგების საფუძველზე იგი ასკვნის, რომ ღრეკადობა არის თვისება “ლითონების, ხის, ქვის ქანების, აგურის, თმის, რქის, აბრეშუმის, ძვლის, კუნთების, მინის და მისთ.” და იქვე ახდენს ანაგრამის გაშიფვრასაც.

რობერტ ჰუკმა თავისი კვლევებით არა მხოლოდ დრეკადობის ფუნდამენტური კანონი აღმოაჩინა, არამედ ბიძგი მისცა ზამბარიანი ქრონომეტრების (მანამდე მხოლოდ ქანქარიანები იყო) გამოგონებასაც.

სხვადასხვა დრეკადი სხეულის (ზამბარების, ღეროების, მწვილდების) შესწავლით ჰუკმა დაადგინა, რომ მასალის გადამწვევტი მნიშვნელობის მიუხედავად, "პროპორციულობის კოეფიციენტი", კერძოდ ზამბარის სიხისტე, ძლიერაა დამოკიდებული დრეკადი სხეულის ფორმასა და ზომებზე.

ჰუკის შემდეგ დრეკად სხეულებზე ცდები მრავალმა ნაკლებად გამოჩენილმა და გამოჩენილმა მეცნიერმა (ბოილმა, კულონმა, ნავიემ) ჩაატარა. ცდების ერთ-ერთ ძირითად სახედ საკვლევი მასალიდან დამზადებული ღეროს გაჭიმვა იქცა. სხვადასხვა ლაბორატორიაში მიღებული შედეგების შესადარებლად ან ყოველთვის ერთნაირი ნიმუშით უნდა ესარგებლათ, ან ნიმუშის ზომების თვისებებთან შერწყმა უნდა გამოერიცხათ. 1807 წელს გამოვიდა თომას იუნგის წიგნი, რომელშიც მან დრეკადობის მოდულის ცნება შემოიტანა. დრეკადობის მოდული არის სიდიდე, რომელიც მასალის დრეკადობის უნარს საცდელი ნიმუშის ფორმისა და ზომებისგან დამოუკიდებლად აღწერს. ამ დროს ნიმუშზე მოდებული ძალის- $P$ -ს ნიმუშის განივკვეთის ფართობ  $F$ -ზე გაყოფა ძაბვა- $\sigma$ -ს, ხოლო წაგრძელების- $\Delta l$ -ის საწყის  $l$  სიგრძეზე გაყოფა ფარდობით წაგრძელებას- $\epsilon$ -ს იძლევა. ყოველივე ამის გათვალისწინებით, დრეკადი სხეულის დაძაბულ მდგომარეობასა და დეფორმაციას შორის კავშირის გამომსახველი ძირითადი კანონი გაჭიმვის (კუმშვის) უმარტივესი (ერთღერძა) შემთხვევისთვის შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: ცილინდრული ღეროს აბსოლუტური

წაგრძელება (კუმშვა)– $\Delta l$  გამჭიმავი (მკუმშავი) ძალის პირდაპირპროპორციულია. ე.ი.

$$\Delta l = kP$$

სადაც:

$$k = \frac{l}{EF},$$

$l$  არის ღეროს სიგრძე,

$F$ –ღეროს განივკვეთის ფართობი,

$E$ –გრძივი დრეკადობის მოდული, რომელიც მასალის მექანიკურ მახასიათებელს (მუდმივას) წარმოადგენს.

ჰუკის კანონის გამოსახვის უფრო მოხერხებული ფორმაა

$$\sigma = E\varepsilon,$$

სადაც:  $\sigma = \frac{P}{F}$  არის ნორმალური ძაბვა ღეროს განივკვეთში, ხოლო

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  –ღეროს ფარდობითი წაგრძელება; (კუმშვა);

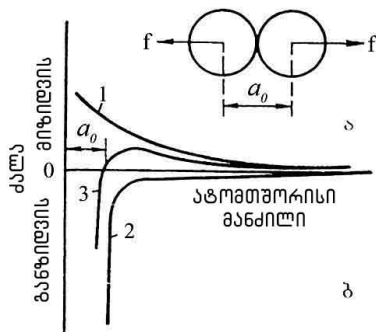
$E$  – პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ჰუკის კანონი ითვლება ძირითად თანაფარდობად, რომელიც გამოიყენება კონსტრუქციებისა და ნაგებობების სიმტკიცესა და დეფორმირებადობაზე გათვლებისას. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ ჰუკის კანონი მოქმედებას შეწყვეტს იმ შემთხვევებში, როდესაც რომელიმე ძაბვა (ან დეფორმაცია) მიაღწევს ცალკეული მასალისათვის დამახასიათებელ დრეკადობის ზღვრულ მნიშვნელობას.

## 2.2 ღრეკადი მღზომარეობის მახასიათებლები

ღრეკადობის ფიზიკური ბუნება დაკავშირებულია ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებებთან (მათ შორის ვან-დერ-ვაალსის ძალებთანაც). შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ღრეკადი დეფორმაციები ატომებს შორის მანძილების ცვლილებების შედეგია. მით უფრო ხისტია მასალა, რაც უფრო ნაკლებ დეფორმაციას იწვევს ძაბვა.

ჰუკის კანონი შეიძლება აიხსნას ატომების ღრეკადი ურთიერთქმედებით. კრისტალური გისოსიდან გამოვეყოთ გარე და შიგა ძაბვებისგან თავისუფალი ორი მეზობელი ატომი. სურ. 2 ა-ს შესაბამისად, ასეთ შემთხვევაში ატომები წონასწორობაშია, ანუ მათ შორის მოქმედი მიზიდულობის ძალები განზიდვის ძალებითაა გაწონასწორებული.

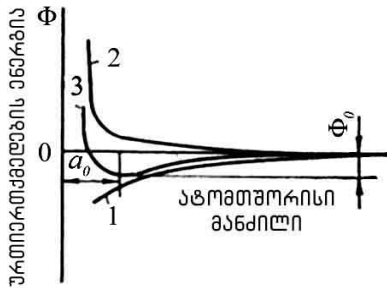


სურ. 2. ორ ატომს შორის ურთიერთქმედების ძალის დამოკიდებულება მათ შორის მანძილზე

კრისტალურ გისოსში ორ ატომს შორის ახლო მანძილზე ურთიერთქმედების ძალების სიდიდე (სხვა მეზობელი ატომების გავლენის გაუთვალისწინებლად) მათ შორის მანძილის ფუნქციაა და სქემატურად სურ. 2 ბ-ზე გამოსახული მრუდებით აღიწერება:

სურათიდან ნათლად ჩანს, რომ ატომებს შორის უსასრულოდ დიდ მანძილზე ურთიერთქმედების ძალები— $P$  ნულის ტოლია. ატომების დაახლოებისას მიზიდულობის ძალები იზრდება (მრუდი 1) და განსაზღვრულ ადგილზე მათ შორის განზიდვის ძალა (მრუდი 2) მკვეთრად იზრდება. ორ ატომს შორის წონასწორობის მანძილი განისაზღვრება მაჯამებელი მრუდი 3-ის ჰორიზონტალურ ღერძთან გადაკვეთის მაჩვენებლით (როცა, ძალა  $P=0$ ). იგი სიდიდით  $a_0$  მონაკვეთის ტოლია.

სქემატურად ორ ატომს შორის ურთიერთქმედების ენერგიაც, სურ. 3-ის შესაბამისად, ანალოგიური მრუდებით აღიწერება.



სურ. 3. ორ ატომს შორის ურთიერთქმედების ენერგიის დამოკიდებულება მათ შორის მანძილზე

ატომებს შორის უსასრულოდ დიდ მანძილზე ურთიერთქმედების ენერგია ნულის ტოლია (მრუდი 1). ატომების დასახლოებლად შესრულებული მუშაობის სიდიდე ათვლდება საწყისი ნულოვანი წერტილიდან. შედეგად მიიღება მიზიდულობის შესაბამისი მრუდი-1, განზიდულობის-2 და მაჯამებელი ენერგეტიკული მრუდი-3. მისი მინიმუმი შეესაბამება წონასწორობის— $a_0$  წერტილის მდებარეობას. ამდენად, თუ სხეულზე მოდებულია დრეკადი დეფორმაციის გამომწვევი ძალა, მაშინ ატომებს შორის წონასწორობის მანძილი იცვლება და წონასწორობის ახალი მდგომარეობა მყარდება. ამ მდგომარეობაში ატომებს შორის ურთიერთ-

ქმედების შეცვლილი ძალებით გარედან მოდებული ძალის კომპენსირება ხდება. საწყისი წონასწორული მდებარეობიდან ატომების გადანაცვლება ატომთშორისი, ახალი და ძველი, მანძილებით ხასიათდება:

$$u = a - a_0,$$

სადაც:  $a$  არის ატომებს შორის მანძილი.

თუ სხეულზე მოდებული ძალა- $P$  გამჭიმავია, მაშინ  $a > a_0$ -ზე და წანაცვლება  $u$  დადებითია, ხოლო კუმშვისას  $a < a_0$ -ზე და  $u < 0$ -ზე. კვლევებით დადგენილია, რომ დრეკადობის მოდული არ არის დამოკიდებული დეფორმაციის ნიშანზე. მისი სიდიდე გაჭიმვისას და კუმშვისას ერთნაირია.

დრეკადი მდგომარეობისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრებია: დრეკადობის ზღვარი (ან უხეშად, დენადობის ზღვარი) და დრეკადობის მოდულები.

დენადობის ზღვარი განსაზღვრავს ზღვრულად დასაშვებ საექსპლოატაციო დატვირთვას, რომლის დროსაც ლითონი მხოლოდ დრეკად ან მცირე, დასაშვებ, დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდის (პროპორციულობის ან დრეკადობის ზღვრები დრეკადი მდგომარეობის საზღვარს რამდენადმე უფრო ზუსტად ასახავენ).

დრეკადობის მოდულები ახასიათებენ მასალის წინააღმდეგობის უნარს დრეკად მდგომარეობაში დატვირთვის მოქმედებაზე. ასხვაგვებენ დრეკადობის მოდულის ორ ძირითად სახეს: 1. ნორმალური (გრძივი) დრეკადობის მოდული (იუნგის მოდული ან უბრალოდ დრეკადობის მოდული). 2. მხები დრეკადობის მოდული (ძვრის მოდული ან ჰუკის მოდული). პირველ შემთხვევაში, ძალები ცდილობენ

ატომები მოწვევიტონ ერთმანეთს, ხოლო მეორე შემთხვევაში—დაძრან ისინი ადგილიდან. როგორც აღვნიშნეთ, დრეკადობის მოდულების მნიშვნელობები ატომთშორისი ურთიერთქმედების ძალებით განისაზღვრება და მასალის მუდმივებს წარმოადგენს. სიდიდით იუნგის მოდული ჰუკის მოდულს 2,5–3-ჯერ აღემატება.

იუნგის მოდული  $E$  ასახავს წინაღობას ნორმალური ძაბვებისადმი (გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა), ხოლო ძვრის მოდული  $G$ —მხები ძაბვებისადმი (გრეხა). რაც მეტია დრეკადობის მოდულები (მით მეტია დრეკადი უბნის დახრილობა ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამაზე), მით ნაკლებია დრეკადი დეფორმაციების სიდიდე ტოლი ძაბვებისას და, აქედან გამომდინარე, მეტია კონსტრუქციის სიხისტე.

დრეკადი დეფორმაციები ყოველთვის ნაკლებია  $\frac{\sigma_e}{E}$  სიდიდეზე. მათი დახმარებით განისაზღვრება ზღვრულად დასაშვები საექსპლოატაციო დეფორმაციები (დენადობის ზღვრის ჩათვლით) და ნაკეთობის სიხისტე. დრეკადობის მოდულებსა და ძაბვებს ერთნაირი განზომილებები (მპა, ნ/მ<sup>2</sup>, კგძ/მმ<sup>2</sup>) აქვთ.

სასურველია, საკონსტრუქციო მასალები დენადობის მაღალი ზღვრებისა (იტანს დიდ დატვირთვებს) და დრეკადობის მოდულების (უზრუნველყოფენ მაღალ სიხისტეს) მაღალი მაჩვენებლების შეხამებით ხასიათდებოდეს. გაჭიმვისას და კუმშვისას დრეკადობის მოდულებს ერთნაირი სიდიდე აქვს, ხოლო დენადობის ზღვრები შეიძლება სხვადასხვა ჰქონდეს.

## 2.3 მასალების დრეკადობის რაოდენობრივი მახასიათებლები

1. **ნორმალური დრეკადობის მოდული** (იუნგის მოდული)  $E$ . მისი განზომილება ისეთივეა, როგორც ძაბვის (მპა), ხოლო მისი აღნიშვნა ლათინური სიტყვის—*“elasticitat”*—დრეკადობის, პირველ ასონიშანს შეესაბამება. იგი ახასიათებს მასალის სიხისტეს და მასალის მახასიათებლების ისეთივე ტიპია, როგორც მისი სიმკვრივე, ელექტროგამტარობა, თბოგამტარობა და ა.შ. იუნგის მოდული  $E$  ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობის უნარს გაჭიმვაზე (კუმშვაზე), დრეკადი დეფორმაციის არეში ან ობიექტის თვისებას დეფორმირდეს ღერძის გასწვრივ, ერთდერძა ძალის ზემოქმედებისას. იგი განისაზღვრება ისე, როგორც მოდებული ძაბვის ფარდობა დეფორმაციაზე.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon},$$

სადაც:  $\sigma$  არის გამჭიმავი ძაბვა,  
 $\varepsilon$ —ფარდობითი წაგრძელება;

2. **მხები დრეკადობის მოდული**  $G$ . ახასიათებს მასალის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს ფორმის ცვლილებას მოცულობის უცვლელობისას. იგი განისაზღვრება როგორც ძვრის ძაბვის ფარდობა ძვრის დეფორმაციასთან (ისაზღვრება როგორც მხები ძაბვების მოქმედების სიბრტყეებს შორის არსებული სწორი კუთხის ცვლილება). ძვრის მოდული სიბლანტის ერთ-ერთ მდგენელია.

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

სადაც:  $\tau$  არის მხები ძაბვა,  
 $\gamma$ -ძვრა (ძვრის კუთხე);

**3. მოცულობითი დრეკადობის მოდული** (მოცულობითი კუმშვის მოდული)  $K$  ახასიათებს ობიექტის უნარს, შეიცვალოს მოცულობა ყოველმხრივი ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებისას (მოცულობითი ძაბვა).

$$K = \frac{\sigma}{\Delta} ,$$

სადაც:  $\Delta$  არის მოცულობის შემცირება.

დრეკადობის მოდულები სხეულის დეფორმაციების (სიდიდის) მოდებულ მექნიკურ ძაბვებზე დამოკიდებულების კოეფიციენტებია (და პირიქით). უმარტივეს შემთხვევაში, მცირე დეფორმაციისას, ეს დამოკიდებულება სწორხაზოვანია, ხოლო დრეკადობის მოდულები პროპორციულობის კოეფიციენტებია. არსებობს დრეკადობის სხვა მოდულებიც:

**1. პუასონის კოეფიციენტი.** დრეკად ღეროს წაგრძელების გარდა კიდევ ერთი ფუნდამენტური თვისება აქვს. სპეციალური ცდებით დადგენილია, რომ დრეკადი ღეროს გაჭიმვისას ყოველთვის აქვს ადგილი შემდეგ კანონზომიერებას: თუ განივ დეფორმაცია  $\epsilon'$ -ს ( $\epsilon' = \Delta d/d$ , სადაც:  $\Delta d$  არის ღეროს დიამეტრის შემცირების სიდიდე გაჭიმვისას,  $d$ -ღეროს საწყისი დიამეტრი) გაეყოფთ გრძივ დეფორმაცია  $\epsilon$ -ზე, აღმოჩნდება, რომ გამჭიმავი ძალის ნებისმიერი მნიშვნელობისას ეს ფარდობა მუდმივია.

$$\frac{|\epsilon'|}{\epsilon} = \nu = \text{const.}$$

(რადგან  $\varepsilon' < 0$ -ზე ამიტომ მისი აბსოლუტური მნიშვნელობა აიღება). მუდმივა  $\nu$ -ს პუასონის (ფრანგი მათემატიკოსის სიმონ დენი პუასონის საპატივცემულოდ) კოეფიციენტი ეწოდება. იგი არ არის ნიმუშის განივკვეთის ფართობის ფორმასა და ზომებზე დამოკიდებული, მხოლოდ მასალის მახასიათებელს წარმოადგენს. პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე სხვადასხვა მასალისთვის 0-დან (კორპის) 0,5-მდე (რეზინის) იცვლება. უკანასკნელ შემთხვევაში, გაჭიმვის პროცესში, ნიმუშის მოცულობა არ იცვლება (ასეთ მასალებს უკუმშველი მასალები ეწოდება). ლითონებისთვის  $\nu$  -ს, მნიშვნელობა სხვადასხვაა, მაგრამ ის ახლოსაა 0,3-თან.

**2. ღამეს (გაბრიელ) პარამეტრები:** თუ ღეროს გაჭიმვის განხილვიდან რომელიმე დრეკადი სხეულის განხილვაზე გადავალთ, რომელიც მოცემული ძალების მოქმედებას ექვემდებარება, მაშინ უნდა შევირჩიოთ რომელიმე  $M$  წერტილი და გადავიდეთ მისი შემომსაზღვრელი ელემენტარული პარალელეპიპედის (რომლის წახნაგებიც საკოორდინატო ღერძების  $XYZ$ -ის პარალელურია) განხილვაზე. როგორც ცნობილია, პარალელეპიპედის წახნაგებზე მოქმედებს  $\sigma$  ტენზორით მიწოდებული ძაბვები, რომლებიც  $\varepsilon$  ტენზორით განსაზღვრულ დეფორმაციას იწვევენ. ზოგადად, ჰუკის კანონი ამ ტენზორების კომპონენტებს შორის კავშირს ადგენს. იგი შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\sigma_{11}}{E} - \nu \frac{\sigma_{22}}{E} - \nu \frac{\sigma_{33}}{E} ,$$

$$\varepsilon_{22} = \frac{\sigma_{22}}{E} - \nu \frac{\sigma_{11}}{E} - \nu \frac{\sigma_{33}}{E} ,$$

$$\varepsilon_{33} = \frac{\sigma_{33}}{E} - \nu \frac{\sigma_{11}}{E} - \nu \frac{\sigma_{22}}{E} ,$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2G} \sigma_{12} ,$$

$$\varepsilon_{23} = \frac{1}{2G} \sigma_{23},$$

$$\varepsilon_{31} = \frac{1}{2G} \sigma_{31}$$

სადაც:  $E$  არის იუნგის მოდული;

$G$ —ძერის მოდული;

$\nu$ —პუასონის კოეფიციენტი.

უკანასკნელ სამ განტოლებაში ძერის მოდული  $G$ , დრეკადობის მოდული  $E$  და პუასონის კოეფიციენტი  $\nu$  შემდეგი განტოლებითაა ერთმანეთთან დაკავშირებული:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}.$$

ძერის მოდულის უშუალოდ განსაზღვრა შესაძლებელია მრგვალი კვეთის მქონე ნიმუშის გრეხაზე გამოცდით.

ჰუკის განზოგადებული კანონი ამტკიცებს, რომ ნებისმიერი ფორმის სხეულის რომელიმე წერტილის დაძაბული მდგომარეობა შესაძლებელია განისაზღვროს განსახილველი წერტილის ირგვლივ (მიდამოში) დეფორმაციის განმსაზღვრელი 6 ხაზობრივი სიდიდით. ამ თანაფარდობებში პროპორციულობის კოეფიციენტებს დრეკადობის მოდულებს უწოდებენ. ანიზოტროპიულ სხეულებში, მაგ., კრისტალებში, დრეკადობის მოდულები სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვა სიდიდისაა. აქედან გამომდინარე, ზოგადად, მყარი სხეულის დრეკადი თვისებები დრეკადობის 21 მოდულით დახასიათდება. იზოტროპიული სხეულებითვის დამოუკიდებელი დრეკადი მუდმივები ორამდე დადის. დეფორმირებადი იზოტროპიული სხეულის რომელიმე წერტილის დრეკადი ძაბვის კომპონენტების ამავე წერტილში დეფორმაციის კომპონენტებთან კავშირი, ლამეს მუდმივებით აისახება:

$$\sigma_x = 2\mu\varepsilon_{xx} + \lambda(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}),$$

$$\tau_{xy} = \mu \varepsilon_{xy}$$

სადაც:  $\sigma$  და  $\tau$  არიან ძაბვის ნორმალური და მხები მდგენელები;  
 $\varepsilon$ —დეფორმაციის კომპონენტები;  
 $\lambda$  და  $\mu$ —ლამეს მუდმივები.

ლამეს მუდმივები დრეკადობის მოდულთან და პუასონის  $\nu$  კოეფიციენტთან შემდეგი თანაფარდობითაა დაკავშირებული:

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} ,$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} .$$

სადაც:  $E$  არის გრძივი დრეკადობის მოდული;  
 $G$ —ძვრის მოდული.

ჰომოგენური და იზოტროპული მყარი მასალები, რომლებიც ხაზობრივი დრეკადი თვისებებით ხასიათდებიან, სრულად აღიწერება დრეკადობის ნებისმიერი წყვილი მოდულით. დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი ის წყვილი სიდიდეა, რომელიც სრულად ახასიათებს ნებისმიერი კონკრეტული იზოტროპიული მასალის დრეკად თვისებებს. წარმოდგენილი დრეკადობის მოდულები დამოკიდებულია სხეულის (ნაკეთობის) ქიმიურ შედგენილობაზე, წინასწარდამუშავებაზე, ტემპერატურაზე და სხვ.

## 2.4 არაღრეკადი მოგვინები

ა) **ზოგადი ნაწილი.** დრეკადობის არეში დადგენილი კავშირი ძაბვასა და დეფორმაციას შორის (ჰუკის კანონი) ისეთ

შემთხვევას ასახავს, როდესაც დატვირთვით გამოწვეული სისტემის ცვლილება კვალდაკვალ მიჰყვება დატვირთვის პროცესს. ე.ი. იგულისხმება, რომ დატვირთვის ნებისმიერი ცვლილება სისტემის მდგომარეობის მყისიერად ცვლილებას იწვევს. ამ პირობის დაცვა იმის გარანტიას იძლევა, რომ დატვირთვისა და განტვირთვის პროცესები, ენერგეტიკული თვალსაზრისით, შექცევადია. დატვირთვის დროს დახარჯული მთელი ენერგია განტვირთვისას თავისუფლდება და ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამაზე მათი შესაბამისი ხაზები ერთმანეთს ემთხვევა.

სხეულებში, გარე დატვირთვის ცვლილებისას, წონასწორობის შესაბამის ახალ მდგომარეობაში სისტემის მყისიერი გადასვლა არ ხდება. იგი საჭიროებს გარკვეულ დროს. ატომური სისტემის ასეთი დაგვიანება განპირობებულია მოდებული ძაბვებით გამოწვეული სისტემის სხვადასხვაგვარი თბური, მაგნიტური ან ატომური გადაწყობებით. ამ დროს ირდევება პირდაპირი კავშირი ძაბვასა და დეფორმაციას შორის და დიაგრამაზე დატვირთვა-განტვირთვის პროცესის ამსახველი ხაზები ერთმანეთს არ ემთხვევა. ჩნდება ჰისტერეზისის მარყუჟი. დატვირთვა-განტვირთვის ციკლური ცვლილებისას, მექანიკური ენერგიის ნაწილი გადადის სითბოში და ენერგიის შეუქცევი კარგვა ხდება. ერთი ციკლის დროს გაბნეული ენერგიის რაოდენობა განისაზღვრება  $\sigma$ - $\epsilon$ -ის კოორდინატებში წარმოქმნილი ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობით და მასალის "შინაგანი ხახუნის" ზომას წარმოადგენს.

იდეალური ერთგვაროვანი მასალა, აბსოლუტურად ერთგვაროვანი დეფორმაციისას, დრეკადიდან დრეკად-პლასტიკურ არეში გადასვლის მკაფიო და მკვეთრ გადასვლას უნდა იძლეოდეს. მონოკრისტალებს დრეკადიდან პლასტიკურ დეფორ-

მაციაზე მკვეთრი გადასვლა ახასიათებს. პოლიკრისტალებში ეს გადასვლა, დრეკადობის სწორი ხაზიდან ძაბვის ღერძის მიმართ, "მდოვრედ" გადახრას იწვევს, გარდა იმ განსაკუთრებული შემთხვევებისა, როდესაც შენადნობები დენადობის კბილით ხასიათდებიან. სტრუქტურის ჰომოგენურობის ზრდასთან ერთად, იზრდება დრეკადობის ზღვრის ფარდობა დენადობის ზღვარ –  $\sigma_{0,2}$ -თან. ნათელია, რომ ეს ფარდობა ერთს მით უფრო უახლოვდება, რაც უფრო მცირდება "სიმდოვრე" ძაბვის ღერძის მიმართ პლასტიკურ არეში გადასვლისას. პოლიკრისტალური მასალების დეფორმაციის პირობები და სტრუქტურა, დეფორმაციისას, არ არის ერთგვაროვანი. შესაბამისად, პლასტიკურ არეში გადასვლა მით უფრო "მდოვრედ" ხდება, რაც უფრო არაერთგვაროვანია მასალა. პოლიკრისტალის საწყისი პლასტიკური დეფორმაცია ლოკალური ხასიათსაა. იგი იწვება მაშინ, როდესაც სხეულის მოცულობის უმეტესი ნაწილი დრეკად არეში იმყოფება. ამასთანავე, ჯერ კიდევ მაკროსკოპული თვალსაზრისით, დრეკად არეში შეინიშნება ისეთი მოვლენები რომლებიც დრეკადი სხეულისათვის ნიშანდობლივი ქცევებიდან გადახრას იწვევს. მათ მიეკუთვნება: დრეკადი მერმეჭმედება, დრეკადი ჰისტერეზისი, "შინაგანი ხახუნით" გამოწვეული თავისუფალი რხევების მიღება და ბაუშინგერის ეფექტი. ისინი გაერთიანებულია საერთო დასახელებაში—არადრეკადი მოვლენები. აბსოლუტურად ჰომოგენური დეფორმაციისას მათ აღვილი არ აქვთ.

არადრეკადი მოვლენები დრეკადობის ზღვრის მნიშვნელობაზე ნაკლები ძაბვებისას ვლინდება. უნდა აღინიშნოს, რომ მერმეჭმედებისა და ჰისტერეზისის აღმოჩენა შეიძლება ჯერ კიდევ  $\sigma_{0,2}$  ძაბვისას, მრავალ პოლიკრისტალურ სხეულში (ზუსტი მეთოდების გამოყენებით). ჩვეულებრივ, არადრეკადი მოვლენები შეისწავლება დრეკადობის არეში მიმდინარე უმცირესი პლასტიკური დეფორმაციებისას.

რადგან ჩვენს მიზანს არ წარმოადგენს დრეკად არეში მცირე პლასტიკური დეფორმაციების დეტალური შესწავლა, თავს შევიკავებთ მათი დაწვრილებით განხილვისგან. მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციებისას ამ პროცესების გავლენა, უმეტესწილად, შეუმჩნეველი ხდება.

სრულყოფილი დრეკადობა არის სხეულის უნარი, დეფორმირდეს მხოლოდ გარეგანი დატვირთვებით (შიგა ძაბვების გავლენა ნულის ტოლია). "სრულყოფილი დრეკადობიდან" დრეკადი სხეულის გადახრის მიზეზებია: ა) დეფორმაციის დამოკიდებულება დატვირთვის სიდიდეზე, მისი მოდების თანამიმდევრობასა და მიმართულებაზე. (სხვადასხვაგვარი სახის დატვირთვის დიაგრამები ერთმანეთს არ ემთხვევა, რითაც ირღვევა შესაბამისობის ერთმნიშვნელობა დატვირთვასა და დეფორმაციას შორის); ბ) დეფორმაციის დამოკიდებულება დატვირთვასა და დროზე. ე.ი. არადრეკადი მოვლენები დამოკიდებულია დეფორმაციის სიჩქარეზე.

პირველი ჯგუფის გადახრები დრეკად ჰისტერეზისს, ხოლო მეორე, მცირე პლასტიკური დეფორმირებისას, მერმექმედების მოვლენებს იწვევს. მათი შესწავლა შესაძლებელია დატვირთვის ყველა ძირითადი-გაჭიმვის, კუმშვის, ღუნვის და გრეხის-მეთოდით. ჰისტერეზისისა და მერმექმედების მოვლენები, უმეტესად, ერთდროულად ხდება და მათი ერთმანეთისგან განცალკავება რთულია.

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ დრეკად მდგომარეობაში ლითონი მაკროსკოპულად არ დეფორმირდება და უმეტესად მხოლოდ ცალკეული მიკრომოცულობები განიცდის ლოკალურ მიკროპლასტიკურ დეფორმაციას. ეს მიკროდეფორმაციები, ე.წ. არადრეკადი მოვლენების გამომწვევი არიან. ისინი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ლითონის ქცევებზე დრე-

კად მდგომარეობაში. სტატიკური დატვირთვებისას ვლინდება დრეკადი მერმექმედება და რელასაცია, ხოლო დინამიკური დატვირთვებისას—შინაგანი ხახუნი. ლითონებში შინაგანი ხახუნის არსებობა მრავალ მექანიკურ ეფექტს იწვევს. მათ მიეკუთვნება პირდაპირი და შექცეული მერმექმედება, ძაბვების რელაქსაცია, თავისუფალი რხევების მიღევა და ა.შ. მათი არსებობა შესაძლებელია მხოლოდ დრეკადობის ზღვარზე ნაკლები ძაბვებისას.

ტემპერატურის მომატებისას ლითონების დრეკადი თვისებები უარესდება. ეს ვლინდება დრეკადი არის შევიწროებით (დრეკადობის ზღვრის შემცირებით), არადრეკადი მოვლენების გაძლიერებით და დრეკადობის მოდულების შემცირებით.

სტაბილური ზომების მქონე დრეკადი ელემენტებისათვის განკუთვნილი მასალები არადრეკადი თვისებების მინიმუმით უნდა ხასიათდებოდეს. ეს მოთხოვნა კარგად სრულდება, როდესაც დრეკადობის ზღვარი მნიშვნელოვნად აღემატება მუშა ძაბვას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია დრეკადობისა და დენადობის ზღვრების თანაფარდობა. რაც მეტია ფარდობა  $\sigma_e / \sigma_{0.2}$ , მით ნაკლებია არადრეკადი თვისებების გამოვლენა. ლითონის დრეკადი თვისებების შეფასებისას, დრეკადობის მაღალ ზღვართან ერთად, დიდი მნიშვნელობა აქვს  $\sigma_e / \sigma_{0.2}$  ფარდობის მაღალ მნიშვნელობასაც.

როცა ძაბვა დრეკადობის ზღვარს აღემატება, მაშინ, ლითონის დენადობის გამო, ძაბვასა და დეფორმაციას შორის პროპორციულობა ირღვევა. რეალური მასალის რეაქციის ანალიზს ის ფაქტი ართულებს, რომ მთელი მოცულობის ერთდროული გადასვლა პლასტიკურ არეში არ ხდება.

სტრუქტურისა და შედეგინილობის (ძაბვების კონცენტრაციის გამომწვევი ლიკვაციური ზონები, ჩანართები, სხვადასხვა ორიენტაციის კრისტალები პოლიკრისტალებში) მაკროსკოპულად ერთგვაროვან დაძაბულ მდგომარეობაში, მასალის ცალკეულ უბნებში, შესაძლებელია მიკროპლასტიკური დეფორმაცია იმ დროს, როდესაც მოცულობის დიდი ნაწილი ჯერ კიდევ დრეკად მდგომარეობაშია. ასეთი ლოკალური მიკროპლასტიკური დეფორმაციული პროცესები იწვევს მერმექმედებას, ძაბვების რელაქსაციას, ჰისტერეზისს. ამასთან, შესაბამისი ეფექტები უფრო ძლიერაა გამოსახული, ვიდრე სუფთა დრეკად არეში დატვირთვისას, როდესაც შინაგანი ხახუნი დისლოკაციების მოძრაობასთან არ არის დაკავშირებული.

**ბ) დრეკადი მერმექმედება.** დრეკადი მერმექმედება არის დეფორმაციის სიდიდის თვითნებური ცვლილება უცვლელი ძაბვისას. მერმექმედების დატვირთვა ”მოქმედებს შემდეგ”, ე.ი. დეფორმაცია ვლინდება არა დატვირთვის ცვლილებისთანავე, არამედ, მიიღწევა თანდათან, გარკვეული დროის განმავლობაში (შეკავებული შექცევადი დეფორმაცია). სხვა სიტყვებით, დეფორმაცია ისეთი სახით ჩამორჩება დატვირთვას, რომ ნიმუში სწრაფი დატვირთვისას დასაწყისში, შემცირებულ დეფორმაციას ავლენს (შემდეგ, უკვე მუდმივი დატვირთვისას, თანდათან მატულობს), ხოლო სწრაფი განტვირთვისას (არ არის აუცილებელი ნულამდე), პირიქით, ნიმუში, დასაწყისში, დატვირთვის პროპორციულად დეფორმაციის შემცირებას არ ავლენს, ხოლო შემდეგ (გარეგანი დატვირთვის არარსებობისას ან შემცირებისას), დროში, დეფორმაციის თანდათან შემცირება ხდება. მაგ., დატვირთვის ქვეშ მყოფი ზამბარებისა და მემბრანების დეფორმაციის დროში ცვლილება. იგი ხასიათდება საწყისსა და საბოლოო დეფორმაციებს შორის სხვაობით. რაც უფრო ნაკლებია ლითონის

მერმეკმედება, მით უფრო სტაბილურია დატვირთვის ქვეშ მყოფი ნაკეთობის ზომები.

დატვირთვის სწრაფი შეწყვეტის შემდეგ დეფორმაციის თანდათან მატებას, პირდაპირი მერმეკმედება ეწოდება, ხოლო დატვირთვის სწრაფი მოხსნის შემდეგ ან განტვირთვის დროს შეჩერებისას დეფორმაციის თანდათან შემცირებას, შექცეული დრეკადი მერმეკმედება ეწოდება. ამგვარად, ლითონის ქცევა ამ შემთხვევებში, შესაძლებელია განხილულ იქნეს როგორც შუალედური, სუფთა დრეკადსა და სუფთა პლასტიკურს შორის. ერთი მხრივ, დროის საწყის მომენტში დეფორმაცია პლასტიკურია (ნარჩენია), ის რჩება დატვირთვის სწრაფი ცვლილების შემდეგაც; მეორე მხრივ, დეფორმაცია შემდეგ დრეკადობის ნიშნებს იძენს და გარკვეული დროის შემდეგ იგი ქრება.

უმეტეს შემთხვევაში, მერმეკმედება სუფთა სახით არ ვლინდება. დატვირთვის ცვლილება, ჩვეულებრივ, არასაკმარისად სწრაფია და მერმეკმედება ასწრებს დატვირთვის ან განტვირთვის პროცესში გამოვლენას. ხშირად საკუთრივ პლასტიკურ დეფორმაციაზე მერმეკმედების ზედდება შეინიშნება და, ამის გამო, მას სხეულის საწყის ზომებამდე დაბრუნება არ შეუძლია. ტერმინი "დრეკადი მერმეკმედება" მიეკუთვნება იმ დატვირთვებს, რომლებიც დრეკადობის ზღვარზე გადასვლას არ იწვევენ, სხვაგვარად გვეჩვენოდა "პლასტიკური მერმეკმედება".

დენადობის ზღვარზე ნაკლები ძაბვებით (ხანგრძლივი დატვირთვით) გამოწვეული ნელი პლასტიკური დეფორმაცია შეიძლება განხილულ იქნეს აგრეთვე როგორც პირდაპირი მერმეკმედების გამოვლინება. ამგვარად, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ცოცვადობისას ვლინდება პირდაპირი მერმეკ-

მედება, ხოლო რელაქსაციისას—შექცეული დრეკადი მერმექმედება.

ისე როგორც სხვა დრეკადი არასრულყოფილებები, მერმექმედებაც დაკავშირებულია ადგილობრივ პლასტიკურ დეფორმაციებთან. ამის გამო, ის მატულობს სტრუქტურული ჰეტეროგენულობისას, დეფორმაციის პროცესის არაერთგვაროვნებისას და პლასტიკური დეფორმაციის ხელშემწყობი ყველა ფაქტორის გავლენისას. მაგ., ტემპერატურის ამალღებასთან ერთად, იზრდება როგორც მერმექმედების სიჩქარე, ისე მერმექმედებით გამოწვეული დეფორმაციის სიდიდეც. ტემპერატურის დაწვეისას, პირიქით, მერმექმედება მცირდება.  $-185^{\circ}\text{C}$ -ზე, ზოგ შემთხვევაში, მისი აღმოჩენაც კი შეუძლებელია. მერმექმედებაზე მოქმედებს დატვირთვის ხასიათი, ისე როგორც მოქმედებს პლასტიკურ დეფორმაციებთან დაკავშირებული სხვა პროცესები. რაც უფრო მეტია მხები ძაბვები, მით უფრო ძლიერია მერმექმედება. ასე, მაგ., ღუნვისას მერმექმედება მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე გრეხისას, ხოლო ყოველმხრივი (მოცულობითი) კუმშვისას (სადაც მხები ძაბვები არ არის), ის არ შეინიშნება.

დრეკად მერმექმედებას, მრავალ შემთხვევაში, მნიშვნელოვანი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ნაკეთობის სწორების დროს წარმოქმნილი პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად, ნაკეთობის განტვირთვის შემდეგ, დროთა განმავლობაში, მისი დაბრეცა (დეფორმაცია) ხდება. იგი შეიძლება შექცეული დრეკადი მერმექმედების ან I გვარის ნარჩენი ძაბვების მოქმედების შედეგი იყოს. პირველ შემთხვევაში მიზანშეწონილია, სწორების შემდეგ მოშვების ისეთი ტემპერატურა შეირჩეს, რომლის დროსაც შექცეული დრეკადი მერმექმედება სრულად წარიმართება. ამით, შემდგომი

ექსპლუატაციისას, დაბრეცის შესაძლებლობა თავიდან იქნება აცილებული.

პირდაპირი დრეკადი მერმექმედება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზამბარების, მემბრანების და სხვა ხანგრძლივი დატვირთვისთვის განკუთვნილი დრეკადი ელემენტების მასალების შერჩევისას. დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ასევე მაღალ ტემპერატურებზე ლითონის თანდათან განდინებას, ხანგრძლივი მუდმივი ძაბვით დატვირთვისას ლითონებში ცოცვადობა ვლინდება. ცნობილია აგრეთვე თერმოპლასტიკური მერმექმედება. თუ ცალკეული სტრუქტურული მდგენელის არაერთგვაროვანი პლასტიკური დეფორმაციით ან სხვადასხვაგვარად ორიენტირებული მარცვლებით გამოწვეული ნარჩენი ძაბვების შემცველ, პლასტიკურად დეფორმირებულ პოლიკრისტალურ ლითონს გავახურებთ, მასში დრეკადობის ზღვრის სიდიდე შეიცვლება. ამასთან ერთად შეიცვლება დრეკადობის მოდულის ზღვრები და მათი თანაფარდობაც. გახურებისას, ამ ცვლილებების შედეგად გამოვლინდება დამატებითი ნარჩენი (ჩვეულებრივი თბური გაფართოებისაგან განსხვავებული) დეფორმაცია. აღწერილ მოვლენას ადგილი აქვს დახვევის შემდეგ ზამბარების გახურებისას. გახურების პროცესში, დასაწყისში, ზამბარა გაიშლება, ხოლო შემდეგ, განსაკუთრებით მაღალ ტემპერატურებზე, იწყებს დაგრეხას და მისი ხვიათა რიცხვი მატულობს. თერმოპლასტიკური მერმექმედების მოვლენა ამა თუ იმ ზომით დეტალების ცივი პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ, გახურების ყველა შემთხვევაში, ვლინდება.

ამგვარად გათვალისწინებული უნდა იქნეს სწორების შემდეგ დეტალების მოშვებისას დამატებითი დეფორმაციის ფაქტორი, ხოლო ზამბარების დახვევის შემდეგ მოშვებისას

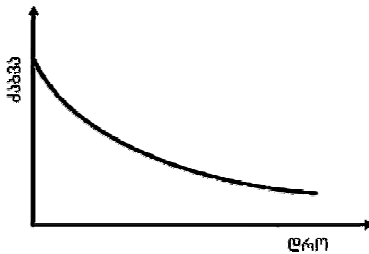
დამატებითი დეფორმაციისა და ხვიების რიცხვის ცვლილება.

**ე) ძაბვების რელაქსაცია.** რელაქსაცია არის დროში უცვლელი დეფორმაციისას, მასალაში გარე ზემოქმედებით აღძრული შინაგანი ძაბვების თვითნებურად შემცირების პროცესი (რელაქსაცია, დრეკად მერმექმედებასთან ერთად, ცოცვადობის დეფორმაციების კერძო შემთხვევაა). იგი საწყის და საბოლოო ძაბვებს შორის სხვაობით ხასიათდება. მისი გამოვლენის პრაქტიკული მაგალითი დამჭიმავი შეერთებების დროში შესუსტებაა. რაც ნაკლებია რელაქსაცია, მით სტაბილურია მოქმედი ძაბვები.

რელაქსაცია, არსებული დეფორმაციის სიდიდის უცვლელობის პირობებში, ატომურ-მოლეკულურ გადაადგილებებთანაა დაკავშირებული. ძაბვების რელაქსაციის პერიოდში საწყისი დეფორმაციის ხასიათი შეიძლება შეიცვალოს. მაგალითად, შესაძლებელია, დრეკადიდან თანდათან შეუქცევ პლასტიკურში გადავიდეს.

ცოცვადობისადმი მიდრეკილებას ყველა მყარი სხეული ავლენს ამა თუ იმ ზომით. მისი გამომწვევი ძალა იმ ძალაზე ნაკლებია, რომელიც ჩვეულებრივი გამოცდისას ნარჩენ დეფორმაციას წარმოქმნის. თუ ლითონის ან სხვა პლასტიკური მასალის გაჭიმვაზე გამოცდისას პროცესი შეწყდება და ნიმუში დეფორმაციის მიღწეულ საბოლოო მნიშვნელობაზე დაყოვნდება, მაშინ ძაბვა დროში თანდათან შემცირდება და ახალ მდგრად მნიშვნელობას მიიღებს. ამ მოვლენას, მუდმივი დეფორმაციისას, ძაბვის რელაქსაცია ეწოდება. ძაბვების რელაქსაციის სქემა სურათ 4-ზეა წარმოდგენილი.

მრუდი წარმოადგენს განსაზღვრული სიდიდით წინასწარ-  
დეფორმირებული ნიმუშის, დეფორმაციის მუდმივობისას,



სურ. 4. ძაბვის რელაქსაციის მრუდი (სქემა)

დროში ძაბვების ცვლილების გრაფიკს. ცოცვადობას თან  
სდევს ძაბვათა რელაქსაცია. ამ დროს მასალაში ნარჩენი  
დეფორმაციის გავლენით, შინაგანი ძაბვების პიკები გადა-  
ნაწილდება და შემცირდება. ნარჩენი დეფორმაციის ძაბვე-  
ბის ლოკალური პიკების დრეკადი ენერგია ნაწილობრივ  
განიბნევა ”პლასტიკური” დეფორმაციის მუშაობის სახით,  
რომელსაც დეროს საერთო სიგრძის ცვლილების გამოწ-  
ვევა არ შეუძლია. თუ პროცესი დაბალ ტემპერატურებზე  
მიმდინარეობს, მაშინ ატომების დიფუზიური გადატანის  
წვლილი მნიშვნელოვნად მცირდება და შინაგანი ძაბვების  
პიკების შემცირება მიკროსკოპული ლოკალური ძვრებით  
ხდება. ასეთი ”დინამიკური” მობრუნება განსხვავდება იმ  
მობრუნებისგან, რომელიც მაღალტემპერატურული ცოცვა-  
დობისას მიმდინარეობს. ამ დროს თერმულად გააქტიურე-  
ბული პროცესი იწვევს მნიშვნელოვან სტრუქტურულ  
ცვლილებებს.

ძაბვების რელაქსაციაზე გამოცდა ცოცვადობაზე გამოც-  
დაა, რომელიც დაუმყარებელი ძაბვისას ხდება. თუ ნიმუში  
დეფორმირებულია მოცემულ სიდიდემდე, მაშინ ნაწილი ამ  
დეფორმაციისა დრეკადია, ხოლო მეორე ნაწილი—პლასტი-

კური. ცოცვადობის შედეგად პლასტიკური დეფორმაცია დროში მატულობს. რამდენადაც ძაბვების რელაქსაციაზე გამოცდისას საერთო დეფორმაცია მუდმივი რჩება, იმდენად დროში დრეკადი დეფორმაცია უნდა შემცირდეს. დრეკადი დეფორმაციის შემცირება მხოლოდ იმ შემთხვევაში შეიძლება, თუ მოდებული ძაბვა მცირდება, ანუ რელაქსირდება.

**დ) შინაგანი ხახუნი.** დატვირთვისას სხეულზე გადაცემული ენერჯის გაბნევის უნარს შინაგანი ხახუნი ეწოდება. იგი ახასიათებს დეფორმაციის პროცესში სხეულზე მინიჭებული მექანიკური ენერჯის გაფანტვის და სითბოდ გარდაქმნის უნარს, აგრეთვე იდეალური დრეკადი სხეულის ქცევიდან გადახრების ხარისხს. შინაგანი ხახუნი განისაზღვრება ცვლადი დატვირთვისას ენერჯის კარგვით და მისი დახასიათება მიღევის დეკრემენტით ან შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტით ხდება.

დრეკადობიდან გადახრა (დრეკადობის არასრულყოფილება) ვლინდება დეფორმირების დატვირთვის სიდიდეზე, დატვირთვის მიმართულებაზე, დატვირთვის პროცესის სიჩქარეზე და დროზე დამოკიდებულებით. დრეკადობის არასრულყოფილების მოვლენა, დრეკადობის ზღვარზე ნაკლები, ძალიან მცირე ძაბვებისას იწყება. ამ დროს ირღვევა დატვირთვისა და დეფორმაციას შორის შესაბამისობის ცალსახა დამოკიდებულება. იგი ჰისტერეზისის, ბაუშინგერის ეფექტის და ა.შ. სახით ვლინდება, იწვევს მიღევას, მერმექმედებას და რელაქსაციას.

თავისუფალი დრეკადი რხევების ამპლიტუდა ჰისტერეზისის მარყუჟს წარმოქმნის. ე.ი. რხევის ყოველი ციკლისას, სხვა დანაკარგებთან ერთად, ენერჯის ნაწილი ჰისტერე-

ზისის მარეჟუის ფართობის ზომის შესაბამის მუშაობაზე იხარჯება და რხევები თანდათან მიიღევა. რხევების მიღევა დამოკიდებულია ძაბვების ამპლიტუდაზე. აქედან გამომდინარე, რხევების მიღევის შედარება ერთნაირი ამპლიტუდებისას ხდება. ამ პირობის გვერდის ავლა, მაღალი ამპლიტუდებისას, 10–100-ჯერ განსხვავებულ შედეგს იძლევა, ხოლო მცირე ამპლიტუდებისას, რომლებსაც  $10^{-7}$  და უფრო დაბალი დეფორმაციები შეესაბამება, შინაგანი ხახუნის, პრაქტიკულად, ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის.

დრეკადი რხევების მიღევაზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს. დიდ გავლენას ახდენს დაძაბული მდგომარეობის არაერთგვაროვნება. საგანგებოდ მოქმედებს ტემპერატურის ცვლილება (მაგ., ვერცხლის მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტი ტემპერატურის 30-დან 300°C-მდე ცვლილებისას 150-ჯერ მატულობს). ჩვეულებრივ, ტემპერატურის მატება 100–150°C-მდე მექანიკური თვისებების მნიშვნელოვან ცვლილებებს არ იწვევს, მაგრამ ამ დროს მიღევის ძლიერი მატება ხდება. ზოგადად, მიღევა მით უფრო დაბალია, რაც უფრო მაღალია პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობა. მარცვლის ზრდით რხევების მიღევა მატულობს. მცირე ამპლიტუდებისას წრთობა აძლიერებს რხევების მიღევას, ხოლო დიდი ამპლიტუდებისას—ამცირებს. მოშვების ტემპერატურის ამაღლებისას რხევების მიღევა მცირდება. პლასტიკური დეფორმაცია მიღევის მკვეთრ მატებას იწვევს. ციკლევის შემდეგ დაძველება და მოშვება მიღევას ამცირებს და სხვ.

სხეულის გრეხით დატვირთვისას მიღევა მნიშვნელოვნად უფრო ძლიერია, ვიდრე გაჭიმვისას, კუმშვისას და ღუნვისას. აქედან გამომდინარე, დრეკადი რხევების მიღევის კვლევისას დატვირთვის გავრცელებული მეთოდი გრეხაა. ამ

დროს მკვეთრად ვლინდება ყველა სხვა პროცესი, რომელიც დრეკად არასრულყოფილობასთანაა დაკავშირებული.

დრეკად არეში შინაგან ხახუნს ყველაზე ხშირად ძაბვების ციკლური ცვლილების ან ციკლური დეფორმაციისას იკვლევენ. პერიოდულად ცვალებადი ძაბვები დეფორმაციის პერიოდულ ცვლილებას იწვევს. სხეულში მიმდინარე ძაბვების რელაქსაციის გამო, დეფორმაცია ძაბვას გარკვეული ფაზით ჩამორჩება, რომლის სიდიდეც დაძვრის ფ კუთხით განისაზღვრება. ფაზის დაძვრის კუთხის ტანგენსი ( $tg \varphi$ ) რხევის ენერჯის განბნევის ზომად ითვლება.

სრულყოფილი დრეკადი სხეულის ერთჯერადი დეფორმაციისგან განსხვავებით, პერიოდული დეფორმირებისას, ძაბვა  $\sigma$  და დეფორმაცია  $\varepsilon$  ერთ ფაზაში არ იმყოფება. ისინი ერთიმეორისაგან  $\varphi$  კუთხითაა დაძრული. ამ დაძვრის სიდიდედ  $tg \varphi$  ითვლება, რომელიც დრეკადი რხევების ვარგისობის  $Q$ -ს შებრუნებული სიდიდეა. ამასთან, გამოიყენება სხვა მახასიათებლებიც: მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\delta$ , რხევის ერთი პერიოდისათვის დრეკადი ენერჯის ფარდობითი განბნევა  $\Delta A_e / A_e$ , რეზონანსული მრუდის სიგანე  $\Delta \omega / \omega_R$ . სადაც  $\Delta \omega$  არის რეზონანსული სიხშირე  $\omega_R$ -დან ისეთი გადახრა, რომლის დროსაც იძულებითი რხევის ამპლიტუდა  $m$  ტოლია  $m_{max} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ . ეს მახასიათებლები ურთიერთდაკავშირებულია და გამოისახება როგორც:

$$tg \varphi = \frac{1}{Q} = \frac{\Delta A_e}{2\pi A_e} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{\Delta \omega}{\omega} \sqrt{3}.$$

შინაგანი ხახუნის გაზომვის მრავალგვარი ექსპერიმენტული მეთოდი არსებობს. მათ შორის ერთ-ერთი გავრცელებული მეთოდია მგრეხი ქანქარა ნიმუშის თავისუფალი რხევა, რომლის დროსაც თავისუფალი რხევის ამპლიტუდის რეგისტრაცია ხდება (ჩვენ, აქ და ქვემოთ, შინაგანი ხახუნის მხოლოდ ზოგად მხარეს წარმოვადგენთ. დეტალურად შეს-

წავლის მსურველი საჭირო ლიტერატურას ადვილად მოიპოვებს). თავისუფალი რხევის რეჟიმში მუშაობისას, შინაგანი ხახუნის ზომად, ჩვეულებრივ, დრეკადი რხევების მიღევის სიჩქარის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\delta$  აიღება. იგი ორი მეზობელი დეფორმაციის ამპლიტუდების (A) ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ტოლია:

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{1}{k} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}},$$

სადაც  $k$  არის ამპლიტუდის პირველ და მეორე გაზომვებს შორის მიღევადი რხევების ციკლების რაოდენობა.

ლითონების დრეკადი რხევების მიღევის უნარის პრაქტიკული მნიშვნელობა უდავოა. ყველა სხვა თანაბარ პირობებში, რაც უფრო ნაკლებია დრეკადი რხევების მიღევა, მით უფრო მკვეთრი და მაღალია რხევის რეზონანსული პიკები, რომლებსაც ნაკეთობის რღვევა შეუძლია. ამიტომ, უმეტეს შემთხვევაში, სასურველია, მასალებს დიდი სიდიდის მიღევის დეკრემენტი ჰქონდეს. დიდი მიღევის დეკრემენტის მქონე ლითონები ბგერისა და ვიბრაციის ეფექტური ჩამხშობი არიან (მაგ., თუჯი). დანიშნულების მიხედვით ლითონები უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი (ამორტიზატორები) ან, პირიქით, დაბალი (მზომი ხელსაწყოების ზამბარები) შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტით.

პრაქტიკულად რთული მისაღწევია ერთ მასალაში დრეკადი რხევების მიღევის მიღწევა, სხვა მექანიკური თვისებების დაუზარალებლად. მაგ., ლეგირებული ფოლადები, როცა  $\sigma < \sigma_s$ -ზე ძალიან მცირე დრეკადი მიღევით ხასიათდებიან. რადგან პრაქტიკაში, უმეტესად, ეს მასალები გამოიყენება, მრავალ შემთხვევაში, მნიშვნელოვანი როლი რხე-

ვების შთანთქმაში სხვადასხვა კონსტრუქციულ ფაქტორებს (ენერჯის გარეგან მშთანთქმელებს) ეძლევა. ხშირ შემთხვევაში, კონსტრუქციულ დრეკად მიღევას უფრო ნაკლები მნიშვნელობა აქვს და ძირითადი მნიშვნელობა მასალის დრეკადი მიღევის უნარს ეძლევა. მაგ., ტურბინის ფრთებისათვის დრეკადი მიღევის დეკრემენტის შემცირებას რეზონანსული რხევისას, ჩანაღუნებისა და ძაბვების მომატება და, შესაბამისად, განმეორებით დატვირთვისას, სიმტკიცის შემცირება შეუძლია. განსაკუთრებული დიდი დრეკადი მიღევა, ე.წ. მადემპფერირებელ შენადნობებს ახასიათებს. ეს შენადნობები დარტყმისას არ ჟღერს და არ იწვევს რეზონანსულ რხევებს. ზოგ შემთხვევაში, პირიქით, საჭიროა ბგერის ჩამხშობი მინიმალური სიდიდის მქონე მასალები: ზუსტი ხელსაწყოების (მანომეტრები, ალტიმეტრები) დრეკადი ელემენტების და ბგერის გამომცემი ნაკეთობებისათვის (კამერტონები, მუსიკალური ინსტრუმენტები, ზარები და სხვ.), როდესაც საჭიროა ხანგრძლივი ბგერითი რხევები და დრეკადი მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტის მინიმალური სიდიდე.

დრეკად-პლასტიკურ არეში, დეფორმაციის განსაზღვრული სიდიდის შემდეგ, შინაგანი ხახუნი ამპლიტუდისაგან დამოკიდებული ხდება. იგი რხევის ამპლიტუდის ზრდასთან ერთად იზრდება. კრიტიკული დეფორმაციის  $\epsilon_c$ -ის ამპლიტუდა წარმოადგენს იმ საზღვარს, რომლის შემდეგაც რხევის ენერჯის განბნევა განპირობებულია, ძირითადად, დისლოკაციების მოძრაობებით. ამპლიტუდების ამ არეში მოცემული ძაბვის შესაბამისი არადრეკადი დეფორმაცია, პრაქტიკულად, მყისიერად გამოვლინდება. ამის გამო, შინაგანი ხახუნის სიდიდე და ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი დამოკიდებული არ არის დატვირთვის სინქარეზე. რხევის ამპლიტუდისგან დამოკიდებული შინაგანი ხახუნი დამო-

კიდებული არ არის რხევის სიხშირეზე. მისი ხასიათი განისაზღვრება მრავალი მიზეზით: მასალის ბუნებით და სისუფთავით, მიკროპლასტიკური დეფორმაციის განვითარების ხარისხით და ა.შ.

**ე) ბაუშინგერის (იოჰან) ეფექტი.** თუ ლითონის ნიმუშს გაჭიმვით დავტვირთავთ დრეკადობის ზღვარზე მეტად და შემდეგ ნულამდე განვტვირთავთ, საერთო დეფორმაციის ერთი ნაწილი გაქრება, ხოლო მეორე ნაწილი დარჩება. გამქრალი ენერგია ჰუკის კანონს ექვემდებარება და მისი მოხსნა 5000 მ/წმ-ში სინქარით ხდება. იმავე ნიმუშის გაჭიმვით ხელახალი დატვირთვისას, აღმოჩნდება, რომ მისი დეფორმაციისადმი წინაღობა, ხაზოვანი კანონით, ნულიდან იმ ძაბვამდე იზრდება, საიდანაც განტვირთვა დაიწყო. ე.ი. ჰუკის კანონი შენარჩუნებული იქნება უფრო მაღალ ძაბვამდე. ამ მოვლენას ციკლედვას უწოდებენ. ამ ძაბვიდან ნიმუშის შემდეგი დეფორმირება, მისი წინააღმდეგობის იმავე კანონით, ზრდას იწვევს, როგორც ეს ნიმუშის შეუჩერებელი გამოცდისას ხდება.

გარკვეული მიმართულებით მცირედ ცივნაჭედი ლითონის საპირისპირო ნიშნით დატვირთვისას (მაგ., გაჭიმვით ცივნაჭედი გამოიცადოს კუმშვით) საწყისი პლასტიკური დეფორმაციებისადმი, წინაღობა მცირდება (მცირდება დრეკადობის და დენადობის ზღვრები). ეს ეფექტი მისი პირველი აღმოჩენის, ბაუშინგერის, სახელს ატარებს. რაც უფრო მეტია დაშვება ნარჩენ პლასტიკურ დეფორმაციაზე, მით უფრო სუსტად გამოისახება ეს ეფექტი.

ბაუშინგერის ეფექტი შეიძლება აიხსნას უშუალოდ დრეკადობის ზღვრის ზემოთ მიმდინარე პლასტიკური დეფორმაციის პროცესის განხილვით. პოლიკრისტალური ლითონ-

ნის პლასტიკური დეფორმაცია ყველა მარცვალში ერთდროულად არ იწყება. დეფორმირებას პირველად ის მარცვლები იწყებენ, რომლებიც უდიდესი მხები ძაბვების მიმართ უფრო ხელსაყრელადაა ორიენტირებული. დერძული დატვირთვის შემთხვევაში, ეს იქნება ნიმუშის ღერძის მიმართ 45<sup>0</sup>-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყე, მრგვალი ნიმუშის გრეხისას—ნორმალური განიკვეთი და გრძივი რადიალური სიბრტყე. ხელსაყრელად ორიენტირებული მარცვლებიდან პლასტიკური დეფორმაცია ვრცელდება სხვა, შედარებით არახელსაყრელად ორიენტირებულ, მარცვლებზე და ა.შ., მანამ, სანამ დეფორმაციის წვრილ-წვრილი კერები ერთმანეთს არ შეერწყმებიან და მთელ მოცულობას არ მოიცავენ. ცალკეული მარცვლის (ან მარცვალთა ჯგუფის) ფორმის ცვლა იწვევებს ირგვლივმყოფი მარცვლების უკუქმედებას და იძულებულს ხდიან მას დრეკადად დეფორმირდეს. განტვირთვის შემდეგ, დრეკადად დეფორმირებული მარცვალი ცდილობს აღიდგინოს საწყისი ფორმა. ამ პროცესს უკვე შეუქცევადად (პლასტიკურად) დეფორმირებული მეზობელი მარცვლები ხელს უშლიან. შედეგად, ფორმის აღდგენა ხდება ნაწილობრივ. მარცვლების ჯგუფებს შორის წარმოიქმნება ნარჩენი დაძაბულობა, რომელიც დრეკადობის ზღვრის შემცირების მიზეზი ხდება. დეფორმაციის ნიშნის ცვლილებისას, ნარჩენი ძაბვა ჯამდება გარედან მოდებულ (მუშა) ძაბვებთან და უკუმიმართულების ნარჩენ დეფორმაციას აადვილებს. გარეგნულად მთელი პროცესი დრეკადობის ზღვრის შემცირებით აისახება.

ზოგჯერ, საწყისი პლასტიკური დეფორმაციისადმი შემცირებული წინაღობა შეინიშნება მხოლოდ ცივნაჭედი და ცივჭედვის მიმართულებით გამოცდილ ლითონებში. ზოგჯერ, განუმტკიცებლობა შეინიშნება საწყის ცივნაჭედ ლი-

თონთან შედარებითაც კი. აღნიშნული განუმტკიცებლობა მნიშვნელოვნად იცვლება მასალის სახისა და მისი დამუშავების მიხედვით. მაღალმოშვებულ ფოლადებში შეინიშნება დრეკადობის ზღვრის ძლიერი დაწვევა, დატვირთვის ნიშნის შეცვლისას. ბაუშინგერის ეფექტი დაბალმოშვებულ ფოლადებში უფრო სუსტად ვლინდება (15–30%). რკინისათვის ეს მოვლენა დამოკიდებულია მარცვლის ზომაზე. მსხვილმარცვლოვანი რკინა (დიამეტრი  $\approx 300$  მკმ) საერთოდ არ ავლენს ბაუშინგერის ეფექტს, წვრილმარცვლოვანი კი—მკვეთრად გამოხატული ეფექტით ხასიათდება.

ბაუშინგერის ეფექტს დიდი მნიშვნელობა აქვს, უპირველესად, ნიშანცვლადი დატვირთვების დროს დაღლილობის სიმტკიცის შესასწავლად. ზოგიერთ შემთხვევაში, ამ ეფექტს პრაქტიკული მნიშვნელობა სტატიკური დატვირთვების დროსაც აქვს (მაგ., ნაკეთობის ექსპლუატაციისას ნაკეთობაში ტექნოლოგიური პროცესებით გამოწვეული ცივჭედვის მიმართულების საპირისპირო ნიშნით დატვირთვა). ცივად გასწორებული მილის კუმშვაზე მუშაობისას, აუცილებელია თავიდან იქნეს აცილებული დრეკადობისა და დენადობის ზღვრების შემცირება. ცივნაჭედი ლითონის დაბალი მოშვება ბაუშინგერის ეფექტს ხსნის. იგი საწყისი პლასტიკური დეფორმაციის შემცირებულ წინააღმდეგობას აღადგენს წინამორბედი ცივჭედვის მიმართულების საწინააღმდეგო მიმართულებით.

**ე) დრეკადი ჰისტერეზისი.** ჰისტერეზისი, მაკროსკოპული პლასტიკური დეფორმაციისას, ე.ი. დატვირთვისა და განტვირთვისას, დეფორმაციის დიაგრამების დატვირთვის და განტვირთვის ხაზების არდამთხვევა შედეგია პლასტიკური დეფორმაციების კანონების მოქმედების.

განვიხილოთ დრეკადი ჰისტერეზისი, რომელიც დრეკად, ანუ ძალიან მცირე სიდიდის პლასტიკური დეფორმაციის, არეში შეინიშნება. ისე როგორც მერმექმედების მოვლენის შესწავლისას, აქაც, სუფთა დრეკად და სუფთა პლასტიკურ მდგომარეობებს შორის, შუალედური მდგომარეობა არსებობს. ნარჩენი დეფორმაციების არარსებობისას, დატვირთვის მოხსნის შემდეგ მასალა საწყის მდგომარეობას უბრუნდება. ე.ი. იქცევა ისე, როგორც დრეკადი სხეული. ამავე დროს დატვირთვისა და განტვირთვის ტოტების დაუმთხვეველობა შეუქცევ (არადრეკად) პროცესებზე მიგვი-თითებს.

რადგან დეფორმაციისას შთანთქმული მუშაობა ძაბვა-დე-ფორმაციის დიაგრამის შეასაბამისი ფართობით ხასიათ-დება, ცხადია, ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი, ანუ დატვირთვისას შთანთქმული და განტვირთვისას დაბრუნე-ბული მუშაობების სხვაობა, ნარჩენ, განტვირთვისას დეფორმაციის არდაბრუნებული მუშაობის სიდიდეს შეესა-ბამება.

დატვირთვის სიდიდეზე დამოკიდებულებით, ჰისტერეზისი შესაძლოა არ გამოვლინდეს, ან გამოვლინდეს ჩაკეტილი მარყუჟის, ან ღია, ჩაუკეტავი მარყუჟის სახით. უკანას-კნელი, დატვირთვის შემდგომი მატებისას, პლასტიკური დეფორმაციის დიაგრამის მონაკვეთში გადადის. ზუსტი გაზომვებით დიაგრამის დრეკადი ნაწილის გამრუდების დაფიქსირება შეიძლება, მაგრამ დიდ პლასტიკურ დეფორ-მაციებთან შედარებით ეს გამრუდება ძალიან მცირეა. სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ჰისტერეზისის მარყუჟის სიდიდესა და ფორმაზე, ამ ფაქტორების მერმექმედებაზე გავლენის ანალოგიურია. კერძოდ, გრეხისას, ღუნვასთან

შედარებით, დრეკადი ჰისტერეზისი მეტია, ხოლო მოცულობითი კუმშვისას ჰისტერეზისი არ არსებობს და ა.შ.

დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდით, ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი მცირდება. ტემპერატურის ამაღლებით, როგორც წესი, ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი მატულობს, მაგრამ ლურჯმეტეხობის ტემპერატურაზე რკინა უფრო ვიწრო ჰისტერეზისის მარყუჟს იძლევა. ეს ბუნებრივია, რადგან ლურჯმეტეხობის ტემპერატურაზე პლასტიკური ძვრები გაძნელებულია იმის გამო, რომ იზრდება წინაღობა პლასტიკური დეფორმაციისადმი.

მონოკრისტალებს ჰისტერეზისის მოვლენა არ ახასიათებს. პოლიკრისტალურ მასალებში, ჰეტეროგენულობის ზრდისას, ჰისტერეზისის მოვლენა მატულობს, კერძოდ, ცივნაჭედი ლითონები უფრო დიდ ჰისტერეზისს იძლევა. რომელიმე კრიტიკული ძაბვის ქვემოთ დატვირთვისა და განტვირთვის პროცესის მრავალჯერ გამეორებით ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი თანდათან მცირდება. მაშინ როდესაც, დატვირთვის მატებით, მარყუჟის ფართობი შეიძლება გაიზარდოს. ჰისტერეზისის მარყუჟის სიგანის და ფართობის წარმოდგენილი ცვლილება მნიშვნელოვანია დადლილობით რღვევის შესწავლისას.

ბევრ შემთხვევაში დრეკადი ჰისტერეზისის მოვლენას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ზუსტი ხელსაწყოების დასამზადებლად განკუთვნილი მასალა უნდა ხასიათდებოდეს მინიმალური ჰისტერეზისით და, აქედან გამომდინარე, მინიმალური მერმექმედებით.

**ზ) არადრეკადი მოვლენების მნიშვნელობა.** პირდაპირი და შექცევული დრეკადი მერმექმედების, ძაბვის რელაქსაციის

და დრეკადი ჰისტერეზისის მოვლენებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ზუსტხელსაწყოთმშენებლობაში, ხანმოკლედ და ხანგრძლივად დატვირთული დრეკადი ელემენტების დამზადებისას. მათ საგანგებო მნიშვნელობა აქვთ აგრეთვე ძალოვანი დრეკადი ელემენტებისათვის, რომლებიც ძაბვების რელაქსაციის გამო, კარგავენ თავიანთ სადატვირთო მახასიათებლებს (რესორებს, წინასწარდაძაბულ არმატურას, სამაგრ დეტალებს და სხვ.). მეცნიერები ცდილობენ შეიმუშაონ მცირე მერმექმედების და მაღალი რელაქსაციამედვეი მასალები. ასეთი მასალები უზრუნველყოფენ საზომი ხელსაწყოების სისტემის სწრაფმოქმედებასა და სიზუსტეს, ძალოვანი ზამბარების ხანგრძლივ მუშაობას, ამცირებენ ტექნოლოგიურ დაბრეცას და სხვ. ასეთ მასალებს მცირე შინაგანი ხახუნი აქვს და ცუდად განაბნევენ რხევის ენერგიას. ეს უკანასკნელი თვისება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჟღერადი ინსტრუმენტების (ზარები, მუსიკალური ინსტრუმენტები) დასამზადებლად. პრაქტიკაში გამოიყენება კარგი ჟღერადობის და მინიმალური შინაგანი ხახუნის მქონე სალი და მყოფე შენადნობები (მაგ.,  $Cu+25\% Sn$ ).

მრავალ შემთხვევაში, პირიქით, საჭიროა ისეთი მასალების გამოყენება, რომლებსაც ექნება ამაღლებული მადემპფერირებელი უნარი—რხევის ჩამსშობი თვისებები, ე.ი. მასალები მაღალი შინაგანი ხახუნით, დიდი ციკლური სიბლანტით. ასეთი მასალების გამოყენება აუცილებელია ისეთ ნაკეთობებში, რომელთა დანიშნულებაც რხევის ენერგიის ჩახშობაა. ისინი საგანგებო მნიშვნელობას იძენენ ისეთ შემთხვევებში, როდესაც მადემპფერირებელი უნარის ამაღლების მიღწევა კონსტრუქციული ღონისძიებებით (გარეგანი ამორტიზატორებით) ვერ ხერხდება. მაღალი დემპფერირების უნარის მქონე მასალების გამოყენება ხელს უწყობს ხმაურის

შემცირებას, შეუღლებული დეტალების ხანგამძლეობის ზრდას, რეზონანსული კატასტროფის საშიშროების თავიდან აცილებას. ჩვეულებრივ, მასალის სტრუქტურის არაერთგვაროვნების ამაღლებისას, მადემპფერირებელი და ჰისტერეზისის უნარი იზრდება. მაგ., მაღალი დემპფერირების უნარით ხასიათდება რუხი თუჯი, რომლის სტრუქტურაშიც გრაფიტის ბასრი შინაგანი "ჩანაჭრების" მნიშვნელოვანი რაოდენობაა. ისინი იწვევენ ძაბვების კონცენტრაციას და ლოკალურ მიკროპლასტიკურ დეფორმაციას, დაბალი ნომინალური ძაბვებისას. მაღალი დემპფერირების უნარის მქონე შენადნობის შინაგანი ხახუნის სიდიდე 1%-ზე მეტია.

## 2.5 ლითონების პლასტიკურობა

პლასტიკურობა (ბერძნ. *plastikós*-საძერწად ვარჯისი, დამყოლი) არის მასალის უნარი მთლიანობის დაურღვევლად (ბზარების, ჩანახევებისა და რღვევის გარეშე) განიცადოს პლასტიკური დეფორმაცია. საზობრივი დამაბულობისას ის გამოვლინდება მას შემდეგ, რაც დრეკადი დეფორმირება პლასტიკურით შეიცვლება, ანუ როდესაც გარეგანი ძალების ზემოქმედებით აღძრული ძაბვების სიდიდე დენადობის ზღვრის მნიშვნელობას გადააჭარბებს. ამ ძალების მოქმედებით სხეული იცვლის ფორმას, ზომებს და ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ახალ ფორმასა და ზომებს ინარჩუნებს. პლასტიკურობა დრეკადობის საპირისპირო თვისებაა.

პრაქტიკულად ლითონების პლასტიკური თვისებები განისაზღვრება ცილინდრული ან ბრტყელი ფორმის ნიმუშების გაჭიმვა-კუმშვის ან თხელკედლიანი ცილინდრული მილა-

კის გამჭიმავი ძალით, გრეხის მომენტით და შიგა წნევე-  
ბით დეფორმირების ექსპერიმენტებით. ისინი ძაბვისა და  
დეფორმაციის დამოუკიდებლად ათვლის საშუალებას  
იძლევიან

პლასტიკური დეფორმირების შესაძლებლობები –  $\sigma_{0,2}/\sigma_B$   
ფარდობით განისაზღვრება და იგი განმტკიცების ხარისხს  
ახასიათებს. როდესაც  $\sigma_{0,2}/\sigma_B=0,5-0,6$ -ს, ლითონი მაღალი  
დეფორმირებადობით ხასიათდება ( $\delta$  და  $\Psi$  ათეული პროცენ-  
ტებით გამოისახება). პირიქით, როდესაც დეფორმაციის შემ-  
დეგ განმტკიცება  $\sigma_{0,2}/\sigma_B=0,95-0,98$ -ს, ლითონი მყიფე მასა-  
ლის მსგავსად იქცევა. პლასტიკური დეფორმაციის არე  
პრაქტიკულად არ არსებობს ( $\delta$  და  $\Psi$  1–3%-ს შეადგენს).  
ყველაზე ხშირად პლასტიკური თვისების შეფასება სტატი-  
კური ერთღერძა გაჭიმვისას განსაზღვრული ფარდობითი  
წაგრძელების  $\delta$ -ს სიდიდით ხდება. სხვა სახეებით დეფორ-  
მაციებისას (კუმშვა, ღუნვა, გრეხა), დეფორმაციების დიდი  
სიჩქარეებისას (ჭედვა, გლინვა) და მაღალი ტემპერატურე-  
ბისას, იგი პლასტიკურობას სრულად ვერ განსაზღვრავს.  
ამგვარად, პლასტიკურობა დამოკიდებულია ტემპერატუ-  
რაზე, დეფორმაციის სიჩქარესა და დამუშავების ხერხზე.  
პლასტიკურობის სიდიდეზე ძლიერ გავლენას ახდენს მრავ-  
ვალე სახის მინარევი, ხშირად მათი ძალიან მცირე კონ-  
ცენტრაციაც კი. გაჭიმვისას, პლასტიკურობის მეორე მახა-  
სიათებელი ფარდობითი შევიწროება არის. ბევრ შემთხვე-  
ვაში ის უფრო ზუსტად ასახავს ლითონის გლინვის, ჭედ-  
ვისა და დასმის უნარს. პლასტიკურ თვისებებზე მსჯე-  
ლობა მარტივდება მაშინ, როდესაც ცნობილია თანაბარი  
წაგრძელების სიდიდის ფარდობა თავმოყრილ წაგრძელე-  
ბასთან გაჭიმვისას.

პლასტიკურობის შეფასება, პრაქტიკაში, ტექნოლოგიური სინჯების გამოცდით ხდება. ისინი დეფორმაციის ისეთ ხერხებს ასახავენ რომლებიც შესაბამის ტექნოლოგიურ პროცესებს უფრო შეესაბამებიან. ასე, მაგალითად: კუმშვაზე გამოცდისას (გლინვის დეფორმაციის ახლო ანალოგი) განისაზღვრება მაქსიმალური დეფორმაციის სიდიდე, ბზარწარმოქმნის მომენტამდე; გავრცელებულია პლასტიკურობის შეფასება მოღუნვის კუთხის სიდიდით, გადაღუნვების რაოდენობით (რიცხვით) ან (და)გრეხით, რომელსაც უძღვება ნახევარფაბრიკატი ბზარებისა და ჩანახევების წარმოქმნის გარეშე; ლენტიდან ფოსოს გამოჭიმვაზე გამოცდას (შტამპვისა და ღრმა გამოჭიმვის ანალოგი) ატარებენ ჩანახევებისა და ბზარების გაჩენის მომენტამდე.

ლითონების წნევით დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესებისათვის მნიშვნელოვანია მაღალი პლასტიკური თვისებები. ნორმალურ პირობებში ექსპლუატაციისას, ლითონი დრეკად მდგომარეობაში იმყოფება და მისი პლასტიკური თვისებები არ ვლინდება. ამდენად, ნაკეთობის ნორმალური ექსპლუატაციისას, პლასტიკურობის მაჩვენებლებზე ორიენტირება, ერთი შეხედვით, უაზრობაა. მაგრამ თუ კი არსებობს იმის ალბათობა, რომ ნაკეთობის დატვირთვა დენადობის ზღვარზე მეტი იქნება, მაშინ აუცილებელია მასალას პლასტიკურობა ჰქონდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, როდესაც დატვირთვა რომელიღაც ზღვარს გადაჭარბებს, მყიფე ლითონი მაშინვე დაირღვევა, ხოლო პლასტიკური მასალა, ჭარბი ენერჯის საკმაოდ დიდი ნაწილის შთანთქმის შედეგად, დატვირთვას დაურღვევლად აიტანს.

კრიტიკული სხეულების პლასტიკურობა მრავალი მიკროსკოპული მექანიზმის მოქმედებასთანაა დაკავშირებული. მათი როლი გარეგანი პირობებით (ტემპერატურა, დატვირთვა

და დეფორმაციის სინქარე) განისაზღვრება. აუცილებელია, ამ მექანიზმების განხილვა მოხდეს პლასტიკური დეფორმაციის ელემენტარულ აქტში მონაწილე ატომების რიცხვის ზრდის შესაბამისად.

ფიზიკური თანაფარდობები, რომლებიც დრეკადიდან დრეკად-პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის უბანზე სხეულის დეფორმირების პროცესის აღწერის თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს, მასალის პლასტიკური თვისებების გათვალისწინებით, პლასტიკურობის თეორია ეწოდება. პლასტიკურობის თეორია წარმოადგენს მექანიკის იმ ნაწილს, რომელშიც მყარი სხეულების დეფორმაცია შეისწავლება დრეკადობის ზღვარს ზევით. პლასტიკურობის თეორია სწავლობს პლასტიკური სხეულების მაკროსკოპულ თვისებებს და უშუალოდ არ არის დამოკიდებული პლასტიკური თვისებების ფიზიკურ ახსნაზე. იგი პლასტიკურად დეფორმირებად სხეულებში ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილების განსაზღვრის მეთოდებს სწავლობს. პლასტიკურობის თეორია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ტექნიკაში. იგი მჭიდრო კავშირშია კონსტრუქციების დაპროექტების უმნიშვნელოვანეს საკითხებთან, ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის ტექნოლოგიური პროცესების კვლევასთან და მისთ. კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფის ძიების პროცესში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მასალების პლასტიკური თვისებების გათვალისწინება. ეს განსაკუთრებულობა იმის შედეგია, რომ მყიფე მასალისგან დამზადებული კონსტრუქცია, გარე ძალების მოქმედებისას, რღვევის სტადიამდე პლასტიკურ დეფორმაციას, პრაქტიკულად, არ განიცდის. პლასტიკური მასალისგან დამზადებულ კონსტრუქციაში კი, ძირითადი დეფორმაციები, უშუალოდ, პლასტიკური დეფორმაციების წარმოშობისას ფორმირდება (ასე, მაგალითად, რეალურ დიაგ-

რამაზე დენადობის ბაქნის დასასრულის შესაბამისი სრული დეფორმაციები, მრავალი მასალისთვის, 30–40-ჯერ აღემატება დრეკადი დეფორმაციის უბნის დასასრულის დეფორმაციას).

პლასტიკური დეფორმაცია დაკავშირებულია ზოგიერთი ატომთშორისი კავშირის რღვევასა და ახლის წარმოქმნასთან. რეალური ლითონის პლასტიკურად დეფორმირების უნარი მისი უმნიშვნელოვანესი და სასარგებლო თვისებაა. პლასტიკურობა განსაზღვრავს მასალების წნევით დამუშავების (ჭედვა, გლინვა, შტამპვა და სხვ.) ტექნოლოგიური ოპერაციების შესაძლებლობას. გარდა ამისა, ზოგადად პლასტიკურობა უზრუნველყოფს ნაკებობების საკონსტრუქციო სიმტკიცეს, მანქანათა ნაწილებისა და სხვა ლითონური ნაკეთობების საიმედოობას. მაღალი პლასტიკურობის მქონე მასალები ძაბვების კონცენტრატორებისა და გამყიფების სხვა ფაქტორებისადმი ნაკლებად მგრძობიარეა. გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ლითონის სიმყიფე ანუ პლასტიკურად დეფორმირების მისი დაბალი უნარი, ხშირად, ნაკეთობის მცირე დატვირთვების დროსაც კი, უეცარ, მყიფე რღვევას იწვევს.

სიმყიფე მასალის თვისებაა, დაირღვეს შესამჩნევი ნარჩენი დეფორმაციის გარეშე. ასეთი თვისების მქონე მასალებს მყიფე მასალებს უწოდებენ. მყიფე მასალების რღვევისას წაგრძელება, ძირითადად, 2–5 %-ის ზღვრებშია, ხოლო რიგ შემთხვევებში მისი სიდიდე პროცენტის წილებით იზომება. მყიფე მასალების გაჭიმვის დიაგრამას დენადობის ბაქანი და განმტკიცების ზონები (უბანი) არ ახასიათებს. გაჭიმვაზე და კუმშვაზე გამოცდისას მიღებული სიმტკიცის ზღვრების შედეგების შედარება გვიჩვენებს, რომ ასეთი მასალები კუმშვისას სიმტკიცის ზღვრის უფრო მაღალი მაჩვენებლით ხასიათდებიან, ვიდრე გაჭიმვისას. მათი ფარდობა  $K = \sigma_{გაჭ} / \sigma_{კუმშ}$  თუჯებისთვის 0,2...0,4-ია, ხოლო კერამიკული მასალებისთვის—0,1...0,2.

პლასტიკურობისა და სიმყიფის გამოვლენაზე დიდ გავლენას ახდენს დატვირთვის სიჩქარე და ტემპერატურა. სწრაფი დატვირთვისას უფრო მკვეთრად სიმყიფის თვისება ვლინდება, ხოლო ნელი დატვირთვისას – პლასტიკურობის თვისება. მაგ., მყიფე მინას უნარი აქვს ნორმალურ ტემპერატურაზე, დატვირთვის ხანგრძლივი ზემოქმედებით ნარჩენი დეფორმაცია მიიღოს, ხოლო ისეთი პლასტიკური მასალა, როგორც დაბალნახშირბადიანი ფოლადია, მკვეთრი დარტყმითი დატვირთვისას, მყიფე თვისებებს ავლენს. სასურველი მიმართულებით მასალების თვისებების ცვლილების ერთ-ერთ ძირითად ტექნოლოგიურ ოპერაციას თერმული დამუშავება წარმოადგენს. ფოლადის წრთობა მკვეთრად ზრდის სიმტკიცის მახასიათებლებს და იმავე დროს ამცირებს მის პლასტიკურ თვისებებს.

პლასტიკურობის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. იგი შესაძლებელს ხდის რაციონალურად შეირჩეს ტექნიკური მასალები, რომელთა პლასტიკურობასაც დამუშავების ან სხვადასხვა პირობებში ექსპლუატაციისას, ჩვეულებრივ, მოთხოვნათა მთელი კომპლექსი წაეყენება. აქედან გამომდინარე, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ამა თუ იმ მასალის პლასტიკური დეფორმირების უნარის განსაზღვრას.

ამჟამად პლასტიკურობის ორი თეორია არსებობს: დეფორმაციული და დენადობის. მათ შორის განსხვავება ფიზიკური თანაფარდობების კონკრეტულ ჩაწერაში მდგომარეობს. დეფორმაციულ თეორიაში, ჰუკის კანონის ნაცვლად, ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის ახალი თანაფარდობები დგინდება. დენადობის თეორიაში კი ფიზიკური თანაფარდობები ძაბვებს დეფორმაციის ნაზრდთან ან დეფორმაციის სიჩქარესთან აკავშირებს.

ექსპერიმენტული კვლევები გვიჩვენებს, რომ პლასტიკურობის დეფორმაციული თეორია სამართლიანია მარტივი დატვირთვისა და შედარებით მცირე დეფორმაციებისას. ე.ი.,

როდესაც ყველა გარე დატვირთვა დროში პროპორციულად იცვლება. დენადობის თეორია ეფექტურია რთული დატვირთვებისას აღძრული დიდი დეფორმაციების პროცესების შესწავლისას. ე.ი. როდესაც სხეულზე მოდებული დატვირთვები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად იცვლება დროში.

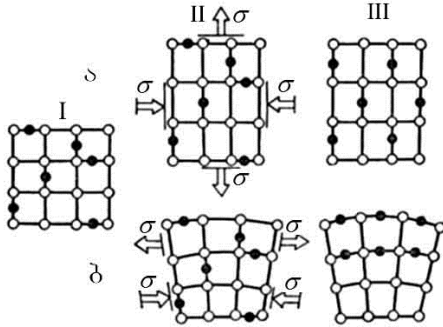
ჩვენ მხოლოდ პლასტიკურობის დეფორმაციული თეორიის ზოგადი განხილვით შემოვისაზღვრებით. რთული დატვირთვებით გამოწვეული დიდი დეფორმაციების გაცნობა სპეციალისტს შეუძლია მასალათა წნევით დამუშავების კურსში.

**ა) თვითდიფუზიური და დიფუზიური პლასტიკურობა.** ლითონებში, მკუმშავი ძალების მოქმედებით, კრისტალის ატომური შრეები ძალების მოქმედების ზედაპირული უბნებიდან გამჭიმავი ძალების მოქმედების უბნებზე გადაადგილდება. კრისტალის ზედაპირზე ან მის მოცულობაში მასის გადატანა თვითდიფუზიით ხდება. ისეთ შემთხვევებში, როდესაც კრისტალის ზომა არ არის ძალიან მცირე, ანუ მისი კუთრი ზედაპირი არ არის ძალიან დიდი, მაშინ პლასტიკური დეფორმაციის ყველაზე ეფექტური მექანიზმი მოცულობითი თვითდიფუზიაა. ამ დროს ხდება ატომების "გახსნა", ანუ კუმშვის უბნებიდან ზედაპირული შრეების ატომების, კვანძთშორისი ატომების სახით, კრისტალის სიღრმეში შეღწევა და მათი იმ უბნებზე გამოყოფა, რომლებიც გამჭიმავი ძალების მოქმედებას განიცდიან. "გამოყოფის" პროცესის პარალელურად, გამჭიმავი ძალების მოქმედების არეში წარმოქმნილი ვაკანსიების ნაკადი უკუმიმართულებით მოძრაობს და კუმშვის ადგილებში ანიჰილირდება. რეალური შემთხვევების უმეტესობაში თვითდიფუზიური დეფორმაცია, ძირითადად, ვაკანსიების მიმარ-

თულ ნაკადებთანაა დაკავშირებული (ისინი უფრო ადვილად წარმოიქმნებიან, ვიდრე კვანძთშორისი ატომები).

ერთგვაროვან დაძაბულ ველში, სხვადასხვაგვარი ატომის შემცველ კრისტალში, ატომების განლაგება ორიენტაციულად მოწესრიგდება, რის გამოც კრისტალი განიცდის, გარკვეულ, მოწესრიგებულობის ხარისხზე დამოკიდებულ, დეფორმაციას. სურ. 5ა-ს შესაბამისად ძაბვის მოხსნის შემდეგ მოწესრიგებული მდგომარეობა შეიძლება არახელსაყრელი აღმოჩნდეს, მაგრამ ის გარკვეული დროით შენარჩუნდება, რადგან მოუწესრიგებელ მდგომარეობაში მობრუნება ატომების დიფუზიური გადახტომების სიჩქარით განისაზღვრება.

კრისტალში არაერთგვაროვანი დაძაბულობის ველის არსებობისას დიდი რადიუსის მქონე მინარევი ატომები და კვანძთშორისი ატომები ცდილობენ გისოსის გაჭიმულ, ხოლო მცირე რადიუსის მქონენი—შეკუმშულ უბნებში გადავიდნენ. სურ. 5 ბ-ს შესაბამისად წარმოიქმნება კონცენტრაციის არათანაბარი განაწილება, რაც საწყისი არაერთგვაროვანი დეფორმაციის სტაბილიზაციას იწვევს. კრისტალის შედგენილობითაა შეზღუდული მაქსიმალური დეფორმაცია, რომლის წარმოქმნაც ორიენტაციული მოწესრიგებულობით ან კონცენტრაციული არაერთგვაროვნებითაა შესაძლებელი. ამგვარად, თვითდიფუზიური და დიფუზიური დეფორმაციები წერტილოვანი დეფექტების (ვაკანსიების, კვანძთშორისი და მინარევი ატომების) ნაკადებით განისაზღვრება.



სურ. 5. დიფუზიური პლასტიკურობა:

- ა) ერთგვაროვანი დაძაბულობის ველში მინარევი ატომების (შავი წრეების) ორიენტაციული მოწესრიგებულობა;
- ბ) მინარევი ატომების გადანაწილება არაერთგვაროვანი დაძაბულობის ველში;

I – საწყისი კრისტალი;

II – მინარევი ატომების შემცველი კრისტალი ძაბვების მოქმედებისას;

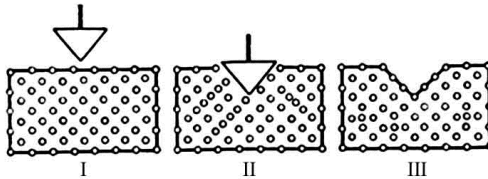
III – კრისტალის საბოლოო დეფორმაცია

რეალურ პირობებში დეფექტების გადაადგილება სითბური ფლუქტუაციებითაა განპირობებული და მათი სიხშირე, ტემპერატურის შემცირებისას, სწრაფად მცირდება. ამის გამო, პლასტიკურობის ეს მექანიზმი მხოლოდ საკმაოდ მაღალ (არანაკლებ 0,5 T<sub>დნ</sub> -ის) ტემპერატურებზე მოქმედებს.

**ბ) კრაუდიონული პლასტიკურობა.** დეფორმაცია კრაუდიონების, ანუ კრისტალებში მჭიდროდ წყობილი ატომური რიგების გასწვრივ ატომების ”შესქვლების”, გაჩენითა და გადაადგილებითაა განპირობებული. ცნობილია, რომ კრისტალებში ატომები განსაზღვრული კრისტალოგრაფიული მიმართულებით ერთმანეთისგან თანაბარი მანძილებით დაშორებული რიგებითაა განლაგებული. თუ რაიმე ზემოქმედების შედეგად ერთი ატომი, მასზე დაცემული სხვა ატომის “დარტყმის” შედეგად, და-

იძვრება თავისი მდებარეობიდან, მას, თავის, მხრივ მეზობელი ატომების გადაადგილება შეუძლია და ა.შ. ამრიგად, ატომების გარკვეული რაოდენობა დაიძვრება და ატომების რიგის რომელიც მონაკვეთზე ერთი ატომი ზედმეტი აღმოჩნდება.

სურ. 6-ის შესაბამისად კრისტალის ზედაპირში წვეტის ჩაწნევისას მასალა წვეტის ჩაწნევის ზონიდან კრაუდიონებად გაიფანტება და ჩაწნევის ადგილიდან რაღაც მანძილზე, კვანძთშორისი ატომების ამადლებული კონცენტრაცია შეიქმნება.

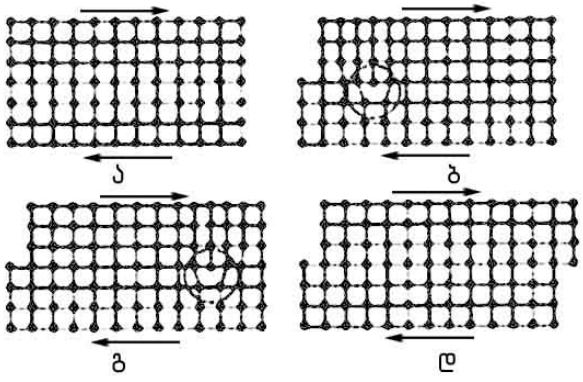


სურ. 6. კრაუდიონული პლასტიკურობა:

- I-კრისტალი ჩაწნევაამდე;
- II-წვეტის ჩაწნევისას კრაუდიონების წარმოქმნა;
- III-ფორმის საბოლოო ცვლილება (კრისტალში კვანძთშორისი ატომების წარმოქმნა)

**გ) დისლოკაციური პლასტიკურობა.** პლასტიკური დეფორმაციის ტიპური სახე დისლოკაციის კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებზე სრიალია. სრიალი ყველაზე უფრო იოლად მჭიდროდწყობილ სიბრტყეებზე, მჭიდროდწყობილი მიმართულების გასწვრივ, მიმდინარეობს. სრიალის პროცესის დაწვრილებით შესწავლა ლაბორატორიებში გაზრდილი ლითონების მონოკრისტალებზე მოხერხდა. ამ დროს გაირკვა არა მარტო ის, რომ სრიალი წარმოიშობა ზოგიერთი განსახვდრული მიმართულებით და, ჩვეულებრივ, სრულიად განსახვდრულ სიბრტყეებზე, არამედ ისიც, რომ მონოკრისტალები მცირე ძაბვებისას დეფორმირდებიან. მონოკრისტალების გადასვლა დენადობის მდგომარეობაში ალუმინისთვის 1-დან, ხოლო რკინისთვის დაახლოებით 15 - 20 მპა ძაბვებისას იწყება. თეორიულად ეს გადას-

ვლა, ორივე შემთხვევისთვის, 10000 მპა ძაბვებისას უნდა წარმოებდეს. ექსპერიმენტულ და თეორიულ მონაცემებს შორის ასეთი განსხვავება, მრავალი წლის განმავლობაში, მნიშვნელოვან აუხსნელ პრობლემას წარმოადგენდა. 1934 წელს, ჯეფრი ინგრამ ტეილორმა, მაიკლ პოლანიმ და ეგონ ოროვანმა გამოთქვეს მოსაზრება, რომელიც კრისტალური სტრუქტურის დეფექტებზე წარმოდგენას ეფუძნებოდა. მათი ვარაუდით, სრიალის დასაწყისში გადანაცვლება ატომური სიბრტყის რომელიღაც წერტილში ხდებოდა, ხოლო შემდეგ კრისტალში ვრცელდებოდა. დაბრუნდნ და დაუბრუნდნ არეებს შორის საზღვარი კრისტალური სტრუქტურის ხაზობრივ დეფექტს წარმოადგენს. სრიალის გავრცელების საზღვარს დისლოკაცია (დისლოკაციის ხაზი) უწოდეს. სურ. 7-ის შესაბამისად ეს ხაზი, კრისტალში, სურათის სიბრტყის პერპენდიკულარულად მიდის.

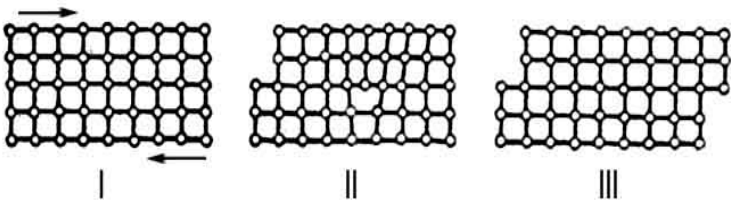


სურ. 7. დისლოკაციის გადაადგილება კრისტალურ გისოსში:  
 ა-ისრის მიმართულებით მოდებულია ძერის ძაბვა;  
 ბ-დისლოკაციის წარმოშობა (წრით შემოსაზღვრული);  
 გ-დისლოკაციის მოძრაობა მარჯვნივ;  
 დ-აღდგენილი წონასწორობა

კრისტალზე ძერის ძაბვის მოქმედებისას, დისლოკაცია იწყებს მოძრაობას და იმ სიბრტყეზე გადაადგილდება, რომელზეც ის იმყოფება. მას შემდეგ რაც დისლოკაციები წარმოიქმნება, ისინი კრისტალში ძალიან ადვილად მოძრაობენ. ამ ფაქტით აიხსნება

მონოკრისტალების "სირბილე". ლითონების კრისტალებში, ჩვეულებრივ, უამრავი დისლოკაცია არსებობს (მოლბობილ ლითონურ კრისტალში დისლოკაციების საერთო სიგრძე  $1\text{სმ}^3$ -ში 10 კმ-ზე მეტს შეადგენს). 1952 წელს კორპორაცია "ბელ ტელეფონის" ლაბორატორიის თანამშრომლებმა, კალის ძაფისებრი კრისტალის ღუნვაზე გამოცდისას, აღმოაჩინეს, რომ ასეთი კრისტალების ღუნვაზე სიმტკიცე სრულყოფილი (უდფეჟქტ) კრისტალების თეორიულ სიმტკიცეს უახლოვებოდა (შემდგომ მრავალი ლითონის ძალიან მტკიცე ძაფისებრი კრისტალები იქნა გამოვლენილი). როგორც ვარაუდობენ, მაღალი სიმტკიცე განპირობებულია იმით, რომ ასეთ კრისტალებში საერთოდ არ არის დისლოკაციები ან არის კრისტალის მთელ სიგრძეზე გამავალი ერთი დისლოკაცია.

პარალელური სიბრტყეების სისტემაში სრიალი მაკროსკოპულ ძვრას წარმოადგენს, ხოლო სხვადასხვა სისტემის შესაბამისი ძვრების შეუღლება კრისტალების პლასტიკური დეფორმაციის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს. კრისტალებში სრიალი არაერთგვაროვანია: სურ. 8-ის შესაბამისად, პირველად ის სრიალის სიბრტყის რაღაც ნაწილს მოიცავს. შემდეგ ამ არის საზღვარი მთელ სიბრტყეზე ვრცელდება. ამიტომ, სრიალის განვითარება შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც დისლოკაციის წარმოქმნისა და გადაადგილების პროცესი. დეფორმაციის სიჩქარე პროპორციულია დისლოკაციების სიმკვრივის და დისლოკაციების გადაადგილების სიჩქარის.

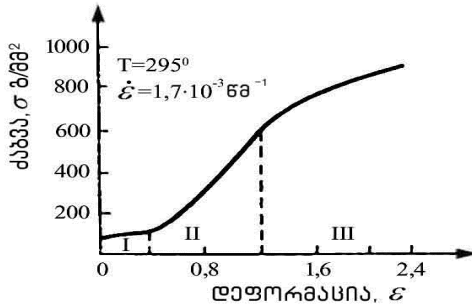


სურ. 8. ელემენტარული სრიალი იდეალურ კრისტალურ გისოსში, დისლოკაციის გადაადგილებისას

რეალურ კრისტალებში დისლოკაციების წარმოქმნის პროცესში, ყოველთვის გაჩნდება ისეთი დისლოკაციები, რომლებსაც, დაბევის მოქმედების შედეგად, საკუთარი სიგრძის გაზრდა შეეძლებათ (დისლოკაციების გამრავლება). ამიტომ, ახალი დისლოკაციების წარმოქმნის სტადია მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში ახდენს სრიალის ლიმიტირებას (მაგ., დეფორმაციის დასაწყისი უდისლოკაციო მიკროკრისტალებში). დანარჩენ შემთხვევებში, სრიალის განვითარება დისლოკაციების მოძრაობით განისაზღვრება. რადგან ატომები დისლოკაციის სიახლოვეს თავისი წონასწორული მდებარეობიდან დაძრულია, მათი ახალ, წონასწორულ, მდებარეობაში გადაყვანა (რომელიც სრიალის სიბრტყეზე ერთი ატომური მანძილით კრისტალის ძვრას საჭიროებს) მნიშვნელოვნად უფრო ნაკლები ენერგიის დანახარჯს მოითხოვს, ვიდრე ატომებისთვის უდფექტო (დამახინჯებელ) კრისტალებში. დისლოკაციის გადასადგილებლად ენერგეტიკული ბარიერი მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო დიდია დამახინჯების ზონა დისლოკაციის სიახლოვეს (ირგვლივ). დისლოკაციის მოძრაობის უნარის მიხედვით, მასალები იყოფა ორ ჯგუფად: ა) კოვალენტურ კრისტალებში ეს ბარიერი უახლოვდება ატომთშორისი კავშირების რიგს და მისი გადალახვა შესაძლებელია მხოლოდ სითბური ფლუქტუაციებისას. ამიტომ, დისლოკაციის ძვრადობა შესამჩნევი ხდება მხოლოდ საკმაოდ მაღალ ტემპერატურებზე (ზომიერ ტემპერატურებზე კოვალენტური კრისტალები არაპლასტიკურია); ბ) ლითონური და იონური კავშირების მქონე კრისტალებში დისლოკაციების გადაადგილების ბარიერი  $10^3 - 10^4$ -ჯერ ნაკლებია, ვიდრე მათი კავშირების ენერგია და ასეთ კრისტალებში ბარიერი  $10^3 - 10^4 G$  დაბეგზე ( $G$  ძვრის მოდულია) ქრება. ასეთი დაბეგებისას, დისლოკაციების მოძრაობა სითბურ აქტივაცი-

ას არ ითხოვს და, ამდენად, მათი მოძრაობის უნარი ტემპერატურაზე სუსტადაა დამოკიდებული. სრულყოფილ კრისტალურ გისოსში დისლოკაციის მოძრაობის წინააღმდეგ მეტად მცირეა, რითაც განპირობებულია მაღალი პლასტიკურობა იონურ და ლითონურ კრისტალებში.

რეალურ კრისტალებში სხვადასხვაგვარი დეფექტი (წერტილოვანი დეფექტები, მინარევი ატომები, დისლოკაციები, სხვა ფაზის ნაწილაკები) არსებობს და, შესაბამისად, მოძრავი დისლოკაციების სრიალის წინააღმდეგ ამ დეფექტების ურთიერთქმედებებთანაა დაკავშირებული. არამინარევეებიან პლასტიკურ კრისტალებში კი ძირითად წინააღმდეგ დისლოკაციებს შორის ურთიერთქმედებები ითვლება. სრიალისადმი წინააღმდეგის ნაწილი, რომელიც უშუალოდ დაკავშირებულია დისლოკაციების შეჯახებასთან, შეიძლება შემცირდეს სითბური აქტივაციის ხარჯზე, მაგრამ სრიალისადმი წინააღმდეგის უმეტესი ნაწილი განპირობებულია დისლოკაციების (თავის ირგვლივ წარმოქმნილი საკუთარი დაძაბულობის ველზე გავლით) შორსმოქმედი ურთიერთქმედებით და ტემპერატურაზე თითქმის არ არის დამოკიდებული. დისლოკაციები, ერთმანეთზე ურთიერთქმედებების შედეგად, მუხრუჭდებიან და ჩერდებიან. ამიტომ, მუდმივი სინქარით დეფორმირებისთვის აუცილებელია ახალი დისლოკაციების უწყვეტად გაჩენა. ამას მოჰყვება კრისტალში დისლოკაციების სიმკვრივის მუდმივი ზრდა, რომელიც  $\text{სმ}^{-2}$  ლიც  $10^{11} - 10^{12}$  ცალს აღწევს. შესაბამისად იზრდება სრიალისადმი მათი ურთიერთწინააღმდეგობა და კრისტალის დეფორმაციული განმტკიცება ან ციკლედა ხდება. სურ. 9-ის შესაბამისად, დისლოკაციებს შორის ურთიერთქმედებას ნათლად ასახავს მონოკრისტალის “ძაბვა-დეფორმაციის” დიაგრამა.



სურ. 9. “ძაბვა-დეფორმაციის” დიაგრამა მონოკრისტალისთვის

ამ დიაგრამაზე ტიპური შემთხვევების სამი დამახასიათებელი უბანია ასახული. ისინი დისლოკაციური სტრუქტურის ევოლუციის სამ სტადიას შეესაბამებიან. პირველი სტადია—ადვილი სრიალის სტადია (არ უნდა ავუროთ “მარტივ” სრიალში), რომლის დროსაც დისლოკაციის სიმკვრივე შედარებით მცირეა. ადვილი სრიალის სტადიაზე ყოველი დისლოკაცია, შეჩერებამდე, კრისტალის ზომის შესაბამისი მანძილის გავლას ასწრებს და მათი მნიშვნელოვანი ნაწილი კრისტალის ზედაპირზე გამოდის. სრიალისადმი წინაღობა ცალკეული დისლოკაციების (რომელთა სიმკვრივის ზრდა, დეფორმაციის სიდიდის ზრდასთან შედარებით, უმნიშვნელოა) ურთიერთქმედებითაა განპირობებული. ამის გამო, განმტკიცების კოეფიციენტი, ასეთ დროს, მცირეა და დაახლოებით  $10^{-3}$  G-ს შეადგენს. დეფორმაციის ხარისხისა და დისლოკაციების სიმკვრივის ზრდასთან ერთად, მათი განაწილება არაერთგვაროვანი ხდება: დისლოკაციები სრიალის სიბრტყეებში კომპაქტურ გროვებს წარმოქმნის (II სტადია); ამ გროვების მიერ აღძრული დაძაბულობის ველი, თავის მხრივ, თანამდევ დეფორმაციას იწვევს. ასეთი ლოკალური, სხვადასხვა მიმართულების, დეფორმაციები შეიძლება კრისტალის საერთო ფორმაც-

ვლილებაში არ გამოვლინდეს, მაგრამ, სრიალის მეორად სიბრტყეებში დისლოკაციების წარმოქმნით, ისინი მათ სიმკვრივეს ზრდიან. ძირითადი და მეორადი სისტემების დისლოკაციების ურთიერთქმედებები დისლოკაციების თავმოყრას (“შესქვლებას”) და დისლოკაციური უჯრედოვანი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას იწვევს. მთელი II სტადიის განმავლობაში დისლოკაციური სტრუქტურის ხარისხი შენარჩუნებულია, მხოლოდ უჯრედების ზომები მცირდება და განმტკიცების კოეფიციენტი დაახლოებით  $10^{-2}G$ -მდე იზრდება. დისლოკაციების სიმკვრივის შემდგომი ზრდისას, დისლოკაციების განთავსების სრიალის სიბრტყეებიდან, ხდება მათი ნაწილის გამოდევნა (“გამოწნევა”). ამ დროს სხვადასხვა ნიშნის დისლოკაციების შეხვედრა მათ ანიჰილაციას იწვევს. წარმოებს დისლოკაციების სიმკვრივის განმუხტვა და განმტკიცების კოეფიციენტის ვარდნა (III სტადია). ამ პროცესის პარალელურად მიმდინარეობს კრისტალში მიკრობზარების წარმოქმნაც, ისინი საბოლოოდ კრისტალის მთლიანობის რღვევას იწვევენ (ეს მომენტი კრისტალში მაქსიმალურად მისაღწევი პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდეს განსაზღვრავს).

მარცვალში მიმდინარე პლასტიკური დეფორმაციების განხილული მექანიზმები რთულდება პოლიკრისტალებში, მარცვლებს შორის ურთიერთქმედებებით. პოლიკრისტალის დეფორმაცია სხვადასხვა დატვირთვის მიმართ სხვადასხვანაირად ორიენტირებულ და სხვადასხვა პირობებში მყოფი კრისტალის დეფორმაციების ჯამურ შედეგს წარმოადგენს. ამიტომ, დეფორმაციის განვითარებას არ აქვს მკაფიოდ გამოსახული სტადიური ხასიათი (იხე როგორც მონოკრისტალებს. სურ. 9). მარცვლებს შორის საზღვრები ეწინააღმდეგება დისლოკაციების გავრცელებას და, როგორც

წესი, დაბალ ტემპერატურებზე კრისტალური სხეულების განმტკიცებას იწვევს. მაღალ ტემპერატურებზე საზღვრების არსებობა კი, რომლებიც დეფექტების წყაროებს (ან “ჩამოდინებებს”) წარმოადგენს, პირიქით, პლასტიკურობას ამაღლებს. ამაღლებული ტემპერატურის გავლენა შეიძლება აიხსნას დისლოკაციებზე და მარცვლოვან სტრუქტურებზე წარმოდგენიდან გამომდინარე. დეფორმაციულად განმტკიცებადი ლითონების კრისტალებში არსებული მრავალრიცხოვანი დისლოკაცია ამახინჯებს კრისტალურ გისოსს და ზრდის კრისტალის ენერგიას. გახურებულ ლითონში ატომების ძვრადობა მატულობს და ისინი, ახალ, უფრო სრულყოფილ, ნაკლები დისლოკაციების შემცველ კრისტალებად გადაეწყობიან. ასეთ რეკრისტალიზაციასთანაა დაკავშირებული სიმტკიცის თანდათანობითი კარგვა, რომელსაც ადგილი აქვს ლითონების მოღობობისას.

მაღალ ტემპერატურებზე პლასტიკურობის დისლოკაციური მექანიზმი დიფუზიურ და თვითდიფუზიურ მექანიზმებს შეერწყმის. მინარევებიან კრისტალში, მინარევი ატომების გადანაწილების შედეგად, დისლოკაციების (ან დისლოკაციების გროვების) ძაბვების რელაქსაცია შეიძლება განხორციელდეს. დისლოკაციების ირგვლივ წარმოიქმნება მინარევების “ატმოსფერო” და დისლოკაციური პლასტიკურობა ეცემა (დისლოკაციური დაძველება). ამგვარად, მინარევების მოცილებით, ჩვეულებრივ, პლასტიკურობა იზრდება. მეორე მხრივ, დისლოკაციები ვაკანსიებისა და კვანძთშორისი ატომების ”ჩამოდინების” ეფექტურ წყაროს წარმოადგენს. ამ დეფექტების გაჩენა ან ანიჰილაცია დისლოკაციებზე გაწყვეტილი, არასრული ატომური სიბრტყეების დაშენებას ან შემცირებას და, შესაბამისად, დისლოკაციების საკუთარი სრიალის სიბრტყიდან გადაცოცებას იწვევს. სხვადასხვა ნიშნის დისლოკაციებს შორის წერტილოვანი დეფექ-

ტების ნაკადი თვითდიფუზიურ პლასტიკურ დეფორმაციას იწვევს, ხოლო ამ ნაკადებით გამოწვეული დისლოკაციების გადაცოცხებები მათ სრიალის სიბრტყეში მდებარე წინაღობის შემოვლის საშუალებას აძლევს. მაღალტემპერატურული დეფორმაციისას, თითოეული დისლოკაციის მიერ გავლილი სრიალის გზა (ჩვეულებრივ ტემპერატურებთან შედარებით, როდესაც დიფუზიური ძვრადობა მცირეა) იზრდება. დისლოკაციების სიმკვრივის განმუხტვის პროცესები, დისლოკაციების ურთიერთანიჰილაციის შედეგად, უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, დეფორმაციული განმტკიცება ეცემა და მუდმივი დატვირთვისას ვითარდება დეფორმაცია (ცოცვალობის პროცესი).

**დ) დაორეულების მექანიზმი.** დაორეულება დაკავშირებულია კრისტალის ელემენტარული უჯრედის დეფორმაციასთან, რომელიც მოქმედი ძალების მიმართ კრისტალის ნაწილის ორიენტაციის ცვლილებას იწვევს. ხელახლა ორიენტირებული კრისტალის ნაწილი საწყისი კრისტალის მიმართ დაორეულებისათვის დამახასიათებელ ძვრას განიცდის, რომლის სიდიდეც კრისტალური გისოსის სიმეტრიით განისაზღვრება. რეალურ პირობებში დეფორმაცია ვითარდება საწყის კრისტალში ორეულის კომპონენტის—შუაშრის—ჩასახვითა და გავრცელებით. თუ ორეულის შუაშრე კრისტალის შიგნით მთავრდება, მაშინ მის ბოლოებზე დაძაბულობის ველები აღიძვრება და ორეულების ურთიერთქმედებები დეფორმაციულ განმტკიცებას იწვევს. ზოგ კრისტალში დაორეულება პლასტიკური დეფორმაციის ძირითადი მექანიზმია. ჩვეულებრივ, დაორეულება, უპირატესად დაბალ ტემპერატურებზე ვითარდება, ამ დროს სრიალი გართულებულია და იქმნება ორეულების ჩასახვისთვის აუცილებელი ძაბვების ლოკალური კონცენტრაციის პირობები.

**ე) ფაზური გარდაქმნებით გამოწვეული პლასტიკურობა.**

ფაზური გარდაქმნისას, ახალი (განსხვავებული კრისტალური გისოსის მქონე), ფაზის წარმოქმნისას აღძრული მექანიკური დატვირთვა იწვევს კრისტალის ფორმის შეუქცევ ცვლილებას. ამ დროს, საწყისი ფაზა ძაბვების მოქმედებით მეტასტაბილურ მდგომარეობაში გადადის. რამდენადაც სისტემის ფარდობითი სტაბილურობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, იმდენად პლასტიკურობა არის დამოკიდებული დეფორმირებისა და ფაზური წონასწორობის ტემპერატურების თანაფარდობაზე. განსაზღვრულ პირობებში ტემპერატურის ცვლილება იწვევს დატვირთვით წარმოქმნილი ფაზის სტაბილურობის შემცირებას. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია გარდაქმნისას მიღებული დეფორმაციის გაქრობა (ფორმის დამახსოვრების ეფექტი).

პოლიკრისტალებში, მარცვლის შიგნით, პლასტიკური დეფორმაციის განხილული მექანიზმის მოქმედება მარცვლების ურთიერთქმედებითაა გართულებული. პოლიკრისტალებში დეფორმაცია არის სხვადასხვა ორიენტაციის მქონე კრისტალების დეფორმაციების ჯამური შედეგი. დაბალ ტემპერატურებზე მარცვალთშორისი საზღვრები ეწინააღმდეგებიან დისლოკაციების გადაადგილებას და, როგორც წესი, ხდება ლითონის განტკიცება. მაღალ ტემპერატურებზე, პირიქით, საზღვრები წარმოადგენენ დეფექტების ან მათი ჩამოღინების წყაროებს და ამადღებენ პლასტიკურობას. დისლოკაციური და თვითდიფუზიური დეფორმაციების შეხამება იწვევს საზღვრისპირა არეებში მათ მაღალ პლასტიკურობას, რაც მაღალტემპერატურული დეფორმაციების სპეციფიკურ მექანიზმში—”ასრიალება” მარცვლების საზღვრებზე—გამოიხატება. ამ დროს მარცვლების ერთმანეთის მიმართ გადაადგილება ფხვიერ მასალებში ნაწილაკების

მოძრაობის მსგავსია და ზოგ შემთხვევაში 1000%-მდე დეფორმაციას (ზეპლასტიკურობას) უზრუნველყოფს.

მაღალი პლასტიკურობა მიიღწევა იმ შემთხვევაშიც, როდესაც დეფორმირებისას რეკრისტალიზაციის პროცესი მოასწრებს დასრულებას. ამ დროს უფრო მეტად დამახინჯებული და, აქედან გამომდინარე, ყველაზე ნაკლებად პლასტიკური მარცვლები, მზარდი, უფრო სრულყოფილი სტრუქტურის მქონე მარცვლებით "შთაინთქმებიან". რეკრისტალიზაციით პლასტიკურობის აღდგენა ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში, ლითონების ცხლად დამუშავებისას.

## 2.6 ლითონების სიმტკიცე

სიმტკიცე მყარი სხეულების ფუნდამენტურ თვისებას წარმოადგენს. ფართო გაგებით კი ეს არის მყარი სხეულების უნარი, გარეგანი დატვირთვის ზემოქმედებისას, განსაზღვრულ პირობებში და ზღვრებში, წინააღმდეგობა გაუწიოს რღვევას (ნაწილებად დაყოფას) ან ფორმის შეუქცევ ცვლილებას (პლასტიკურ დეფორმაციას). ვიწრო გაგებით, სიმტკიცე არის მასალის რღვევისადმი გამძლეობა, ანუ თვისება დაურღვევლად აიტანოს ამა თუ იმ მექანიკური დატვირთვის, ტემპერატურული, მაგნიტური, ელექტრული და რადიაციული ველების, არათანაბარი გაშრობის ან გაფუების, სხეულის სხვადასხვა ადგილებში ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების არათანაბარი მიმდინარეობის და სხვა პროცესით აღძრული გარე ზემოქმედება.

მექანიკურ თვისებებს შორის სიმტკიცეს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს. კონსტრუქციის (ნაკეთობის) უნარი, და-

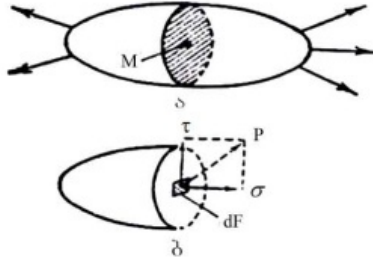
ურღვევლად აიტანოს საექსპლუატაციო დატვირთვები, უპირველესად, მასალის სიმტკიცით განისაზღვრება. ამდენად, პირველხარისხოვანი მნიშვნელობის ამოცანაა მასალებში სიმტკიცის მახასიათებლების გაზრდა (დამაკმაყოფილებელი პლასტიკურობის უზრუნველყოფით). ლითონის სიმტკიცის გაზრდა ნიშნავს: მანქანების, მოწყობილობების შრომისუნარიანობის გახანგრძლივებას, მათი მასის შემცირებას, საიმედოობის გაუმჯობესებას, ხანმედგობის ამაღლებას, ეკონომიურობას და მასალატევადობის შემცირებას. ნაკეთობის საიმედოობისა და ხანმედგობის უზრუნველსაყოფად, სიმტკიცის მოთხოვნილი სიდიდის მაჩვენებლების მიღების და განმტკიცების ყველაზე რაციონალურ, პროგრესულ ხერხებს მიეკუთვნება ლევირება, თერმული, თერმომექანიკური და ქიმიურ-თერმული დამუშავებები, დეფორმაციული განმტკიცება, კომპოზიციური, მრავალშრიანი, ფხვნილოვანი და გრანულირებული მასალების შემუშავება. შენადნობების განმტკიცების მიზნით, უკანასკნელ დროს იყენებენ ულტრაბერით და მაგნიტურ დამუშავებას, მაღალი ენერჯის ნაწილაკების დასხივებას, ლაზერით დამუშავებას, მაღალ წნევას და ა.შ. მასალათმცოდნეების პროგნოზით, უახლოეს წლებში, შესაძლებელია შეიქმნეს სპეციალური შენადნობები და ფოლადები 3500–6000 მპა-ის, ხოლო მსუბუქი შენადნობები 1000–1500 მპა-ის სიმტკიცის ზღვრებით და ამ მასალების ტექნიკური სიმტკიცის მათ თეორიულ სიმტკიცესთან მნიშვნელოვანი მიახლოება მოხდება.

სიმტკიცეზე მასალათა გამძლეობაში სხვადასხვა თეორია არსებობს. მათ შორის ყველაზე ცნობილია: 1. უდიდესი ნორმალური ძაბვების თეორია; 2. უდიდესი დეფორმაციების თეორია; 3. უდიდესი მხები ძაბვების თეორია; 4. ფორმაციის უდიდესი კუთრი პოტენციალური ენერჯების თეორია; 5. ზღვრულად დაძაბული მდგომარეობების თეორია (მორის სიმტკიცის თეორია). ჩამოთვლილი თეორიებიდან (1 და 2 მყიფე, ხოლო 3 და 4 ბლანტი რღვევებს აღწერს) ყველაზე სრული, ზუსტი და ყოვლისმომცველი მორის თეორიაა. ის როგორც მყიფე მასალების

(თუჯი, ბეტონი, აგური), ასევე პლასტიკური მასალების (დაბალნახშირბადიანი ფოლადები) სიმტკიცის შემოწმებას მიესადაგება.

მექანიკურ თვისებებს შორის, სიმტკიცე და პლასტიკურობა მყარი სხეულის უმნიშვნელოვანეს თვისებებს წარმოადგენს. ორივე ეს თვისება ერთმანეთთან ურთიერთკავშირშია. ისინი, საექსპლუატაციო დატვირთვებისას, განსაზღვრავენ მყარი სხეულების უნარს, წინ აღუდგეს მასალის ფორმის შეუქცევადად ცვლას და მაკროსკოპულ რღვევას, ანუ მასში გარეგანი ან შინაგანი ველებით აღძრული მიკროსკოპული ბზარების მოქმედებით სხეულის ნაწილებად დაყოფას. სიმტკიცისა და რღვევის პროცესების შესწავლა მასალათმცოდნეობის ერთ-ერთ მთავარ შემადგენელ ნაწილად ითვლება. ეს პროცესები, მიზნობრივი დანიშნულების, სხვადასხვა დეტალისა და კონსტრუქციისთვის შესაფერისი საკონსტრუქციო მასალების შერჩევისა და მათში მოთხოვნილი სიმტკიცის მაჩვენებლების ჩამოყალიბების რაციონალური ხერხების ძიების თეორიულ საფუძველს წარმოადგენენ.

პრაქტიკაში მასალების დეფორმაციებისა და რღვევის მიზეზს, უმრავლეს შემთხვევაში, მექანიკური ძაბვები წარმოადგენს. იგი დეფორმირებად სხეულში გარე ზემოქმედების გავლენით აღძრული შიგა ძალების ზომაა. მოქმედების ხასიათის მიხედვით, მექანიკური ძაბვები იყოფა: გამჭიმავ, მკუმშავ, და ძვრის ძაბვებად. მგრესავი მომენტები ძვრის ძაბვის განსაკუთრებული სახეა, ხოლო მღუნავი მომენტები—გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების შესამებას (ჩვეულებრივ, ძვრის თანაარსებობისას) იწვევს. სტანდარტული მოწვობილობებით შესაძლებელია, ასეთი, სხვადასხვა სახის, ძაბვის აღძვრა ნიმუშში და განსაზღვრა ზღვრულად დასაშვები და მრღვევი ძაბვების. სურ. 10-ის შესაბამისად, ნებისმიერ *M* წერტილში ძაბვის შესწავლისას ამ წერტილში სხეულის გაკვეთა (წარმოსახვითი სიბრტყით) ხდება.



სურ. 10. დაძაბული  $M$  წერტილი სხეულში:

- ა) დაძაბულ წერტილზე გამავალი მკვეთი სიბრტყე;
- ბ) ელემენტარული ფართობი დაძაბული წერტილის ირგვლივ და ძაბვის ვექტორის მდგენელები

თუ გაკვეთილი სხეულის შემხები ნაწილები ურთიერთქმედების სიდიდეს ძალების მნიშვნელობებით შეცვლით, მაშინ  $M$  წერტილის შემომსახვრელ ელემენტარულ  $\Delta F$  ფართობზე მოქმედი  $\Delta P$  ძალა და მათი თანაფარდობის ზღვარი გამოისახება როგორც:

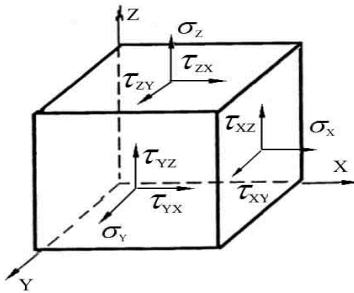
$$P = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF}$$

იგი ვექტორული სიდიდეა და  $\Delta F$  ფართობზე  $M$  წერტილის ძაბვად იწოდება. ძაბვის ვექტორის მდგენელები: განიკვეთის სიბრტყის პერპენდიკულარულად მოქმედი ძაბვა იწოდება ნორმალურ ძაბვად  $\sigma$ , ხოლო განიკვეთის სიბრტყეში მოქმედი ძაბვა-მხებ ძაბვად  $\tau$ . ამავე დროს ვექტორების ერთობლიობა,  $M$  წერტილზე გამავალი ყველა სიბრტყისთვის, ამ წერტილში არსებულ დაძაბულ მდგომარეობას ახასიათებს:

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 .$$

სურ. 19-ის შესაბამისად, დაძაბული მდგომარეობის დასახასიათებლად, დატვირთული სხეულის ნებისმიერ წერტილში, ამ წერტილის ირგვლივ შემოსაზღვრავენ უსასრულოდ მცირე

სწორკუთხა პარალელეპიპედს, რომლის წიბოები XYZ სწორკუთხა კოორდინატთა სისტემას ქმნის.



სურ. 19. დაბადული  $M$  წერტილის ირგვლივ გამოყოფილი უსასრულოდ მცირე პარალელეპიპედი

სამ არაპარალელურ წახნაგზე მოქმედი თითოეული ძაბვა შეიძლება დაიშალოს ერთ ნორმალურ და ორ მხებ მდგენელად. ნორმალური ძაბვების მიმართულების განმსაზღვრელი ინდექსები ამ წახნაგის პერპენდიკულარული ღერძის აღნიშვნას ემთხვევა. მხები ძაბვებისათვის პირველ ინდექსს აქვს იგივე აზრი, რაც ნორმალურს, ხოლო მეორე ინდექსი იმ ღერძის აღნიშვნას ემთხვევა, რომლის გასწვრივაც ძაბვა მოქმედებს. ამგვარად, წერტილში დაბადული მდგომარეობა 9 სიდიდით ხასიათდება, რომლებიც, ჩვეულებრივ, ასე ჩაიწერება:

$$(S) = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$$

ეს გამოსახულება აღწერს ძაბვის ტენზორს სხეულის მოცემულ წერტილში. აღსანიშნავია, რომ 9 კომპონენტიდან დამოუკიდებელი მხოლოდ 6-ია. განსახილველი პარალელეპიპედის წონასწორობის პირობიდან (მხები ძაბვების წყვილადობის კანონიდან გამომდინარე ნებისმიერი ღერძის მიმართ ჯამური მბრუნავი მომენტი ნულის ტოლია) შეიძლება ჩავწეროთ:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

ე.ი. ტენზორის მთავარი დიაგონალის მიმართ სიმეტრიული კომპონენტები ერთმანეთის ტოლია. ამრიგად, ყველა ვექტორის ერთობლიობა  $M$  წერტილზე გამავალი ყველა სიბრტყისთვის ამ წერტილში არსებულ დაძაბულ მდგომარეობას ახასიათებს. ეს დაძაბულობა სრულად განისაზღვრება ძაბვის ტენზორით, რომლის კომპონენტებიცაა:

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

ისინი აღწერენ ძაბვას  $M$  წერტილის მახლობლად გამოყოფილი უსასრულოდ მცირე პარალელეპიპედის წახნაგებზე.

ძაბვასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება აღიწერება მასალის დრეკადობის ზღვრებში—დრეკადობის თეორიის თანაფარდობებით (იხ. ჰუკის კანონი), ხოლო პლასტიკურ მდგომარეობაში—პლასტიკურობის თეორიის განტოლებებით. ძაბვების ცდებით შესწავლა კი ტენზომეტრიის მეთოდით ხდება (იყენებენ ოპტიკურ მეთოდებსაც, მაგ., ძაბვის კვლევის პოლარიზაციულ-ოპტიკურ მეთოდს).

მრავალი ექსპერიმენტული კვლევით ნაჩვენებია, რომ მასალების სიმტკიცე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დაძაბული მდგომარეობის სახეზე. ზოგადად, დატვირთული სხეულის დაძაბული მდგომარეობა მის რომელიმე წერტილში, შეიძლება განისაზღვროს ამ წერტილში გამავალ საკოორდინაციო სიბრტყეებში არსებული ძაბვების სიდიდეებით. წერტილში გამავალი საკოორდინაციო სიბრტყეების მდებარეობის ნებისმიერად არჩევისას, თითოეულ მათგანში იქნება როგორც ნორმალური, ასევე მხები ძაბვები. მათთვის შემოტანილია შესაბამისი აღნიშვნები:

$xy$  სიბრტყისათვის— $\sigma_{zz}$ ,  $\tau_{zx}$ ,  $\tau_{zy}$

$xz$  სიბრტყისათვის— $\sigma_{yy}$ ,  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{yz}$ ;

$yz$  სიბრტყისათვის— $\sigma_{xx}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ .

მათში პირველი ინდექსი იმ სიბრტყის ორიენტაციას უჩვენებს, რომელშიც დაბევები მოქმედებს, ანუ რომელი საკოორდინაციო ღერძის პერპენდიკულარულიცაა მოცემული სიბრტყე. მეორე ინდექსი უჩვენებს დაბვის მიმართულებას საკოორდინაციო ღერძზე.

სხეულის ყოველ წერტილში არსებობს მხები დაბვებისგან თავისუფალი ( $\tau=0$ ) სამი ურთიერთპერპენდიკულარული სიბრტყე. ისინი იწოდებიან მთავარ სიბრტყეებად. ნორმალურ დაბვებს ამ სიბრტყეებში მთავარ დაბვებს უწოდებენ და აღნიშნავენ:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ . ამასთან, ყოველთვის უნდა იქნეს დაცული პირობა:  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .

ზოგადად, დაბაბული მდგომარეობა იყოფა სამ ჯგუფად. ესენია: ა) მოცულობითი, ანუ სამღერძა. ასეთ შემთხვევაში მთავარი დაბვები ნულისგან განსხვავებული სიდიდეები; ბ) ბრტყელი, ანუ ორგანზომილებიანი. ასეთ შემთხვევაში მთავარი დაბვებიდან ერთ-ერთი ნულის ტოლია; გ) ერთგანზომილებიანი, ანუ ერთღერძა. ასეთ შემთხვევაში სამი მთავარი დაბვიდან ნებისმიერი ორი ნულის ტოლია. სიმტკიცის თეორიის ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს სიმტკიცის კრიტერიუმის დადგენაში. იგი მასალის სხვადასხვა დაბაბული მდგომარეობისას რღვევის საშიშროებების ურთიერთშედარების საშუალებას იძლევა. სიმტკიცის შერჩეული კრიტერიუმი, დაბაბული მდგომარეობის სქემაზე დამოკიდებულებისგან სხვადასხვა მასალის გამოცდებისას მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების, როგორც

მთავარი ძაბვების მნიშვნელობებს შორის ფარდობების ფუნქციის, საფუძველზე უნდა დასაბუთდეს.

აღვნიშნავთ, რომ, ვინაიდან ჯერჯერობით მასალების სიმტკიცის და დაძაბული მდგომარეობის სახის ურთიერთდამოკიდებულების დადგენილი ერთიანი თეორია არ არსებობს, ამიტომ პრაქტიკული გათვლებისას გამოიყენება გამარტივებული კრიტერიუმები. კონსტრუქციის სიმტკიცეზე შემოწმების ყველაზე გავრცელებულ და თვალსაჩინო კრიტერიუმს, დაძაბული მდგომარეობის უმარტივესი შემთხვევებისთვის (გაჭიმვა-კუმშვა, გრეხა, სუფთა ძვრა), წარმოადგენს შემდეგი პირობის დაცვა:

$$\sigma_{max} \leq |\sigma|_{-ზე}$$

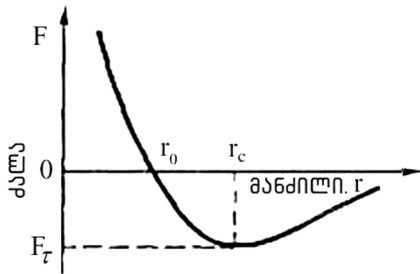
სადაც:  $\sigma_{max}$  არის კონსტრუქციის ყველაზე საშიშ წერტილში აღძრული ძაბვის მაქსიმალური საანგარიშო მნიშვნელობა;

$|\sigma|$  – კონსტრუქციაში გამოყენებული მასალისათვის დასაშვები ძაბვის მნიშვნელობა.

ნაკეთობის მასალის შერჩევისას (საიმედოობისა და ხანგამძლეობის უზრუნველსაყოფად), სხვადასხვა შემთხვევისათვის სიმტკიცის კრიტერიუმებად გვევლინება: პროპოციულობის ზღვარი, დენადობის ზღვარი, ცოცვადობის ზღვარი, სიმტკიცის ზღვარი და სხვ. სიმტკიცის სახეებია: თეორიული, ტექნიკური, საკონსტრუქციო, დინამიკური და ხანგრძლივი. მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

ა) **თეორიული სიმტკიცე** არის იდეალური, უდეფექტო, მასალის სიმტკიცე. იგი განისაზღვრება ატომთშორისი კავშირის სიდიდითა და ხასიათით, მყარი სხეულის

სტრუქტურით და მისი შემადგენელი ნაწილაკების ატომურ-მოლეკულური ძვრადობით. მყარი სხეულების სიმტკიცე განპირობებულია სხეულის შემადგენელი ატომებისა და იონების ურთიერთქმედების (შეჭიდულობის) ძალებით. ეს ძალები, უმთავრესად, ატომების ურთი-ერთგანლაგებაზეა დამოკიდებული. სურ. 12-ის შესაბამისად, მაგ., ორი მეზობელი ატომის ურთიერთქმედების ძალა (თუ გარემომცველი ატომების გავლენა უგულებელყოფილია) დამოკიდებულია მხოლოდ მათ შორის მანძილზე.



სურ. 12. ორი ატომის ურთიერთქმედების ძალის დამოკიდებულება მათ შორის მანძილზე

წონასწორულ მანძილზე ( $r_0 \approx 10$  ნმ) ეს ძალა ნულის ტოლია. უფრო მცირე მანძილზე ძალა დადებითია და ატომები განიზიდებიან, ხოლო დიდი მანძილზე—მიიზიდებიან. კრიტიკულ  $r_c$  მანძილზე მიზიდულობის ძალის აბსოლუტური სიდიდე მაქსიმალურია და  $F_T$ -ს ტოლია. მაგ., თუ  $S_0$  განიკვეთის მქონე ცილინდრული ღეროს გაჭიმვისას მისი ღერძის გასწვრივ მიმართული ძალა  $P$  ისეთია, რომ ატომთა მოცემულ წყვილზე მოსული გარე ძალა აღემატება მიზიდვის მაქსიმალურ  $F_T$  ძალას, მაშინ ეს ატომები დაუბრკოლებლად შორდებიან ერთმანეთს. მაგრამ იმისთვის, რომ სხეული დაირღვეს, რომელიმე ზედაპირის გასწვრივ, აუცილებელია განსახილველი ზედა-

პირის ორივე მხარეს განლაგებულ ყველა ატომურ წყვილზე მოქმედებდეს  $F_r$ -ზე მეტი ძალა.  $F_r$  ძალის შესაბამის დაბვას უწოდებენ თეორიულ დაბვას, ან თეორიულ სიმტკიცეს გარღვევაზე და აღნიშნავენ  $\sigma_{თეორ.}$  ( $\sigma_{თეორ.} \approx 0,1 E$ -ს, სადაც  $E$ -იუნგის მოდულია). პრაქტიკაში რღვევას ადგილი აქვს  $P^*$  რეალური დატვირთვისას, რომლის შესაბამისი დაბვა ტოლია:

$$\sigma = \frac{P^*}{S}$$

და იგი 100–1000-ჯერ ნაკლებია  $\sigma_{თეორ.}$ -ზე. თეორიულ და ნამდვილ (რეალურ) სიმტკიცეებს შორის არსებული განსხვავება აიხსნება სხეულის სტრუქტურის არაერთგვაროვნებით (მარცვლის საზღვრებით პოლიკრისტალურ სხეულებში, გარეშე მინარევებით და სხვ.), რომელიც, თავის მხრივ, სხეულის განიკვეთში დატვირთვის არათანაბარ განაწილებას იწვევს;

**ბ) ტექნიკური სიმტკიცე** არის რეალურ მასალებში მიღწეული სიმტკიცე. ზოგი ფოლადისთვის მისი მნიშვნელობა თეორიული სიმტკიცის დაახლოებით 1/10-ს შეადგენს, ხოლო მეარი სხეულების უმრავლესობისთვის კი თეორიული სიმტკიცის 1/100 ან 1/1000 ნაწილს შეადგენს;

**გ) საკონსტრუქციო სიმტკიცე** არის კონსტრუქციული ელემენტების, შენადული კვანძების, მუხლა ლილვების, ჭანჭიკების, ტურბინის ფრთების სიმტკიცე და ა.შ. საკონსტრუქციო სიმტკიცე უფრო მცირეა, ვიდრე ტექნიკური, რაც აიხსნება კონსტრუქციებში ნასერებით, ჩანაჭრებით ან სხვა ზედაპირული დეფექტებით, შინაგანი დაძაბულობებით,

დატვირთვის უფრო მძიმე რეჟიმებით (ვიდრე ლაბორატორიული ნიმუშების გამოცდისას) და სხვა მიზეზების არსებობით. ლითონებში ყოველთვის არსებობს ძაბვის კონცენტრატორი-სტრუქტურის არაეთგვაროვნება (მინარეგები, განმამტკიცებელი ფაზები), დეფექტები (შიგა და ზედაპირული ბზარები), ნაკეთობის კონსტრუქციული თავისებურებები (ნასერები, განივკვეთის მკვეთრი ცვლილებები). რღვევის მექანიზმი დაკავშირებულია მიკროპლასტიკურ დეფორმაციებთან, რომლებიც ვითარდებიან კონცენტრატორების სიახლოვეს და დროთა განმავლობაში ბზარის ჩასახვას იწვევენ. სანამ ბზარი ნელა ვითარდება, კონსტრუქცია ინარჩუნებს შრომისუნარიანობას. კრიტიკული მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ კი ბზარი ვითარდება ძალიან სწრაფად და ნაკეთობა კატასტროფულად ირღვევა. ერთდერძა გაჭიმვისას, რღვევა ხდება სიმტკიცის ზღვრის შემდეგ, როდესაც ნიმუშის პლასტიკური დეფორმაცია დასრულდება. რეალურ პირობებში, კონსტრუქციებში, ლითონები ირღვევა ისეთი ძაბვების დროსაც, როდესაც მათი სიდიდე დენადობის ზღვარს არ აღემატება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სიმტკიცის ზღვარი რეალურ სიმტკიცეს არ განსაზღვრავს და მის აღსაწერად სხვა მახასიათებლებია საჭირო. პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ნაკეთობის შესაბამისი მასალის (ექსპლუატაციის შესაბამის პირობებში) ხანგამძლეობას საკონსტრუქციო სიმტკიცე, ცვეთა და კოროზიული მედეგობა განაპირობებს. სახელობრ, ამ თვისებების გათვალისწინებით ხდება მასალების შერჩევა უმეტესი პრაქტიკული ამოცანის გადაწყვეტისას;

**დ) დინამიკური სიმტკიცე** არის მასალების უნარი დაურღვევლად აიტანოს დინამიკური დატვირთვები; დინამიკური სიმტკიცე ვლინდება, ნაკეთობებზე დროის უმცირეს

შუალედში, დიდი ინტენსიურობით დატვირთვის მოდებისას. დეფორმაციის მაღალი სინქარის პირობებში, პლასტიკური დეფორმაცია ვერ ასწრებს შესაბამისი სინქარით განვითარებას და მასალა, დენადობის ფიზიკურ ზღვარზე უფრო მაღალი ძაბვისას, დრეკადად დეფორმირდება. ე.ი. დენადობის დინამიკური ზღვრის გადამეტება სტატიკური დენადობის ზღვრის მნიშვნელობაზე დაკავშირებულია პლასტიკური დეფორმაციის დაგვიანებასთან. აღსანიშნავია, რომ დინამიკური განმტკიცება ლევირებულ და თერმულად განმტკიცებულ ფოლადებში (რომლებსაც აშკარად გამოსახული დენადობის ბაქანი არ აქვთ) დენადობის პირობით ზღვარზე უფრო ნაკლები ხარისხით ვლინდება, ხოლო სიმტკიცის ზღვრის სიდიდეზე—პრაქტიკულად არ აისახება

**ე) ხანგრძლივი სიმტკიცე** არის ცოცვადობის მდგომარეობაში ხანგრძლივად მყოფი მასალის სიმტკიცე. ან კიდევ, მაღალ ტემპერატურაზე დაძაბულ მდგომარეობაში ხანგრძლივად მყოფი მასალის სიმტკიცე, ანუ მხურვალმტკიცობა (იგი კომპლექსური თვისებაა და აერთიანებს ისეთ მაღალტემპერატურულ თვისებებს, როგორცაა: ცოცვადობის წინააღობა, ხანმოკლე და ხანგრძლივი სიმტკიცეები, ხანგრძლივი პლასტიკურობა). იგი ხასიათდება ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვრით. ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი არის უდიდესი პირობითი ძაბვა, რომლის მოქმედებისას, მოცემულ ტემპერატურაზე, დროის მოცემულ შუალედში, მასალა ირღვევა. ეს მახასიათებელი განსაზღვრავს მასალის უნარს წინ აღუდგეს რღვევას ტემპერატურისა და დატვირთვის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას. იგი მცირდება ტემპერატურისა და დაყოვნების გაზრდით. ხანგრძლივობის აღნიშვნაში მოცემულია ორი ინდექსი: ზედა უჩვენებს მოცემულ ტემპერატურას, ქვედა—მოცემულ ხანგამძლეობას სთ-ში, მაგ.,  $\sigma_{100}^{900}$ . მასალის ხანგრძლივი სიმტკიცის მნიშვნელო-

ბა განსაზღვრულ ტემპერატურაზე დამოკიდებულია ხანგრძლივ პლასტიკურობაზე. პლასტიკური თვისებების ერთობლიობას, ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში, ხანგრძლივი პლასტიკურობა ეწოდება. პირობითად, იგი ხასიათდება ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების სიდიდებით მოცემულ ტემპერატურაზე გაწვევისას. ამასთან, ხასიათდება კრიტერიუმების მთელი რიგით, მაგ., "პლასტიკურობის რესურსით" და ა.შ.

მასალების მუშაობის უნარის გამოვლენა მაღალ ტემპერატურებზე, მითხოვს რთულ და მრავალ ფაქტორზე დამოკიდებული თვისებების შესწავლას. ის ფაქტორები რომლებიც მოცემულ კონკრეტულ პირობებში შეიძლება განმსაზღვრელიც კი იყოს (მაგ., "ტემპერატურა-დრო"-ის დამოკიდებულების პირობებში ხანგრძლივი დატვირთვისას: ხანგრძლივი სიმტკიცე, ხანგრძლივი პლასტიკურობა და ცოცვალობა; ციკლური დატვირთვისას-გამძლეობის ზღვარი და სხვ.), სრულად მაინც ვერ ახასიათებენ მასალის მაღალტემპერატურულ სიმტკიცეს. მასალა, მიუხედავად მისი სიმტკიცის მახასიათებლების მაღალი მაჩვენებლებისა, არ არის მტკიცე, თუ მას, თუნდაც მინიმალური, პლასტიკურობა (2%-ის ზღვრებში თანაბარი პლასტიკური წაგრძელება) არ ექნება. ამრიგად, მასალა შრომისუნარიანია მანამ, სანამ მისი განმტკიცების პროცესები განუმტკიცებლობის პროცესებს არ აღემატება, ანუ მანამ, სანამ არსებობს რომელიღაც, თუნდაც მინიმალური, თანაბარი ფარდობითი წაგრძელება.

ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარს, მოცემულ ტემპერატურაზე, დროის ხანგრძლივობა მიენიშნება. მაგ., 600 °C-ზე  $\sigma_{100} = 250$  ნ/მ<sup>2</sup> ნიშნავს, რომ 600 °C-ზე 250 ნ/მ<sup>2</sup> სიდიდის მექანიკური ძაბვა გამოიწვევს მასალის რღვევას 100 სთ-ის შემდეგ.

პრაქტიკაში სხვადასხვა კონსტრუქციაზე დატვირთვისა და ტემპერატურის მოქმედების დრო მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან (მაგ., რაკეტის მასალისთვის ეს დრო შეიძლება რამდენიმე წამი იყოს, ხოლო სტაციონარული ტურბინების მასალებისთვის—რამდენიმე ასეულათასი საათი). მაღალ ტემპერატურებზე ძალიან დიდი ხნით მომუშავე დეტალებისთვის ადგენენ ცოცვადობის ზღვარს. ამ მიზნით, შესაბამისი გამოცდები ტარდება და ჩაიწერება ცოცვადობის მრუდები. ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი განისაზღვრება მასალის სხვადასხვა ტემპერატურაზე გაჭიმვისას. ტემპერატურის მატებით მასალის უმეტესობის ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი მცირდება. იგი, ამასთან, დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობაზე, მიკროსტრუქტურაზე (მარცვლის ზომაზე, ფორმაზე, განმამტკიცებელი ფაზის ნაწილაკების ფორმაზე, ზომაზე და განაწილების ხასიათზე) და სამუშაო გარემოზე (შეიძლება მკვეთრად შემცირდეს, თხევად, ადვილმდნად ლითონებთან ნიმუშის ურთიერთქმედებისას).

მსურვალმტკიცე შენადნობების შერჩევისას, ხანგრძლივი სიმტკიცე, ცოცვადობისადმი წინააღმდეგობასა და მსურვალმდეგობასთან ერთად, მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. გაზის ტურბინების, რეაქტიული ძრავებისა და რაკეტების გამოჩენამ კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი გახადა კვლევები, მიმართული მაღალ ტემპერატურებზე საექსპლუატაციო მასალების თვისებების გაუმჯობესებისათვის. თანამედროვე ტექნიკის მრავალი დარგის შემდგომი განვითარება ფერხდება არსებული მასალების შეზღუდული მაღალტემპერატურული თვისებების გამო;

**ვ) ხანმოკლე სიმტკიცე** არის მასალის უნარი, რომელიც ახასიათებს მასალის რღვევისადმი წინაღობას, სხეულის

მაღალი სიჩქარით დეფორმირებისას. ხანმოკლე სიმტკიცის განსასაზღვრად, ჩვეულებრივ, იყენებენ გაჭიმვაზე გამოსაცდელ ისეთ მანქანებს, რომელთა დატვირთვის მოსაღები მოწყობილობა 10 - 100 მმ/წთ სიჩქარით გადაადგილდება. ხანმოკლე სიმტკიცის განსაზღვრის უპირატესად გავრცელებული მეთოდებია სტატიკურ რღვევაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე და ჭრაზე გამოცდები. თუ გამოსაცდელ მასალაზე დატვირთვის მოდებიდან მის რღვევამდე დატვირთვის დრო რამდენიმე წამს არ აღემატება, მაშინ მასალის სიმტკიცე იმ მექანიკური ძაბვით შეიძლება შეფასდეს, რომლის ზევითაც მასალა რღვევას განიცდის. მას ხშირად სიმტკიცის პირობით-მყისიერ ზღვარს ანუ მყიფე-ხანმოკლე სიმტკიცის ზღვარს უწოდებენ. ხანმოკლე სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრა ჩვეულებრივი სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრის ანალოგიურია, იმ განსხვავებით, რომ ნიმუში ამ დროს ხურდება მოცემულ ტემპერატურამდე. ხანმოკლე სიმტკიცის ზღვრის მახასიათებელი ემსახურება ერთობ მცირე დროით (წამები, წუთები) მომუშავე დეტალების მაღალ ტემპერატურაზე სიმტკიცის გაანგარიშებას.

## **2.7 რღვევა და რღვევის პროცესის ფიზიკური არსი**

დეფორმაციისას ლითონში, მაღალი სიდიდის ძაბვების წარმოქმნის შემთხვევაში, პროცესი მთავრდება სხეულის მთლიანობის დარღვევით. სხეული განიკვეთზე ირღვევა არა ერთდროულად, არამედ რღვევა შესაძლოა იმაზე დიდი ხნით ადრე დაიწყოს, ვიდრე ნაკეთობაზე მაქსიმალური დატვირთვა იქნება მოდებული. რღვევა მოიცავს სამ სტადიას: ა) ბზარის ჩასახვას; ბ) ბზარის განვითარებას; გ) რღვევას. ბზარი წარმოიქმნება, ძირითადად, რღვევისწინა პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში.

სხეულის რღვევა მის ნაწილებად დაყოფაში ან მაკროსკოპული, შეუიარაღებელი თვალით შესამჩნევი ბზარის (ან ფორის) წარმოქმნაში მდგომარეობს. რღვევის მომენტი ძაბვის, დეფორმაციის ან დეფორმაციის მუშაობის კრიტიკული მნიშვნელობების სიდიდეებს უკავშირდება. ასეთი წარმოდგენები უდევს საფუძვლად მასალების სიმტკიცის იმ მრავალრიცხოვან თეორიებს, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება მანქანათა დეტალებისა და ნავებობათა კვანძების ხანმედგობის გასაანგარიშებლად. რღვევის პროცესებს მეცნიერების ახალი მიმართულება—რღვევის მექანიკა—სწავლობს. ნაშრომში შემოკლებული სახით იქნება განხილული უკვე დადგენილი "ჭეშმარიტებანი".

რღვევის პროცესის ფიზიკური არსის გაგება დაკავშირებულია მიკრობზარების (ან მიკროფორების) ჩასახვის, განვითარების, აგრეთვე მიკრობზარებისა და მიკროფორების "მოშუშების" მექანიზმების შესწავლასთან და დეფორმაციის როგორც ლითონების კრისტალური აღნაგობის დეფექტების (ვაკანსიების, დისლოკაციების, დისკლინაციების და მისთ.) მოძრაობის პროცესის წარმოდგენასთან. დღემდე რღვევის დატვირთვის პირობებთან კავშირზე, მიკრობზარებისა და მიკროფორების ურთიერთქმედებასა და განვითარებაზე, განსაკუთრებით მათ "მოშუშებაზე" ფიზიკური წარმოდგენა არასაკმარისადაა შესწავლილი. აქედან გამომდინარე, რღვევა განხილულ უნდა იქნეს როგორც რიგი თანმიმდევრობითი სტადიისგან შედგენილი პროცესი: ა) სუბმიკროსკოპული ზომის ბზარების ან ფორების ჩასახვა; ბ) მათი შემდგომი განვითარება—მიკრობზარებისა და მიკროფორების წარმოქმნა; გ) მიკრობზარებისა და მიკროფორების ერთმანეთთან შერწყმა და მიკროსილდრუეების წარმოქმნა; დ) შეუიარაღებელი თვალით ხილული, მაკრო-

სკოპული, მაგისტრალური ბზარის ჩამოყალიბება, რომლის გავრცელებაც სხეულის ნაწილებად დაყოფით მთავრდება.

დაყოფა შესაძლებელია აგრეთვე დეფორმაციის დროსაც, კრისტალის ერთი ნაწილის მეორის მიმართ დაცურების ან განიკვეთის ნულამდე შემცირებისას. ჩვენ განვიხილავთ რღვევის იმ პროცესებს, რომლებიც ბზარების ჩასახვასა და განვითარებასთანაა დაკავშირებული. ასეთი შეზღუდვა მიგვანიშნებს რღვევის პროცესის ლოკალურობაზე. მაგისტრალური ბზარის ზრდისას, რღვევის წინაღობა განისაზღვრება არა მთლიანი მასალის თვისებებით, არამედ იმ მცირე მოცულობებით, რომლებიც ბზარის გავრცელების გზაზეა განთავსებული. დატვირთვის სხვადასხვაგვარ პირობებში, ამ მიკრომოცულობების ქცევების და ბზარის გავრცელების სიჩქარის მიხედვით, ბზარი შეიძლება იყოს "მყიფე" ან "ბლანტი". სახელობრ, ამ ნიშნების მიხედვით, თვით რღვევის პროცესი იყოფა ორ კატეგორიად—მყიფე და ბლანტი რღვევებად. (საინჟინრო თვალთახედვით სიმყიფე და სიბლანტე რღვევის პროცესის ალტერნატიული მხარეებია). რღვევის ორი ტიპის შესაბამისად, შესაძლებელია გამოიყოს ლითონის რღვევის წინაღობის ორი ტიპი: წინააღმდეგობა ძვრაზე (ჭრაზე) და წინააღმდეგობა მოწყვეტაზე.

მასალის რღვევას, რომელსაც წინ უსწრებს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაცია, ბლანტი რღვევას უწოდებენ, ხოლო რღვევას პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე—მყიფე რღვევას. მყიფე რღვევისას ბზარის გავრცელების სიჩქარე  $1000 \text{ მ წმ}^{-1}$ -ს აღწევს, ხოლო ბლანტი რღვევისას იგი  $100$ -ჯერ ნაკლებია. ბლანტი რღვევის დროს დეფორმაციის არე ბზარიდან დაშორებულ მანძილზე ვრცელდება, ხოლო მყიფე რღვევის შემთხვევაში დეფორმაცია ვიწრო არეში, ბზარის წვეროსთანაა ლოკალიზებული. აქედან გა-

მომდინარე, ბლანტი რღვევისას, ბზარის გავრცელებაზე (წინწაწევაზე), მყიფე რღვევასთან შედარებით, მნიშვნელოვნად უფრო დიდი ენერგია იხარჯება.

ერთჯერადი, მონოტონურად მზარდი დატვირთვის მოქმედებისას, შესაძლებელია განვითარდეს ორივე ტიპის მყიფე და ბლანტი (პლასტიკური) რღვევა. ამ შემთხვევაში ტერმინები ბლანტი და პლასტიკური გამოიყენება როგორც სინონიმები (მიუხედავად იმისა, რომ მასალათა მექანიკაში, მათ შორის მნიშვნელოვანი განსხვავების გამო, ისინი ცალ-ცალკე განიხილებიან). რღვევა, მრავალ შემთხვევაში, შერეული ტიპისაა. იგი, ერთდროულად ხასიათდება მყიფე და ბლანტი რღვევის ნიშნებით.

მიღებულია, რომ მყიფე რღვევა აღიძვრება მხოლოდ და მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მასალაში, პლასტიკური მდგრადობის დაკარგვის დადგომამდე, გარკვეული, კრიტიკული სიდიდის გამჭიმავი ძაბვა (მიიღწევა) არსებობს. ამრიგად, ბზარის ჩასახვის წინაპირობა პლასტიკური დეფორმაციაა. ე.ი., კრისტალურ მასალებში, ბზარის ჩასახვის ეტაპი შეუძლებელია წარმოვიდგინოთ პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე. ბზარის ჩასახვა ხდება იმ შემთხვევებში, როდესაც დისლოკაციების გროვას, წვეროს არეში, შესაძლებლობა არ ექნება პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე შეამციროს ძაბვების კონცენტრაცია. დღეისათვის საყოველთაოდაა მიღებული, რომ ბზარის ჩასახვა არ უკავშირდება დრეკად დეფორმაციებს. ქსპერიმენტები არ ტოვებს იმის ეჭვს, რომ ბზარების ჩასახვაში, მათ შორის მყიფე რღვევის ბზარებისაშიც, გადამწყვეტი როლი პლასტიკურ დეფორმაციას ეკუთვნის.

ბზარის განვითარების სტადიაზე პლასტიკური დეფორმაციის როლი უფრო მოკრძალებულია და იგი პროცესის ორგანულ აუცილებლობას არ წარმოადგენს. რადგან დისლოკაციის წყაროები ყოველთვის განვითარებადი ბზარის წვეროზეა (მაღალი ძაბვების არეში), ამიტომ ლითონები დეფორმირდება რღვევის ამ ეტაპზეც. რღვევის პროცესს, მის ყველა სტადიაზე, ყოველთვის თან ახლავს პლასტიკური დეფორმაცია. ამრიგად, ლითონებში აბსოლუტურად მყიფე მოწყვეტა მიუღწეველია. დღეისათვის არ არსებობს სარწმუნო მონაცემები, რომლებიც დაადასტურებდნენ ისეთი რღვევის რელიეფის მიღების შესაძლებლობას, რომელზეც პლასტიკური დეფორმაციის კვალი არ იქნებოდა. აქედან გამომდინარე, მყიფე და ბლანტ რღვევებს შორის მკვეთრი და უპირობო საზღვრის გატარება შეუძლებელია.

ატომურ დონეზე ბზარებისა და ფორების ჩასახვის მექანიზმი იმ შეხედულებას ეფუძნება, რომ რღვევისათვის აუცილებელია დისლოკაციების მოძრაობით გამოწვეული პლასტიკური დეფორმაცია. ცნობილია დისლოკაციების შეერთების და სუბმიკრობზარების წარმოქმნის რამდენიმე მოდელი:

**ა) ზინერ-სტროს დისლოკაციების შერწყმის მოდელი.** ამ დროს, მოძრავი დისლოკაციების დამუხრუჭება და მათი თავმოყრა რაიმე წინააღმდეგობის სიახლოვეს (მარცვლის საზღვრების, ორეულების, ჭარბი ფაზის ჩანასახების) ხელს უწყობს რამდენიმე დისლოკაციის დაახლოებას, მათი ექსტრასიბრტყელების შერწყმას და მათ ქვეშ მიკრობზარის ჩანასახის წარმოქმნას. დისლოკაციურ მიკრობზარში საპირისპირო ნიშნის დისლოკაციის მოხვედრისას, მიკრობზარი შეიძლება მიკროფორად გარდაიქმნეს, რაც სოლისებრი დისლოკაციური ბზარის "დაბლაგვებას" და მის ბირთვში ძაბვების კონცენტრაციის მნიშვნელოვან შემცირებას იწვევს;

**ბ) ვაკანსიების ლოკალური თავმოყრის და მათი ფორმებში კონდესაციის მოდელი.** ამ მოდელის მიხედვით მიკროფორი წარმოიქმნება კრისტალური გისოსის ვაკანსიებით გადაჯვრების და მათი მიკროფორებში თავმოყრისას. პროცესს ხელს უწყობს პლასტიკური დეფორმაცია, რადიაციული დასხივება, წრთობა და მისთ;

**გ) ძვრის დეფორმაციით ფორმების ჩამოყალიბების მოდელი.** ეს მოდელი ეფუძნება სრიალის გადამკვეთ სიბრტყეებში დისლოკაციების გადაადგილებებს. ასეთი სრიალის პირობების მაკროსკოპულ მასშტაბში რეალიზება განივი ან ხრახნული გლინვისას ხდება. ამ დროს ნამზადის ღერძის ზონაში სიღრუე იხსნება;

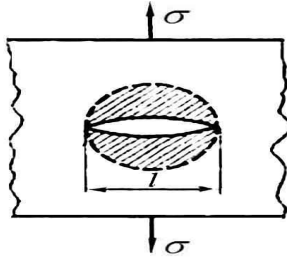
**დ) შეჩერებული ძვრის მოდელი.** იგი წინა მოდელის მსგავსია და დისლოკაციების ბარიერებით ბლოკირებას ვარაუდობს. მათ შორის სხვაობა იმაში მდგომარეობს, რომ დისლოკაციის გროვის თავში, სრიალის სიბრტყის ქვემოთ (ქვედა არეში), არა მხოლოდ გარკვეული ინტენსიურობის მხები ძაბვები აღიძვრება, არამედ – მნიშვნელოვანი გამჭიმავი ძაბვებიც.

განხილული მოდელების გარდა, არსებობს სხვა მოდელებიც (სუბსაზღვრებთან ბზარის ჩასახვის მოდელი, კოტრელის მოდელი და სხვ.). ყველა მოდელისათვის საერთო არის ის, რომ ყველაში დისლოკაციების თავმოყრა განიხილება.

## 2.8 რღვევის მიქანიზმი

მასალების უმეტესობისათვის მყიფე სიმტკიცე არის მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვის სიდიდე, რომელიც რღვევას არ იწვევს. ის ყოველთვის იდეალური უდეფექტო მასალის  $\sigma_t$  თეორიულ სიმტკიცეზე ნაკლებია.  $\sigma_t$  ზღვარზე ნაკლები ძაბვებისას მიკრობზარის წარმოქმნას ხელს უწყობს თერ-

მული ფლუქტუაციები. სურ. 13-ის შესაბამისად, თუ მცირე ზომის ზედაპირზე (რომლის ზომებიც გაცილებით აღემატება ერთი ატომის განივკვეთს) ლოკალური ძაბვა  $\sigma_t$ -ზე მეტი აღმოჩნდება, მაშინ ზედაპირის გასწვრივ მოხდება გარღვევა (გაგლეჯა).



სურ. 13. გრიფითის (Griffith) ბზარი (ისრები უნევენებენ გაჭიმვის მიმართულებას, ხოლო დაშტრიხული ნაწილი—იმ არეს, რომელშიც ძაბვები მოიხსნა)

გარღვევის ნაპირები ერთმანეთს კრიტიკულ  $r_c$ -ზე მეტი მანძილით დაშორდებიან (სურ. 12). ამ მანძილზე ატომთშორისი ძალები უკვე მცირეა და ბზარი წარმოიქმნება.

ლოკალური ძაბვები განსაკუთრებით დიდია წარმოქმნილი ბზარის ნაპირებთან (ამასთან, ისინი მით უფრო მეტია, რაც უფრო დიდია ბზარის ზომა), სადაც ძაბვების კონცენტრაცია ხდება. როცა ბზარის ზომა აღემატება რომელიღაც  $r_c$ -ზომას, მაშინ მის ნაპირებთან მყოფ ატომებზე მოქმედი ძაბვების სიდიდე  $\sigma_t$ -ზე მეტი ხდება. ამის შემდეგ ბზარი, მთელ კვეთზე, დიდი სიჩქარით იზრდება და მასალა ირღვევა.  $r_c$  განისაზღვრება პირობით: ბზარის ზრდისას მასალის გამოთავისუფლებული დრეკადი ენერგია დაფარავს ბზარის ახალი ზედაპირის წარმოქმნაზე დახარჯულ ენერგიას:

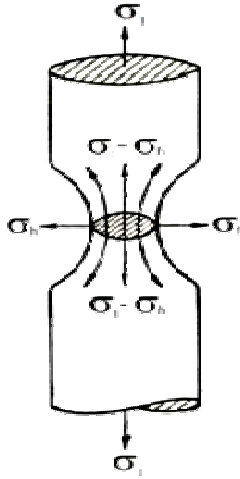
$$r_c \approx \frac{E \cdot \gamma}{\sigma^2},$$

სადაც  $\gamma$  არის მასალის ერთეული ზედაპირის ენერგია.

სანამ მზარდი გარე ძალები რღვევისათვის აუცილებელ სიდიდეს მიაღწევს, მანამ ატომების ცალკეული ჯგუფები (განსაკუთრებით კრისტალების დეფექტების შედგენილობაში შემავალი), ჩვეულებრივ, გადაეწეობიან, რის დროსაც ლოკალური ძაბვები მცირდება (ძაბვის რელაქსაცია) და ხდება სხეულის ფორმის ცვლა—პლასტიკური დეფორმაცია. ამას ხელს უწყობს, აგრეთვე, თერმული ფლუქტუაციებიც. რღვევას ყოველთვის წინ უსწრებს მცირე ან დიდი ზომის პლასტიკური დეფორმაცია. ამიტომ,  $r_c$ -ს შეფასებისას  $\gamma$ -ენერგიაში პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობის  $\gamma_c^{\text{მუშ}}$ -ის კომპონენტიც უნდა ჩაირთოს. იგი, ჩვეულებრივ, ჭეშმარიტ ზედაპირულ  $\gamma$ -ენერგიაზე რამდენიმე რიგით მეტია.

როცა პლასტიკური დეფორმაცია არა მხოლოდ რღვევის ზედაპირის სიახლოვეს, არამედ სხეულის მოცულობაშიც მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს, რღვევა ბლანტია.

განვიხილოთ ნიმუშის გაჭიმვისას მოცულობითი ძაბვების გავლენა რღვევაზე. ამ შემთხვევაში მოცულობითი ძაბვების ზედდება მოდებულ ძაბვაზე პლასტიკურობის ზრდას იწვევს, რადგან ყოველმხრივი კუმშვა ბზარის გახსნას ეწინააღმდეგება. პირიქით, პლასტიკურობა, ჩვეულებრივ მცირდება, თუ ნიმუშს ჩანაჭერი ექნება. სურ. 14-ის შესაბამისად, ამ ეფექტის განხილვა შეიძლება მოხდეს ყელის მქონე (რომელიც წრიული ჩანაჭრის ეკვივალენტურია) გასაჭიმი ნიმუშის მაგალითზე.



სურ. 14. დაბეჭედი გასაჭიმო ნიმუშის ყელში

მოღებული  $\sigma_1$  დაბვის გავლენით ნიმუშის ყელის არეში აღიძვრება დაბვის განივი კომპონენტი. დაბებული მდგომარეობა ნიმუშის ამ ზონაში ხასიათდება დაბეჭედის აქსიალური  $(\sigma_1 - \sigma_h)$  და მოცულობითი  $\sigma_h$ , კომპონენტებით. თუ უჩანატრო ნიმუშის დინების დაბვა, გაჭიმვისას,  $\sigma$ -ს ტოლია, მაშინ ყელის მქონე ნიმუშისთვის იგი ტოლი იქნება:

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_h$$

საიდანაც:

$$\sigma_1 = \sigma + \sigma_h$$

მაშასადამე, ყელის არეში მასალის დინების დასაწყებად აუცილებელია,  $\sigma_1$  დაბვა გახდეს  $\sigma + \sigma_h$  დაბვის ტოლი. ასეთ შემთხვევაში მოცულობითი დაბვა ხელს შეუწყობს ბზარის გახსნას (ანუ მასალის გამყიფებას). ამასთან, უნდა გაიზარდოს დინების მოჩვენებითი დაბვა  $\sigma_1$ . ამრიგად, პლასტიკურ

მასალებში  $\sigma_h$  ძაბვის შეუზღუდავად გაზრდა შეუძლებელია, ვინაიდან  $\sigma_1$  ძაბვა ვერასოდეს შეძლებს ძაბვის 3 $\sigma$  მნიშვნელობას გადააჭარბოს.

რღვევის ხასიათი გამოვლინდება რღვევის რელიევის ზედაპირის სტრუქტურაში. მისი შესწავლა ხდება ფრაქტოგრაფიით. მყიფე და ბლანტ რღვევებს ერთმანეთისგან განსხვავებული რღვევის ზედაპირები აქვს. დეფექტების ხასიათი გვიჩვენებს თუ რა სახის რღვევას ჰქონდა ადგილი. მყიფე რღვევისას ზედაპირი ჩამონატეხი ფორმისაა, ხოლო ბლანტი რღვევის შემთხვევაში, ზედაპირი გაჭიმულია (წაგრძელებული და ხვეული).

კრისტალურ სხეულებში კრისტალოგრაფიული ტექნადობის სიბრტყეებზე ანახლენი შეესაბამება მყიფე რღვევას, ხოლო ბლანტს—მიკროსიცარიელების შერწყმა (ფრაქტოგრაფებზე "ჯამების" სახით გამოვლინდება) და სრიალი. დაბალ ტემპერატურებზე მიმდინარე რღვევა, უპირატესად, მყიფეა, მაღალზე კი—ბლანტი. ბლანტი რღვევიდან მყიფე რღვევაზე გადასვლის ტემპერატურას ციკმეტეხობის კრიტიკული ტემპერატურა ეწოდება.

რადგან რღვევა ბზარის ჩასახვის და შემდეგ მისი ზრდის პროცესია, ამიტომ იგი სიჩქარით ან დატვირთვის მოდების მომენტთან რღვევის მომენტამდე  $\tau$  დროით, ანუ მასალის ხანგამძლეობით უნდა ხასიათდებოდეს. კვლევებით დადგენილია, რომ ხანგამძლეობა  $\tau$ , გაჭიმვისას, ტემპერატურებისა და ნიმუშზე მოდებული ძაბვების  $\sigma$ -ს ფართო ინტერვალში, შემდეგი ფარდობით განისაზღვრება:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{V_0 - \sigma V}{kT}\right),$$

სადაც:  $\tau_0$  არის მყარ სხეულში ატომების სითბური რხევის პერიოდის  $\approx 10^{-12}$ -ის ტოლი;

$V_0$ –მასალის სუბლიმაციის ენერგიის მნიშვნელობასთან ახლო ენერგია;

$V$ –აქტივაციის მოცულობა, რომელიც რამდენიმე ათას ატომურ მოცულობას შეადგენს (დამოკიდებულია მასალის დატვირთვის დროზე, მასალის წინასწარი თერმული და მექანიკური დამუშავების პროცესში ჩამოყალიბებულ სტრუქტურაზე);

$k$ –ბოლცმანის მუდმივაა და  $1,38 \cdot 10^{-16}$  ერგ/გრად–ის ტოლია.

ხანგამძლეობა მკვეთრად მცირდება დაბალ ტემპერატურებზე დაბევების მომატებისას. ასე რომ,  $\tau$ -ს ნებისმიერი მნიშვნელობისთვის არსებობს დაბევების თითქმის მუდმივი ზღვრული  $\sigma_0$  მნიშვნელობა, რომლის ზევით ნიმუში, პრაქტიკულად, მყისიერად ირღვევა. ხოლო დაბლა განუსაზღვრელად დიდხანს არის გამძლე. ამდენად,  $\sigma_0$ -ის მნიშვნელობა შეიძლება სიმტკიცის ზღვრად ჩაითვალოს. დრო  $\tau$  იხარჯება მიკრობზარების თერმოფლუქტუაციური ჩასახვის მოლოდინზე და შემდეგ–კრიტიკულ  $r_c$  ზომამდე ზრდაზე. დაბევების მოდებისას, დასაწყისში, ნიმუში დრეკადად, ხოლო შემდეგ პლასტიკურად დეფორმირდება. ამასთან, საწყის მდგომარეობაში არსებული ან პლასტიკური დეფორმაციისას წარმოქმნილი სტრუქტურული არაერთგვაროვნების სიახლოვეს აღიძვრება მნიშვნელოვანი სიდიდის ლოკალური დაბევები (კრისტალებში დამუხრუჭებული ძვრების თავში–დისლოკაციების გროვა). ამ ადგილებში მიკრობზარები ჩაისახება. შესაძლოა მათი კონცენტრაცია იყოს ძალიან დიდი. მიუხედავად ამისა, მათი ზომები, რომლებიც სტრუქტურის არაერთგვაროვნების მასშტაბით განისაზღვრება, გაცილებით ნაკლებია  $r_c$ -ზე. ბზარი არ იზრდება და სხეული არ ირღვევა მანამ, სანამ შემთხვევით, მაგ., თანამიმდევრობით შერწყმისას, ახლოს განთავსებული

მეზობელი მიკრობზარებიდან ერთ-ერთი არ მიაღწევს კრიტიკულ ზომას. აქედან გამომდინარე, ახალი მტკიცე მასალის დამუშავებისას უნდა ვიზრუნოთ არა იმდენად იმაზე, რომ ბზარები არ ჩაისახოს, არამედ იმაზე, რომ ისინი არ გაიზარდოს.

თერმული ფლუქტუაციების შემთხვევითი ხასიათი და ნიმუშის მოცულობაში შემთხვევით განაწილებული სტრუქტურული არაერთგვაროვნებები, თავისი ზომებით და სიმტკიცის ხარისხით, მოცემული  $\sigma$  და  $T$ -ს მნიშვნელობებისას, ერთი და იმავე მასალის (ნიმუშების) გამოცდა იწვევს ხანგამძლეობის (აგრეთვე სიმტკიცის ზღვრის) მნიშვნელობების განბნევას. ალბათობა იმისა, რომ ნიმუშში სუსტი ადგილი შეგვხვდეს, მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია მისი მოცულობა. ამიტომ, სიმტკიცე (მრღვევი ძაბვა) მცირე ზომის ნიმუშებისა (მაგ., ლითონის წვრილი ძაფების) უფრო მაღალია, ვიდრე იმავე მასალის დიდი ზომის ნიმუშებისა (მასშტაბის ეფექტი). ამადლებული ძაბვების უბნები, სადაც უფრო ადვილად ჩაისახება მიკრობზარები, ზედაპირთან (შვერილები, ნაკაწრები) უფრო ხშირად გვხვდება. ამიტომ, ზედაპირის გაპრიალება სიმტკიცეს ზრდის, ხოლო აგრესიულ არეებში ამადლებული ძაბვების უბნები, პირიქით, სიმტკიცეს ადაბლებს.

რღვევის მექანიზმის დადგენის მიზანი არის წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე ახალი მასალების შექმნის ძირითადი პრინციპების გარკვევა, არსებული მასალების გაუმჯობესება და მათი დამუშავების მეთოდების რაციონალიზაცია. ახალი, მაღალი სიმტკიცის მასალების დამუშავებისას, პირველი მოთხოვნა არის პლასტიკური დეფორმაციისადმი მასალის წინაღობის ამადლება. კრისტალურ სხეულებში ეს დეფექტების სიმკვრივის შემცირებით ან წვრილდისპერსიულ მასალებში დისლოკაციების

სიმკვრივის ზღვრული სიდიდის მიღწევითაა შესაძლებელი. მეორე მოთხოვნა არის რღვევისადმი მასალის წინაღობის ამადლება. იგი მაღალი თეორიული სიმტკიცის ( $\sigma_t = 0,1E$ ) მიღწევამდე დაიყვანება.  $\sigma_t$ -ის მაღალი მნიშვნელობა მიკრობზარების ჩასახვას აძნელებს. ბზარების ზრდის აღმოსაფხვრელად, მასალა საკმაოდ პლასტიკური უნდა იყოს. ასეთ შემთხვევაში, ბზარის წვეროსთან, მისი ზრდისთვის აუცილებელი ძაბვები, პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე გაიწოვება. მაღალი სიმტკიცისა და პლასტიკურობის შეხამებისას, შენადნობის მტკიცე (ჩვეულებრივ მყოფე) ფაზაში ან ბოჭკოში აღძრული ბზარი პლასტიკური მატრიცის საზღვართან შეჩერდება. ამის გამო, მაღალი სიმტკიცის მასალების მნიშვნელოვან მახასიათებელს ბზარის გავრცელების წინაღობა ანუ რღვევის სიბლანტე წარმოადგენს.

რღვევის სიბლანტე ეს არის ბზარის შესართავთან გამჭიმავი ძაბვის ფარდობითი მატება, ბზარის სტაბილურიდან არასტაბილურ ზრდაზე გადასვლისას. რღვევის სიბლანტე მჭიდრო კავშირშია მასალის სიმტკიცის მაჩვენებლებთან. სიმტკიცის ზრდას თან ახლავს პლასტიკურობისა და რღვევის სიბლანტის შემცირება. ეს მოვლენა იმ მდგომარეობით აიხსნება, რომ მაღალმტკიცე მასალებს მცირე აქვს ის ენერგია, რომელიც რღვევისას შთაინთქმება და რომლის დონეც ბზარის წვეროსთან პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდით განისაზღვრება. მაღალი სიმტკიცის მასალებისთვის სიმტკიცის ზრდის ეფექტი მნიშვნელოვნად გადაიფარება პლასტიკურობის შემცირებით, რის შედეგადაც რღვევის სიბლანტე მცირდება. დაბალი და საშუალო სიმტკიცის მასალებს, ოთახის ტემპერატურაზე, ჩვეულებრივ, რღვევის სიბლანტის უფრო მაღალი მაჩვენებელი აქვთ, ვიდრე მაღალმტკიცე მასალებს. ტემპერატურის დაწვევისას, სიმტკიცე მატულობს და, განსაზღვრულ პირობებში, დაბალი და საშუალო სიმტკიცის მასალების რღვევის სიბლანტის მაჩვენებლები უტოლდება მაღალმტკი-

ცე მასალების რღვევის სიბლანტის მაჩვენებლებს ოთახის ტემპერატურაზე. რღვევის სიბლანტე შედარებით ფართოდ დამატებით იქნება განხილული.

## 2.9 პოლიპრისტალური მასალების რღვევა

აქამდე დეფორმირებადი სხეული, დეფორმაციამდე და დატვირთვის მთელი პროცესის განმავლობაში, განიხილებოდა როგორც გლუვი, ჩანაჭრებისა და ნასერების გარეშე, მუდმივი განიკვეთით და მთლიანი (სიღრუეების, ფორებისა და ბზარების გარეშე). ე.ი. ბზარებისა და სიღრუეების წარმოქმნა-განვითარება არ იყო გათვალისწინებული. თუ წარმოვიდგენთ, რომ სხეული უდევექტოა როგორც საწყის, ისე დატვირთვის მთელი პროცესის განმავლობაში, ეს ნიშნავს, რომ იგი ირღვევა მთელ განიკვეთზე ერთდროულად და მოულოდნელად. მაშინ როდესაც, ბზარის განვითარების გამო, რეალური სხეული განიკვეთზე ყოველთვის არაერთდროულად (წერტილიდან წერტილამდე) ირღვევა. სინამდვილეში, რღვევა ვითარდება დროში. იგი განპირობებულია ერთი ან რამდენიმე ცენტრიდან ბზარის ჩასახვით და შემდგომ მისი ზრდით. ლითონებისა და შენადნობებისათვის დამახასიათებელია კრისტალური რღვევის ორი სახე: 1. მარცვალთშორისი (ინტერკრისტალური), როცა ბზარი მარცვლის საზღვრებზე ვრცელდება. 2. მარცვალთშიგა (ტრანსკრისტალური)–ბზარი, იგი მარცვალში ვრცელდება. საკვლევი მასალის რღვევის რელიეფის მაკრო- და მიკროსტრუქტურების შესწავლა ბზარის განვითარებისადმი მასალის წინააღმდეგობის უნარის შეფასების საშუალებას იძლევა. პრაქტიკაში, რღვევის რელიეფის მიხედვით, შესაძლებელია რღვევის ხასიათის განსაზღვრა. პლასტიკური

მასალები საექსპლოატაციოდ საიმედოა, მათში საშიში მყოფე რღვევის ალბათობა ნაკლებია.

თუ პროცესის მექანიზმიდან გამომდინარე კლასიფიკაციით ვიხელმძღვანელებთ, მაშინ შესაძლებელია ლითონებში გამოიყოს რღვევის ხუთი ძირითადი ტიპი: მყიფე, ბლანტი (პლასტიკური), ადიაბატური ძვრა, რღვევა ცოცვალობისას და რღვევა დაღლილობით.

განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე:

**ა) მყიფე რღვევა.** მყიფე რღვევისას, ნორმალური გამჭიმავი ძაბვის მოქმედებით, ატომების ერთი შრის მეორისაგან მოწყვეტა ხდება. მოწყვეტა წინასწარი დეფორმაციის გარეშე მიმდინარეობს. ბზარის ჩასახვის მექანიზმი, მყიფე და ბლანტი რღვევებისათვის, ერთნაირია: დაბრკოლებების (სუბმარცვლების საზღვრები, ფაზათა საზღვრები) წინ, მოძრავი დისლოკაციების თავმოყრის გამო, კონცენტრირდება ბზარის წარმოქმნისათვის საკმარისი ძაბვები და როდესაც ძაბვები განსაზღვრულ მნიშვნელობებს მიაღწევს, ბზარის ზომა ხდება კრიტიკული. მისი შემდგომი ზრდა ხორციელდება თვითნებურად. მყიფე რღვევისათვის დამახასიათებელია ბასრი (მახვილი) ბზარი. ბზარის შესართავთან პლასტიკური დეფორმაციის ზონა მცირეა. მყიფე ბზარის განვითარების სიჩქარე მაღალია და იგი ბგერის გავრცელების სიჩქარეს უახლოვდება (ხდება უეცარი, კატასტროფული რღვევა). მყიფე რღვევის ენერგოტევალობა მცირეა, ხოლო ბზარის განვითარების მუშაობის სიდიდე ნულს უახლოვდება. რღვევის ზედაპირები, ჩვეულებრივ, მთავარი ნორმალური ძაბვების ტრაექტორიების მიმართ განლაგებულია პერპენდიკულარულად; მყიფე რღვევის შედეგი

დატოტვილი ნათელი მბზინვარე რღვევის რელიეფია. მყიფე ბზარი ვრცელდება რამდენიმე პარალელურ სიბრტყეზე. რღვევის სიბრტყე ნორმალური ძაბვების პერპენდიკულარულია. დარღვეული უბნის ნაპირები უნიშვნელოდაა (ძნელად შესამჩნევად) დეფორმირებული. რკინის შენადნობებში მყიფე რღვევა კუბური ( $Fe_3$ ) გისოსის წახნაგებზე ხდება. ამ ტიპის რღვევა ნორმალური ძაბვებითაა გამოწვეული და მას “მოწვევით რღვევა” ეწოდება;

**ბ) ბლანტი რღვევა.** მასალის ბლანტი რღვევას იწვევს მხები ძაბვები და იგი ხორციელდება ძვრის (ჭრის) დეფორმაციით. რღვევას ყოველთვის უსწრებს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაცია. ბზარი ბლაგვია. პლასტიკური დეფორმაციის ზონა, ბზარის წინ, დიდია. ბზარის განვითარების სიჩქარე მცირეა. ენერგოტევალობა მნიშვნელოვანია. ენერგია იხარჯება გაყოფის ზედაპირის წარმოსაქმნელად და ბზარის გასავრცელებლად. რღვევის ზედაპირები, ჩვეულებრივ, მთავარი ნორმალური ძაბვების ტრაექტორიების მიმართ დახრილადაა (დაახლოებით  $45^\circ$  იანი კუთხით) განლაგებული; რღვევის ზედაპირები უსწორმასწოროა, სინათლის სხივებს განაბნევს (რღვევის რელიეფი მქრქალი და ბოჭკოვანი აგებულებისაა). დარღვეული უბნის ნაპირები მნიშვნელოვნადაა დეფორმირებული. რკინის პლასტიკური დეფორმაცია ( $Fe_3$ ) არის შედეგი კრისტალური გისოსის დიაგონალებზე მიმდინარე ძვრებისა. კრისტალურ გისოსში ძვრები გამოწვეულია მხები ძაბვებით. მხები ძაბვებით გამოწვეულ რღვევას, ძვრით (ჭრით) რღვევა ეწოდება;

**გ) ადიაბატური ძვრა.** დიდი სიჩქარით დეფორმაციისას, ლითონის შიგნით ტემპერატურა ძლიერ მალდება. ამის ნათელი დამადასტურებელი ფაქტია, ფერიტული ფოლადის

სწრაფი დეფორმაციის შემდეგ, ლითონის განიკვეთში მარტენსიტის თხელი შრეების წარმოქმნა. ეს მიგვანიშნებს, რომ ამ ადგილებში ლითონის ტემპერატურა არა მხოლოდ 900°C-ზე მეტად ხურდება, არამედ იმაზეც, რომ ლითონის გახურებული შრე რჩება თხელი და იგი მისი გარემომცველი ცივი ლითონის მიერ სითბოს ართმევით იწრთობა.

ლითონის გახურებისას ხდება მისი განუმტკიცებლობაც, შესაბამისად ნაკლებად მტკიცე თხელ შრეში ძვრის კონცენტრაცია ხდება. ამრიგად, ლითონის სწრაფი დეფორმაციის შედეგად, მაკროსკოპულად კარგად გამოსახული სრიალის სიბრტყეების გასწვრივ, ძვრის ტენდენცია შეინიშნება. რღვევის ამ სახეს ადიაბატური ძვრით რღვევა ეწოდება.

**დ) რღვევის პროცესი ცოცვადობისას.** პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც ძაბვების ზრდის გარეშე თანდათან მატულობს, ახასიათებს მასალის დენადობას. სხეულზე მოდებული დატვირთვის უცვლელობისას, დეფორმაცია იცვლება დროში. პლასტიკურ დეფორმაციას, რომლის სიდიდეც ნელ-ნელა მატულობს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ძაბვების გავლენით და რომლის აღმოჩენა დაკვირვების ჩვეულებრივი დროის მანძილზე პრაქტიკულად შეუძლებელია ეწოდება ცოცვადობის დეფორმაცია, ხოლო ასეთი დეფორმირების პროცესს-ცოცვადობა (კრიბ პროცესი). ცოცვადობა ლითონზე მოდებული მუდმივი ძაბვის მოქმედებით გამოწვეული უწყვეტი დეფორმაციაა. დაბალ ტემპერატურებზე მცირე დატვირთვებისას იგი შექცევადია. ნორმალურ ტემპერატურაზე პლასტიკური დეფორმაცია სხეულში თითქმის მყისიერად ყალიბდება, როგორც კი შესაბამისი ძაბვა მოედება, შემდეგ კი უმნიშვნელოდ მატულობს. ამადლებულ ტემპერატურებზე ლითონ-

ნები არა მარტო რბილდებიან, არამედ ისე დეფორმირდებიან, რომ დეფორმაცია დროში მატებას განაგრძობს.

ცოცვადობა პრობლემებს ქმნის მაღალ ტემპერატურაზე ( $0,4-0,6 T_{\text{ფ}}$ ) და მაღალი (გარკვეული სიდიდის, მაგრამ დენადობის ზღვარზე დაბალი) დატვირთვისას. ცოცვადობის დეფორმაციას თან ახლავს სტრუქტურის და, შესაბამისად, მექანიკური თვისებების ცვლილება. პლასტიკური დეფორმაციისაგან (რომელიც ლითონს ამტკიცებს) განსხვავებით, ცოცვადობის დეფორმაცია ლითონის სიმტკიცეს ამცირებს. ცოცვადობისას, გარდა მუდმივად მზარდი დეფორმაციისა და ცოცვადობის სინქარის ზრდისა, ლითონში იწყება ბზარების ჩასახვა და გარკვეული დროის შემდეგ იგი ირღვევა.

დროზე დამოკიდებულ ასეთ დეფორმაციას, ანუ ცოცვადობას, შეუძლია მაღალ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი მუშაობისთვის განკუთვნილი კონსტრუქციების სასამსახურო ვადა შეზღუდოს. რაც უფრო მეტია ძაბვები და მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო მეტია ცოცვადობის სინქარე. ტემპერატურა, რომელზეც ცოცვადობა კრიტიკული ხდება, სხვადასხვა ლითონისთვის სხვადასხვაა. მაგ., სატელეფონო სამსახურების ზრუნვის საგანს, ბუნებრივი გარემოს ჩვეულებრივ ტემპერატურებზე, ჩამოსაკიდი ტყვისგარსიანი კაბელის ცოცვადობა წარმოადგენს, მაშინ როდესაც სპეციალური შენადნობები ზომავადასულ ცოცვადობას  $800^{\circ}\text{C}$ -ზეც არ ავლენს.

ცოცვადობის პირობებში მომუშავე დეტალების საექსპლუატაციო ვადა შეიძლება ზღვრულად დასაშვები დეფორმაციით ან რღვევით განისაზღვროს. კონსტრუქტორი ვალდებულია, დააროექტებისას, ეს შესაძლებელი ორი ვარიანტი გაითვალისწინოს. მაღალ ტემპერატურებზე ხანგრძლივად

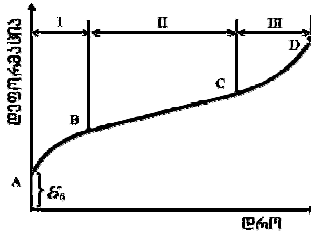
მუშაობისათვის გათვლილი ნაკეთობის (მაგ., ტურბინის ფრთების) დასამზადებლად მასალის ვარგისობის წინასწარ შეფასება ძნელია. სასამსახურო დროის შესაბამისი ხანგრძლივობით გამოცდების ჩატარება, ხშირად, პრაქტიკულად შეუძლებელია, ხოლო ხანმოკლე (აჩქარებული) გამოცდების შედეგების ექსტრაპოლაცია უფრო ხანგრძლივ ვადაზე, არც თუ ისე მარტივია, ვინაიდან შესაძლებელია რღვევის ხასიათის ცვლილება.

ცოცვადობის მოვლენასთან არის დაკავშირებული მხურვალსიმტიცის ცნება. იგი წარმოადგენს მასალის უნარს, ამაღლებული ტემპერატურის პირობებში იმუშაოს დატვირთვის ქვეშ დასაშვები დეფორმაციით და დაურღვევლად. მხურვალსიმტიცის რაოდენობრივი მახასიათებელი დენადობის ზღვარი და ხანგრძლივი სიმტიცის ზღვარია. მეცნიერები მხურვალსიმტიცე შენადნობების მექანიკურ თვისებებს განუწყვეტილად აუმაჯობებენ, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, თანამედროვე ტექნიკა მათ წინაშე მუდმივად მზარდ ამოცანას აყენებს: დამუშავდეს უფრო და უფრო მაღალი ტემპერატურის პირობებში სამუშაოდ ვარგისი მასალები.

ცოცვადობა მუდმივი ტემპერატურის პირობებში, სიმტიცის ზღვარზე ნაკლები გამჭიმავი (მკუმშავი) ძალების მოქმედებისას, სხეულის ზომის უწყვეტი ცვლილებით აისახება. ამრიგად, ცოცვადობა არის მუდმივი დატვირთვის (ან მექანიკური ძაბვის) მოქმედებით მიმდინარე მყარი სხეულის ნელი, უწყვეტი, პლასტიკური დეფორმაცია. იგი ხასიათდება ცოცვადობის ზღვრით—ხანგრძლივი მოქმედების მაქსიმალური ძაბვით, რომლის დროსაც მისი სიჩქარე ან მასალის ჯამური დეფორმაცია განსაზღვრული დროის შემდეგ გარკვეულ დასაშვებ სიდიდეს არ აღემატება. ცოცვადობის

ზღვარი აღინიშნება ორი (ზედა და ქვედა) ინდექსით: ზედა უჩვენებს მოცემულ ტემპერატურას, ხოლო ქვედა წილადის სახითაა, რომლის მრიცხველი უჩვენებს დასაშვებ წავრძელებას პროცენტებში, მნიშვნელი კი—დროს, რომლის განმავლობაშიც ის მიიღწევა (ზოგჯერ ქვედა ინდექსი დამყარებული ცოცვადობის დასაშვებ სიჩქარეს უჩვენებს), მაგ.,  $\sigma_{1/1000}^{900}$ . ცოცვადობა შეინიშნება გაჭიმვისას, კუმშვისას, გრეხისას და სხვა სახის დატვირთვებისას. ამის გამო მხურვალმტკიცე შენადნობების ექსპლუატაციისას მასალის ცოცვადობა ერთობ რთული დატვირთვის პირობებში ხდება.

ცოცვადობა აღიწერება ცოცვადობის მრუდით. იგი, ტემპერატურისა და დატვირთვის (ძაბვის) მუდმივობისას, დეფორმაციის დროზე დამოკიდებულებას ასახავს. სურ. 15-ის შესაბამისად, მისი ფორმა დამოკიდებულია გამოცდის ტემპერატურაზე, მოდებულ ძაბვებსა და მასალის მდგომარეობაზე.



სურ. 15. მაღალტემპერატურული ცოცვადობის ტიპური მრუდი:

- $\epsilon_0$ —საწყისი მყისიერი დეფორმაცია;
- I—დაუმყარებელი ცოცვადობა;
- II—სტაციონარული ცოცვადობა;
- III—აჩქარებული ცოცვადობა;
- D—რღვევა

ცოცვადობის მრუდზე გამოიყოფა:  $E_0$  საწყისი მყისიერი დეფორმაცია. იგი აერთიანებს დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების მდგენელებს, რომლებიც, ძირითადად, მოდებულ ძაბვებზეა დამოკიდებული; I სტადია არის გარდამავალი დაუმყარებელი ანუ მიღევადი ცოცვადობის უბანი. ამ სტადიაზე პლასტიკური დეფორმაციის სიჩქარე თანდათან მცირდება; II სტადია—დამყარებული ცოცვადობის უბანი. ამ სტადიაზე ცოცვადობის პროცესი მიმდინარეობს დროში, მინიმალური მუდმივი სიჩქარით, რომელიც ძაბვაზე და ტემპერატურაზეა დამოკიდებული (პრაქტიკულად, ამ სტადიაზე ცოცვადობა მუდმივი სიჩქარით ხასიათდება). III სტადია—აჩქარებული ცოცვადობის უბანი. იგი ხასიათდება ცოცვადობის სიჩქარის მუდმივი ზრდით ნიმუშის რღვევამდე (ზოგჯერ გამოყოფენ უშუალოდ რღვევისწინა IV უბანს). როგორც წესი, მასალების რღვევა III ან რღვევისწინა სტადიებზე ხდება. მყიფე მასალები კი, ზოგჯერ, II სტადიაზეც ირღვევა. ცოცვადობის მრუდზე D წერტილი შეესაბამება რღვევის მომენტს.

ჯამური დრო რღვევამდე და ცალკეული სტადიის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და მოდებულ დატვირთვაზე.  $0,4-0,8 T_{66}$  ტემპერატურაზე ცოცვადობის მიღვეა არის შედეგი I სტადიაზე დეფორმაციული განმტკიცებისა (ცივჭედვის). ამ ტემპერატურაზე შესაძლებელია ცივჭედვის მოხსნა და მასალის თვისებების მობრუნებაც. მაშასადამე, მასალის ცოცვადობის რეალური სიჩქარე განისაზღვრება განმტკიცებისა და მობრუნების სიჩქარეებით. როდესაც ცივჭედვისა და მობრუნების სიჩქარეები ერთნაირი გახდება, დგება ცოცვადობის II სტადია. III სტადიაზე გადასვლა კი უკავშირდება მასალაში დაზიანე-

ბების (ფორების, მიკრობზარების) დაგროვებას, რომელთა წარმოქმნა უკვე I და II სტადიაზე იწყება.

ნაკეთობაზე, ძაბვის პირველი მოდებისას, დეფორმაციული სურათი დიდი სიჩქარეებით გაჭიმვაზე გამოცდის ანალოგიურია. დროის შედარებით მცირე ინტერვალში დატვირთვის ქვეშ მყოფი მასალის დეფორმაცია იცვლება ექვემდებარება განმტკიცების განსაზღვრული კანონით (მაგ., პარაბოლურით). ცოცვადობის მრუდის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დატვირთვით გამოწვეული საწყისი წაგრძელების შემდეგ, დეფორმაციის სიჩქარე გარდამავალ პროცესში, ანუ ცოცვადობის I სტადიაზე, თანდათან მცირდება. როდესაც იგი მიაღწევს განმტკიცებისა და მობრუნების პროცესებს შორის წონასწორობას—II სტადიას დეფორმაციის სიჩქარე, უკვე, თითქმის მუდმივი რჩება. ამ სტადიაზე მასალაში მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ცვლილებები აღარ ხდება. იწყება დაზიანებების თანდათან დაგროვება, რომელიც, საბოლოოდ, მასალის რღვევას იწვევს. ხშირად მასალის რღვევის წინ შეინიშნება დეფორმაციის აჩქარება—III სტადია (უნდა აღინიშნოს, რომ მაღალტემპერატურული ცოცვადობის მექანიზმი საბოლოოდ დღემდე არ არის დადგენილი).

ცოცვადობისას რღვევა შემდეგნაირად აისხნება: ცოცვადობის პროცესში, მასალაში დისლოკაციებით გადატანილი ვაკანსიები თავს იყრის მარცვლის საზღვრებთან მინარევებისა და ჩანართების ირგვლივ. ვაკანსიების ასეთი შეჯგუფება წარმოქმნის მცირე ზომის ფორებს. დაზიანებების განსაზღვრულ სტადიაზე ხდება ფორების კოალესცენცია და შედეგად წარმოიქმნება ბზარი. როდესაც მასალის დაზიანებების ხარისხი კრიტიკულ მნიშვნელობას მიაღწევს, ცოცვადობის სიჩქარე იზრდება და ნიმუში სწრაფად ირღვევა;

ე) ლითონის დადლილობით გამოწვეული რღვევის პროცესი. როცა მუშაობისას ლითონური ნაკეთობა განიცდის მრავალჯერად ნიშანცვლად დატვირთვას, გარკვეული ციკლის შემდეგ იგი ირღვევა. ლითონის რღვევას განმეორებადი ნიშანცვლადი დატვირთვებით (ძაბვებით) ლითონის დადლილობა ეწოდება, ხოლო მის უნარს, წინააღმდეგობა გაუწიოს დადლილობით რღვევას, გამძლეობა (ამტანობა) ეწოდება. ე.ი. გამძლეობა არის მასალის თვისება, განსაზღვრულ დროში რღვევის გარეშე აიტანოს ციკლური დატვირთვები. დადლილობით რღვევის ძირითადი მახასიათებელია გამძლეობის ზღვარი. ის გვიჩვენებს ციკლის უდიდეს ძაბვას, რომლის დროსაც, ციკლების მოცემული რიცხვისას, დადლილობით რღვევა არ არის მოსალოდნელი. ხშირად გამოიყენება სიმეტრიული ნიშანცვლადი ციკლები (ერთნაირი ამპლიტუდის მქონე მკუმშავი და გამჭიმავი ძაბვები მოქმედებენ რიგრიგობით). ასეთ შემთხვევაში გამძლეობის ზღვარი აღინიშნება  $\sigma_{-1}$ -ით. გამძლეობის ცნება ახლოკავშირშია სიმტკიცესთან. ამის დასტურია ის ფაქტი, რომ არსებობს დადლილობის სიმტკიცის ანუ დადლილობისადმი წინაღობის ცნება. დადლილობის სიმტკიცეზე გამოცდა სტანდარტებით რეგლამენტირდება.

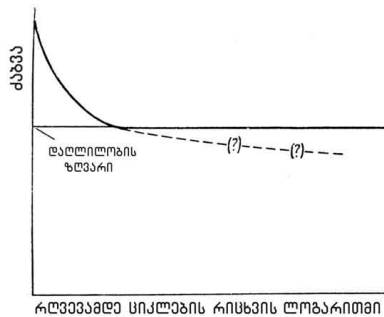
გამძლეობის, მნიშვნელობით მეორე, მახასიათებელია დადლილობის ხანგამძლეობა. ის განსაზღვრავს ციკლების იმ რიცხვს, რომელიც შეუძლია აიტანოს ლითონმა მოცემული ძაბვისას. განისაზღვრება, აგრეთვე, რღვევის ალბათობა დატვირთვის მოცემული დონის და ციკლების მოცემული რიცხვისათვის (ან დასაშვები ძაბვები რღვევის მოცემული ალბათობისას). დადლილობის წინაღობის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ბზარის ზრდის სიჩქარე  $dl/dN$  და ციკლების სიბლანტე (ციკლური ბზარმედევობა)  $K_{IC}^{cycl}$ . მათი განსაზღვრისას ფიქსირდება ბზარის სიგრძე, ციკლების რიცხვის მატების შესაბამისად, ხოლო დატვირთვა

ხდება 15–20 პერც სისშირეზე. ლითონის უნარი, იმუშაოს ციკლური დატვირთვების პირობებში, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დატვირთვის პირობებზე: ა) შედარებით მცირე ძაბვებისას (დრეკადი დეფორმაციების შესაბამისი) დაღლილობის ხანგამძლეობა დიდი—ლითონი ინარჩუნებს მთლიანობას ციკლების დიდი რიცხვისას; ბ) მნიშვნელოვანი დატვირთვებისას (დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციების არეში) დაღლილობის ხანგრძლივობა ბევრად ნაკლებია. მცირე ციკლური დაღლილობის პარამეტრები განისაზღვრება  $5 \cdot 10^4$  რაოდენობის ციკლების ბაზაზე და 3–5 პერც სისშირეებზე; გ) მუდმივი ძაბვისას, ტემპერატურის ციკლურ ცვლილებას თან ახლავს დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციები, რაც თერმულ დაღლილობას იწვევს. მასალის უნარს, წინ აღუდგეს რღვევას თერმული დაღლილობის პირობებში, თერმოგამძლეობა ეწოდება. თერმოგამძლეობის მაჩვენებელი არის თერმოციკლების რაოდენობა, მოცემული დატვირთვისას მასალის რღვევამდე. ამრიგად, ლითონური მასალების როგორც სიმტკიცე, ისე გამძლეობა დამოკიდებულია ტემპერატურულ ფაქტორზე.

გამძლეობის მახასიათებლები დამოკიდებულია მასალის სიმტკიცეზე, პლასტიკურობასა და სტრუქტურის თავისებურებაზე. ყველა ლითონისა და შენადნობის გამძლეობაზე უარყოფითად მოქმედებენ მინარევები, უხეში ფაზური და, განსაკუთრებით, არაღლითონური ჩანართები. ასეთი ჩანართების გეომეტრიული ზომების ორჯერ გადიდება, დაღლილობის ხანგამძლეობის 10–100-ჯერ შემცირებას იწვევს. დეტალის ხან ერთ ხან მეორე მხარეს ღუნვა მისი ზედაპირის რიგრიგობით კუმშვასა და გაჭიმვას იწვევს. ნიშანცვლადი ძაბვების მოქმედებით, ლითონში, დაზიანებების თანდათან დაგროვება ხდება და, შესაბამისად, იცვლება მისი თვისებები. წარმოიქმნება მიკრობზარები. მათი ზრდა-განვითარება იწვევს ლითონის პროგრესირებად რღვევას. ზოგჯერ დაღლილობა შეიძლება გამოვლინდეს ნაკეთობის სასამსახურო დროის დასაწყისშივე. ამის მიზეზია

ნაკეთობის დამზადების ან თერმული დამუშავებისას თანდათან დაგროვებული ძაბვები.

ნიმუშის რღვევა ხდება ძაბვების ციკლების გარკვეული რაოდენობის მოქმედების შემდეგ. ეს რაოდენობა შეიძლება იყოს მილიონი, რამდენიმე ათეული მილიონი ან მეტი. ჩვეულებრივ, რაც უფრო მცირეა ციკლური ძაბვების ამპლიტუდა, მით უფრო მეტია რღვევისთვის აუცილებელი ციკლების საშუალო რაოდენობა. ლითონის დაურღვევლად "სამუშაოდ" დაზიანებების დაგროვების პირობებში, აუცილებელია ციკლებისა და დატვირთვების რეგულირება. რაც მეტი იქნება დატვირთვის ციკლების რაოდენობა, მით ნაკლები უნდა იყოს დატვირთვები. ძაბვების ამპლიტუდის, რღვევამდე ციკლების რიცხვების ლოგარითმზე დამოკიდებულება ე.წ. S-N მრუდებით ანუ S-N გრაფიკებით (Stress-ძაბვები, Number-რიცხვი საწყისი ასოების შესაბამისად) აისახება. სურ. 16-ის შესაბამისად, S-N მრუდი სქემატურად უწყვეტი ხაზითაა წარმოდგენილი.



სურ. 16. დაღლილობის ზღვრის მქონე მასალების S-N მრუდი

მრუდი დაღლილობის ზღვრის შესაბამის ძაბვაზე პორიზონტალური ხდება. თუ დაღლილობის ზღვარი ნამდვილად არსებობს, მაშინ გამოცდები, რომლებიც ძაბვების ამ ამპლიტუდაზე ნაკლები სიდიდის ძაბვებისას მოხდება, ვერ გამოიწვევს დაღლილობით

რღვევას. ფაქტობრივად, მყარად არ არის დადგენილი, იღებენ თუ არა S-N მრუდები ჰორიზონტალურ მდგომარეობას. არსებობს მოსაზრება, რომ ეს მრუდები ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან ყოველთვის დაბლა ეშვებიან (ეს სურათზე წყვეტილი ხაზითაა ნაჩვენები). თუ ეს ასეა, მაშინ გამოდის, რომ დადლილობის ზღვარი საერთოდ არ არსებობს.

დადლილობით რღვევის მექანიზმის ფიზიკური არსი შემდეგია: ციკლური დატვირთვისას ლოკალური ძაბვები მიკრომოდულულობებში იმ მნიშვნელობას აღწევს, რომლის დროსაც მდგრადი კრისტალთშორისი და კრისტალშიგა კავშირები ირღვევა. წარმოიქმნება სრიალის ზოლები, კონცენტრირდება სხვადასხვაგვარი არაერთგვაროვნებების მიკროდეფორმაციები და კონცენტრაციის რომელიღაც კრიტიკული მნიშვნელობა განაპირობებს მიკრობზარების წარმოქმნას. ნიშანცვლადი ძაბვები იწვევს ლოკალიზებულ პლასტიკურ დეფორმაციებს და მასალის დეფორმაციულ განმტკიცებას. ამის შედეგად, გარკვეული დროის შემდეგ, დეტალის ყველაზე სუსტ უბანზე წარმოიქმნება მიკრობზარები. მიკრობზარების ბოლოების სიახლოვეს ძაბვების კონცენტრაცია მათ იძულებით ზრდას იწვევს და, შესაბამისად, მცირდება ის განიკვეთი, რომელზეც დატვირთვაა მოდებული. დროთა განმავლობაში, ციკლური დატვირთვის გაგრძელებისას, მიკრობზარები ხილულ ბზარებში გადაიზრდება.

ლითონის დადლილობით რღვევისას წარმოიქმნება ორი ზონისგან შედგენილი, დამახასიათებელი, რღვევის რელიეფი. პირველი ზონა გლუვი მიხეხილი ზედაპირით ხასიათდება და მას დადლილობის ზონას უწოდებენ. იგი, ექსპლოატაციის პროცესში, თანდათან ყალიბდება. მეორე ზონა სხვადასხვა მასალისთვის სხვადასხვაგვარია. იგი მყიფე მასალებისთვის უხეში კრისტალური აგებულებით ხასიათდება, ხოლო ბლანტი მასალებისთვის—ბოჭკოვანი აგებულებით.

ბით. ბზარის განვითარების სიჩქარე სხვადასხვა კრისტალური სტრუქტურის მქონე ლითონისთვის შეიძლება სხვადასხვა იყოს. მაგრამ დაზიანებების დაგროვების შემდეგ, ბზარის განვითარება ყოველთვის საკმაოდ მცირე დროში ხდება. მუშაობის პროცესში პირველი ზონა შეიძლება კოროზიული ფენით დაიფაროს ან ეს ზონა წარმოქმნის შემდეგ, გარკვეული დროით, კოროზიისათვის ხელსაყრელი იყოს. მზიდი უნარის სრული დაკარგვისას (როცა ბზარი მიაღწევს განსაზღვრულ ზომას), მასალა მყისიერად ირღვევა და წარმოიქმნება მყისიერი რღვევის ზონა-კმატების ზონა.

დადლილობით რღვევის ზონაში რღვევის წინმსწრები დეფორმაციები, პრაქტიკულად, არ არსებობს. ეს დადლილობითი რღვევის განსაკუთრებით საშიში თავისებურებაა. ასეთ შემთხვევაში რღვევის პროგნოზირება შეუძლებელია, რადგან არ არსებობს კონსტრუქციის რომელიმე ელემენტის შრომისუნარიანობის კარგის აშკარა ნიშნები. რღვევის პროცესი ამ შემთხვევაში იწყება მიკროსკოპული ბზარების წარმოქმნით, რომლებიც სწრაფად ვრცელდება და დეტალის მოულოდნელ რღვევას იწვევს. ჩვეულებრივ, დადლილობის ბზარის ჩასახვა იმ ადგილებში ხდება, სადაც კონცენტრირებულია ძაბვები ან მასალის სტრუქტურა მკვეთრად იცვლება. კვლევებით დადგენილია, რომ აღნიშნული ფაქტორების არარსებობისას დადლილობით რღვევა არ ხდება.

ლითონში დადლილობის ბზარები ჩაისახება პირველ ზონაში, ნაკეთობის ზედაპირულ შრეებში (ეს მისი განმასხვავებელი ნიშანია). ამ ზონაში თავმოყრილია მაქსიმალური ძაბვები და რღვევა ხდება უდიდესი გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების ზედაპირზე. ყოველი ციკლისას ბზარი სიღრმის მიმართულებით ნელა ვითარდება. როდესაც განივკვეთის შემცირების გამო მოქმედი ძაბვები მრღვევი ძაბვების სიდიდეს გადაამეტებს, რღვევა მყისიერად ვრცელდება მთელ "ცოცხლად" დარჩენილ განივ-

კვეთზე. რადგან ციკლური დატვირთვებისას დადლილობის ბზარები ნაკეთობის ზედაპირზე ჩაისახება, ამიტომ ნაკეთობის ზედაპირის მდგომარეობა, ხანგამძლეობის ასამაღლებლად, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს. პოლირება და ზედაპირული განმტკიცება ზრდის გამძლეობის ზღვრის სიდიდეს.

კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას, მათი მწყობრიდან გამოსვლის ყველაზე გავრცელებული მიზეზი არის დადლილობა. სახელდობრ, ლითონების ეს თვისება კონსტრუქტორებს დიდ სირთულეებს უქმნის ვიბრაციის პირობებში სამუშაოდ განკუთვნილი კონსტრუქციების დაგეგმარებისას. მაგ., საფრენ აპარატებში ვიბრაციით გამოწვეული დადლილობით რღვევის თავიდან ასაცილებლად, ხშირად მოწმდება და იცვლება თვითმფრინავებისა და ვერტმფრენების საკვანძო დეტალები.

დადლილობით რღვევებს ციკლური დატვირთვის პირობებში მომუშავე მანქანათა დეტალებიც ექვემდებარება. ციკლური ძაბვები შეიძლება ზედ დაედოს სტატიკურ დატვირთვას და რღვევა იმ სიდიდის ძაბვებმა გამოიწვიოს, რომელთა მაქსიმალური ამპლიტუდა რღვევის მინიმალურ სტატიკურ ძაბვაზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ე.ი. დატვირთვის დიდი ციკლისას, ერთჯერადი დატვირთვისგან გამოწვეულ ძაბვებთან შედარებით, რღვევას გაცილებით დაბალი სიდიდის ძაბვები იწვევს. ნაკეთობების დიდ უმრავლესობაში, დადლილობის ბზარებით და სიმტკიცის შემცირების სხვა მიზეზებით გამოწვეული რღვევა ნახვრეტების, ხრახნის და სხვა გარეგანი და შინაგანი კონცენტრატორების სიახლოვეს ხდება. რეალური კონსტრუქციების, დანადგარებისა და ნაგებობების უმრავლესობისათვის ტიპური თავისებურებაა ნახვრეტის არსებობა. ძალიან ცოტაა ისეთი კონსტრუქციული ელემენტი, რომელ-

შიც არ იყოს ნახერეტი, ხრახნი, ჰალტელი, კინტი, შენადული ან ნარჩილი ნაკერი და სხვ. გარდა ასეთი გარეგანი კონცენტრატორებისა, გლუვ ელემენტებს გააჩნიათ ნაკაწრები და სხვა ზედაპირული დაზიანებები, ასევე-სტრუქტურის არაერთგვაროვნებით, ჩანართებით, მარცვლებისა და მათი ბლოკების საზღვრებით წარმოქმნილი შიგა კონცენტრატორები. ამდენად, ჩანაჭრისადმი მგრძობიარობის მახასიათებლების განსაზღვრა (რომლებიც ნაკეთობის მექანიკურ თვისებებზე სხვადასხვაგვარი ჩანაჭრის გავლენას ასახავენ), დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს.

## 2.10 ლითონების სიბლანტი

მყარი სხეულის დეფორმირების პროცესში დახარჯული მექანიკური ენერჯის (მუშაობის) შეუქცევად შთანთქმის უნარს სიბლანტე ეწოდება. სიბლანტე მასალის სიმტკიცისა და პლასტიკურობის ფუნქციას წარმოადგენს.

ლითონების პლასტიკურობისა და სიბლანტის ცნებებს ხშირად აიგივებენ. სინამდვილეში ეს ტერმინები ლითონური მასალების სხვადასხვა თვისებებს საზღვრავენ. პლასტიკურობა ფასდება აბსოლუტური, ფარდობითი და ლოგარითმული ერთეულებით და ახასიათებს მასალის (დაურღვევლად) დეფორმირების უნარს. სიბლანტე კი პლასტიკური დეფორმირებისას შთანთქმული ენერჯის რაოდენობას საზღვრავს და იზომება ენერჯის განმსაზღვრელი ერთეულებით. გრაფიკულად ენერჯის რაოდენობა, რომელიც მასალის დასარღვევდაა საკმარისი, “ჰემარიტი ძაბვა-ჰემარიტი დეფორმაციის” მრუდით შემოსაზღვრული ფართობის ტოლია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სიბლანტე დამოკიდებულია როგორც მაქსიმალურ შესაძლო დეფორმაციაზე, ასევე ლითონის სიმტკიცეზე.

სიბლანტის სიდიდე გამოისახება მუშაობის ფარდობით ნიმუშის მოცულობასთან. მისი განზომილებაა ჯოული/მ<sup>3</sup> ან, პირობითად, რღვევის მუშაობის რღვევის სიბრტყის საწყის ფართობთან შეფარდებით და მისი განზომილებაა ჯოული/მ<sup>2</sup>. სიბლანტე სიმყიფის საპირისპირო თვისებაა.

ასხვავებენ სტატიკურ, დინამიკურ და ციკლურ სიბლანტეებს: სტატიკური სიბლანტე (ნელი დატვირთვა რღვევამდე) განისაზღვრება ჭეშმარიტი ძაბვა–დეფორმაციის დიაგრამაზე გაჭიმვის მრუდითა და დეფორმაციის დერძით შემოსაზღვრული ფართობით. აქედან გამომდინარე, დაბალი სიმტკიცის, მაგრამ მაღალი პლასტიკურობის მქონე მასალის სიბლანტე შეიძლება მაღალი სიმტკიცისა და დაბალი პლასტიკურობის მქონე მასალის სიბლანტის ტოლი იყოს; დარტყმითი სიბლანტე ახასიათებს მოცემული ზომებისა და ფორმის ნიმუშის დარტყმითი დატვირთვით რღვევაზე დახარჯული მუშაობის ნიმუშის რღვევის სიბრტყის ფართობთან ფარდობას; ციკლური სიბლანტე არის დეფორმაციისას დახარჯული მუშაობა (ერთნიშნა ან ნიშანცვლადი დატვირთვის მრავალჯერადი განმეორებისას), რომელიც დატვირთვის ერთი ციკლისას შთაინთქმება.

მექანიკური გამოცდებისას მიღებული სიბლანტის სიდიდე დამოკიდებულია არა მხოლოდ მასალის თვისებებზე, არამედ გამოცდების თანმხლებ მრავალ სხვა ფაქტორზეც—ნიმუშის ტემპერატურაზე, დატვირთვის მოდების სიჩქარეზე, დაძაბული მდგომარეობის ტიპზე და ა.შ. უარყოფით ტემპერატურებზე ფოლადების სიმტკიცე მატულობს, სიბლანტე კი ეცემა და ფოლადები უფრო მყიფე ხდება. მასალების მიდრეკილება ტემპერატურის შემცირებისას სიმყიფის გამოვლენისადმი გამოწვეულია მასალის დენადობის ზღვრის ამაღლებით და დისლოკაციების მოძრაობის გართუ-

ლებით. რომელიმე ტემპერატურიდან, რომელსაც სიძივის კრიტიკულ ტემპერატურას ან ცივმეტეხობის ზღურბლს უწოდებენ, მყიფე რღვევა უფრო ადრე ხდება, ვიდრე პლასტიკური განდენა დაიწყება. დარტყმითი სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ვლინდება ვიწრო ტემპერატურულ (ცივმეტეხობის ზღურბლის) ინტერვალში ბლანტიდან მყიფე მდგომარეობაში ნახტომისებრად გადასვლით. ტემპერატურულ ინტერვალს, მასალის ცივმეტეხობის ზღურბლსა და სამუშაო ტემპერატურას შორის, სიბლანტის მარაგი ეწოდება. რაც უფრო მეტია სიბლანტის ტემპერატურული მარაგი, მით ნაკლებია მყიფე რღვევის საშიშროება.

ცივმეტეხობის ზღურბლი განისაზღვრება სხვადასხვა ტემპერატურისთვის ჩანაჭრიანი ნიმუშის დარტყმით ღუნვაზე გამოცდისას. მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგება "დარტყმითი სიბლანტე" – "ტემპერატურა" დამოკიდებულების მრუდი. დარტყმითი ღუნვით ფოლადების გამოცდისას, მყიფე და ბლანტი რღვევის ხასიათი რღვევის რელიეფზე, მკაფიოდ განსხვავებულ სურათს იძლევა. რღვევის ხასიათის დადგენა, ხშირად, რღვევის რელიეფში ბოჭკოვანი აგებულების მქრქალი მდგენელის რაოდენობის (პროცენტებში) განსაზღვრით ხდება. ბოჭკოვანი აგებულება რღვევის რელიეფში განისაზღვრება მისი ფართობის საწყის საანგარიშო ფართობთან ფარდობით. შემდეგ აიგება სერიული მრუდები: "ბოჭკოების პროცენტი" – "გამოცდის ტემპერატურა". ცივმეტეხობის ზღურბლად აიღება ის ტემპერატურა, რომლის დროსაც რღვევის რელიეფის ბოჭკოვანი აგებულების მდგენელი 50% იქნება (რაც, დაახლოებით  $KCT/2$  შეესაბამება). ან კიდევ ცივმეტეხობის ზღურბლად მიიღება ის ტემპერატურა, რომელზეც დარტყმითი სიბლანტე  $KCU, KCV$  და  $KCT$ , შესაბამისად, 30–40, 20 და 15 ჯ/სმ<sup>2</sup>-ზე ნაკლები იქნება.

საპასუხისმგებლო დეტალებისთვის სიმეიფის კრიტიკულ ტემპერატურად, ხშირად, ისეთი ტემპერატურა მიიღება, რომლის დროსაც რღვევის რელიეფში 90% ბოჭკოვანი აგებულების მდგენელი იქნება- $t_{90}$ . ხშირად განსაზღვრავენ ცივმეტეხობის ზედა და ქვედა ზღურბლებს. ზედა ზღურბლზე რღვევის რელიეფში ბოჭკოვანი აგებულება 90% უნდა იყოს, ხოლო ქვედაში-10%.

ცივმეტეხობის ზღურბლი არ წარმოადგენს მასალის მუდმივას. იგი დამოკიდებულია სტრუქტურაზე, გამოცდის პირობებზე, ძაბვის კონცენტრატორის არსებობაზე, ნიმუშის ზომაზე და ა.შ. რაც უფრო მაღალია სიმტკიცე, მით უფრო მაღალია ცივმეტეხობის ზღურბლი. პოლიკრისტალური მასალის მარცვლის ზომა მიკროსტრუქტურის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრია. მარცვლის ზომების ცვლილება მასალის მექანიკური მაჩვენებლების ცვლილების საშუალებას იძლევა, კერძოდ, მარცვლის დაწვრილმანებით მატულობს რღვევის სიბლანტე.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ტემპერატურის ამაღლება ფერადი ლითონების სიბლანტეს უმნიშვნელოდ ზრდის. დაბალნახშირბადიან ფოლადებში, ცივმეტეხობის ტემპერატურაზე, ბლანტიდან მყიფე რღვევაზე მკვეთრი გადასვლა შეინიშნება, ხოლო ლეგირებულ ფოლადებში-სიბლანტის მაჩვენებლების დიდი განზნევა.

პლასტიკური მასალების სიბლანტე თითქმის არ არის დამოკიდებული ნიმუშზე დატვირთვის მოდების სიჩქარეზე. ძაბვის კონცენტრაციის არსებობა მასალებში დაძაბული მდგომარეობის სქემას ცვლის და სიბლანტეს ამცირებს. დეტალის ზედაპირის მდგომარეობა, პრაქტიკულად, სიბლანტეზე გავლენას ვერ ახდენს, მაგრამ ნიმუშის ჩანატერში არსებული ნაკაწრები მყიფე მასალების სიბლანტეს ამცირებენ.

სიბლანტის განსაზღვრისას მსგავსების კანონის დაცვა არ ხდება და, ჩვეულებრივ, დიდი ზომის ნიმუშები ნაკლებ სიბლანტეს ავლენენ. ამის გამო, სხვადასხვა მასალის სიბლანტის სიდიდეების შედარება შესაძლებელია, თუ ისინი მიღებულია ერთნაირ პირობებში, ერთნაირი ზომებისა და ფორმის ნიმუშების გამოცდისას. (პრაქტიკაში, სიბლანტის მანქანებზე ერთად, ნიმუშის მონაცემებისა და გამოცდის პირობების მითითება არის აუცილებელი).

მანქანების საიმედოობის განსაზღვრისას ციკმეტეხობა განაგარიშებებში არ შედის. იძლევა მხოლოდ ზოგადი ხასიათის რეკომენდაცია: არ გამოიყენონ მასალა ციკმეტეხობის ზღურბლის ტემპერატურაზე დაბალი ტემპერატურებისას.

## 2.11 ლითონების სისალე

სისალე არის მასალის წინააღმდეგობის უნარი დრეკადი ან ადგილობრივი პლასტიკური დეფორმაციისადმი, რომელიც ვლინდება მასში სხვა უფრო სალი სხეულის შეჭრისას (დაინტერესებულ მკითხველს დიურომეტრის, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ერთ-ერთი მეთოდის, რომელიც ლითონური მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრას ემსახურება, საფუძვლიანი გაცნობა შეუძლია /7/ ლიტერატურულ წყაროში). იმის გამო, რომ გაჭიმვაზე გამოცდა ძვირადღირებულ მოწყობილობასა და დროის დიდ დანაკარგებს მოითხოვს, ხშირად მიმართავენ მარტივ გზას სისალეზე გამოცდებს. ბრინჯლისა და როკველის მეთოდებით (არსებობს სისალეზე გამოცდის სხვა მეთოდებიც) გამოცდისას, ლითონის ზედაპირში ინდენტორს ჩააწნევენ განსაზღვრული დატვირთვით და დატვირთვის განსაზღვრული სიჩქარით. შემდეგ, მიღებული ანაბეჭდის ან ჩაწნევის სიღრმის

მიხედვით, განსაზღვრავენ სისალის სიდიდეს. რაც უფრო ნაკლები ზომისაა ანაბეჭდი (ან ჩაწვევის სიღრმე), მით უფრო მაღალია მასალის სისაღე. სისაღე და დენადობის ზღვარი გარკვეულ წილად “შედარებადი” მახასიათებლებია. ჩვეულებრივ, ერთ-ერთი მახასიათებლის მატებისას მატულობს მეორის სიდიდეც. შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს ისეთი აზრი, რომ ლითონურ მასალებში ყოველთვის სასურველია მაქსიმალური დენადობის ზღვარი და მაღალი სისაღე. სინამდვილეში ეს ასე არ არის, და არა მხოლოდ ეკონომიკური მოსაზრების გამო (განმტკიცების პროცესები დამატებით ხარჯებს მოითხოვს). პირველ რიგში, აუცილებელია, მასალებს მიეცეს სხვადასხვა ნაკეთობის ფორმა. ეს კი, ჩვეულებრივ, ლითონების წნევით დამუშავების პროცესების გამოყენებით ხორციელდება, რომლებშიც მნიშვნელოვან როლს პლასტიკური დეფორმაცია ასრულებს. პლასტიკური დეფორმაცია მნიშვნელოვანია ლითონსაჭრელ ჩარხებზე მასალების დასამუშავებლადაც. თუ მასალის სისაღე ძალიან მაღალია, მაშინ მისთვის სასურველი ფორმის მისაცემად ძალიან დიდი ძალებია საჭირო, რის გამოც სწრაფად ცვდება მჭრელი ინსტრუმენტი. ამგვარი სირთულის შემცირება შესაძლებელია, თუ ლითონის დამუშავება მოხდება მაღალ ტემპერატურაზე, როდესაც ის რბილდება. თუ ცხელი დამუშავება შეუძლებელია, მაშინ მოღობობა (გახურება, დაყოვნება და გაცივება ნელი რეჟიმებით) გამოიყენება. მეორე მხრივ, ლითონი გასაღების კვადრატულ კარგავს პლასტიკურობას, ანუ მყიდება. თუ ლითონის დენადობის ზღვარი იმდენად დიდია, რომ პლასტიკური დეფორმაცია რღვევის გამომწვევ ძაბვებზე ხდება, ასეთ შემთხვევაში კონსტრუქტორს სისალისა და პლასტიკურობის რომელიმე შუალედური დონის არჩევა მოუწევს.

# თაზი III

## ლითონური მასალების გარეგანი მემანეკური დატვირთვები

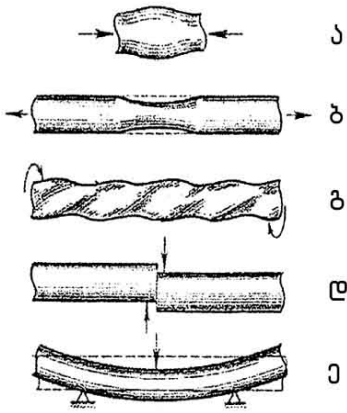
### 3.1 მემანეკური დატვირთვის სახეები

სხეული, მასზე ძალის ან ძალთა სისტემის მოქმედებაზე, ფორმის შეცვლით (დეფორმაციით) რეაგირებს. ძალის სახესა და ინტენსიურობაზე დამოკიდებულ სხვადასხვა მახასიათებლებს, რომლებითაც ლითონური მასალის ქცევა და საბოლოო მდგომარეობა განისაზღვრება, ლითონის მემანეკური თვისებები ეწოდება. ან თვისებათა ერთობლიობას, რომლებიც ნაკეთობაზე სხვადასხვა ხერხით მოდებული მემანეკური ძალების მიმართ, ლითონების ან შენადნობების წინააღმდეგობის უნარს ასახავენ, ეწოდება მემანეკური თვისებები.

ზოგჯერ სიმტკიცის ზღვარს, დენადობის ზღვარს, სისაღეს, დარტყმით სიბლანტეს და ა.შ. ლითონური მასალების მემანეკური თვისებებს უწოდებენ. ესენი მემანეკური თვისებები კი არა, მემანეკური თვისებების მახასიათებლებია. ლითონური სხეულების მემანეკურ თვისებებში აისახება მათი უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს მემანეკური დატვირთვების მოქმედებას სხვადასხვა ვითარებაში. მემანეკური ძაბვა ეწოდება სხეულში გარე ზემოქმედებით წარმოქმნილი შინაგანი ძალების საზომს, რომელიც ტოლქმედი ძალის მისი მოდების ფართობთან შეფარდების ტოლია.

მემანეკური თვისებების მახასიათებლების ცოდნა მნიშვნელოვანია, რადგან მათი საშუალებით ხდება ლითონური მასალების წინააღმდეგობის უნარის განსაზღვრა: გარეგანი დატვირთვების ზემოქმედების, კონსტრუქციების მუშაობის, მანქანათა დეტალების ექსპლუატაციის, წნევითა და ჭრით დამუშავების პროცესებში და ა.შ. სურ. 17-ის შესაბა-

მისად, კონსტრუქციებში მოსალოდნელია მასალებზე სხვადასხვა სახის დატვირთვები მოქმედებდეს. ისინი შეიძლება ცალ-ცალკე მუშაობდნენ გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე, გრეხაზე, ჭრაზე და ა.შ. ან კიდევ ერთდროულად განიცდიდნენ რამდენიმე სახის დატვირთვას.



სურ. 17. დეფორმაციის სქემები სხვადასხვა სახის დატვირთვისას:  
 ა-კუმშვა;  
 ბ-გაჭიმვა;  
 გ-გრეხა;  
 დ-ძვრა (ჭრა);  
 ე-ღუნვა (პუნქტირით ნაჩვენებია ნიმუშის საწყისი ფორმა)

მასალების მუშაობის სხვადასხვა პირობების (ტემპერატურის, გარემოს, დატვირთვის სიჩქარის და მისი დროში ცვლილების) შესაბამისად, მექანიკური თვისებების მრავალი მანკენებელი და გამოცდის მრავალი მეთოდი არსებობს. დატვირთვებით გამოწვეული დეფორმაციისა და რღვევის პროცესში მასალების ქცევა დამოკიდებულია მათ ქიმიურ შედგენილობაზე, სტრუქტურულ მდგომარეობაზე, გარე ძალის მოქმედებაზე, ტექნოლოგიური დამუშავების მეთოდებსა და რიგ სხვა ფაქტორებზე.

### 3.2 ლითონური მასალების პირობითი მაკრომექანიკური თვისებები

ზოგადად, მექანიკური თვისებები დაყოფილია მასალის დეფორმაციულ და სიმტკიცის დამახასიათებელ თვისებებად:

ა) **დეფორმაციული** (deformatio–დამახინჯება) თვისებები ახასიათებს მასალის ფორმისა და ზომების ცვლილების უნარს, მასის შეუცვლელად. დეფორმაცია დაკავშირებულია სხეულის, ნაწილაკების მდებარეობის ფარდობით ცვლილებასთან. იგი ატომთშორისი მანძილების ცვლილებისა და ატომური ბლოკების გადაჯგუფების შედეგს წარმოადგენს. ჩვეულებრივ, დეფორმაციას თან ახლავს ატომთშორისი ძალების ცვლილება, რომლის ზომასაც დრეკადი ძაბვები წარმოადგენს. ამრიგად, სხეულზე ძაბვის მოდებით გამოწვეულ ფორმისა და ზომების ფარდობით ცვლილებას დეფორმაცია ეწოდება. დეფორმაციის უმთავრესი სახეებია: გაჭიმვა, კუმშვა, ძვრა, გრეხა და ღუნვა.

საკვლევი დეფორმაცია, უმრავლეს შემთხვევაში, ერთდროულად რამდენიმე სახის დეფორმაციის შედეგს წარმოადგენს. მიუხედავად ამისა, საბოლოოდ, ნებისმიერი დეფორმაცია შეიძლება ორ ყველაზე მარტივ–გაჭიმვა-კუმშვის და ძვრის–დეფორმაციებამდე იქნეს დაყვანილი. სხეულის დეფორმაციის განსაზღვრა შეიძლება, თუ ცნობილია მისი ყოველი წერტილის გადაადგილების ვექტორი.

სტრუქტურული თვისებების თავისებურებებთან დაკავშირებით, მყარი სხეულების დეფორმაცია მყარი ტანის ფიზიკის შესწავლის საგანია, ხოლო დეფორმირებად მყარ სხეულებში მოძრაობა და ძაბვები–დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორიების. გაზეხსა და სითხეებში, რომელთა ნაწილაკები ადვილად მოძრაობა, დეფორმაციის პროცესის

კვლევა სიჩქარეების მყისიერად განაწილების შესწავლითაა შეცვლილი.

მყარი სხეულის დეფორმაცია შეიძლება წარმოადგენდეს გარე ძალების, მოცულობის ცვლილების გამომწვევი ფაზური გარდაქმნის, სითბური გაფართოების, დამაგნიტების (მაგნიტოსტრიქციის ეფექტის) და ელექტრული მუხტის გაჩენის (პიეზოელექტრული ეფექტის) მოქმედების შედეგს. ის შეიძლება იყოს შექცევადი და შეუქცევადი. შექცევადია ის დეფორმაციები, რომლებიც მასალაზე მოქმედი ფაქტორების მოხსნის შემდეგ, მყისიერად და სრულად გაქრება. ასეთ დეფორმაციებს დრეკადი დეფორმაციები ეწოდება (გარკვეული დროის შემდეგ გამქრალს კი-ელასტიკური დეფორმაცია). შეუქცევადი, ნარჩენი, ანუ პლასტიკური ეწოდება ისეთ დეფორმაციებს, რომლებიც სხეულზე დატვირთვის ფაქტორების მოქმედების პერიოდში გროვდება და მათი მოხსნის შემდეგ დეფორმაცია, პრაქტიკულად, უცვლელი რჩება. დეფორმაციები შეიძლება იყოს რთულიც: დრეკად-პლასტიკური და დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური. დეფორმაციისას, პლასტიკური თვისებები მეტ-ნაკლებად, ყველა რეალურ მყარ სხეულს აქვს. ზოგ შემთხვევაში, როგორც ეს დრეკადობის თეორიაში ხდება, სხეულის პლასტიკური თვისებები უგულებელყოფილია.

პლასტიკური დეფორმაციის ბუნება ტემპერატურაზე, დაძაბული მდგომარეობის სქემაზე, დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე ან დეფორმაციის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს. დატვირთვის სიჩქარის ზრდისა და ნიმუშის ტემპერატურის შემცირებისას, დეფორმაციის აბსოლუტური მნიშვნელობა მცირდება

და თავისი ხასიათით დრეკად ან დრეკად-პლასტიკურს უახლოვდება.

პლასტიკური დეფორმაციის ძირითადი მექანიზმი დისლოკაციების მოძრაობაში მდგომარეობს. პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევი დისლოკაციების გადაადგილება მრავალი ხერხითაა შესაძლებელი. დეფორმაცია რთული მოვლენაა და მისი ხასიათი დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: ტემპერატურა, დეფორმაციის სიჩქარე, დაბადული მდგომარეობის სქემა, დამუშავება, რომელიც წინ უძღვის ნიმუშის დამზადებას და მარცვლის ზომები (აქ და შემდეგ პლასტიკური დეფორმაცია გამარტივებულად იქნება განხილული. ამ საკითხის საფუძვლიანი შესწავლით დაინტერესებულმა სპეციალისტმა, შესაბამის სპეციალურ ლიტერატურას უნდა მიმართოს). მოვლენების უმეტესობას, რომელსაც ადგილი აქვს პლასტიკური დეფორმაციისას, დღეისათვის მხოლოდ ხარისხობრივი ახსნა მოეძებნება. რაოდენობრივი თეორიების მიღწევები კი, ამ მხრივ, არასაკმარისია. პლასტიკური დეფორმაციისას დისლოკაციების ქცევის მრავალსახეობა მრავალი კონცეფციის ერთდროულად არსებობის შესაძლებლობას იძლევა. ამდენად, პლასტიკური დეფორმაციის ცალკეული სახისთვის საყოველთაოდ მიღებული თეორია არ არსებობს და ამიტომ სპეციალისტი თავის საქმიანობაში ყოველგვარ მიმდინარე ცვლილებას უნდა ითვალისწინებდეს.

სხეულის დეფორმაციული თვისებები განპირობებულია რელაქსაციის პერიოდით. რელაქსაციის პერიოდი განსაზღვრავს დეფორმაციული პროცესების ხანგრძლივობას და იგი მასალის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. რაც უფრო მცირეა მასალის რელაქსაციის პერიოდი, მით უფრო დეფორმირებადია იგი. რელაქსაციის დრო არ არის მუდ-

მივი სიდიდე, იგი დამოკიდებულია მასალის ტემპერატურა-სა და დატვირთვის სინქარეზე გამოცდის მომენტში. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ რელაქსაციის პერიოდთან შედარებით, მცირე დროით ძალების მოქმედებისას, ყველა მასალა (თუ ძაბვები მათ მთლიანობას არ არღვევს) დრეკად-მეიფედ იქცევა და დეფორმაციის სრული შექცევადობით ხასიათდება. მეიფე სხეულების დეფორმაციის ტიპურ შემთხვევას წარმოადგენს სტრუქტურის უცვლელობა. ამ დროს დეფორმაციაზე დახარჯული დრეკადი ენერგია ვერ ასწრებს რელაქსაციური პროცესებით განხვევას. დრეკად-მეიფე სხეულებს შესაძლოა, დაუბრუნდეს მცირე დრეკადი ენერგია და, სტრუქტურის ადგილობრივი დარღვევით, ძაბვების ნაწილობრივი რელაქსაცია მოხდეს. ძალიან ხანგრძლივი დროით (რელაქსაციის პერიოდთან შედარებით), ძალების მოქმედებისას მყარი სხეული, სითხის მსგავსად, გაედინება. ძალების ძალიან მცირე დროით (რელაქსაციის პერიოდთან შედარებით) მოქმედებისას კი, თხევადი სხეული მყარი კრისტალური სხეულის სიმეიფეს ავლენს. მაგალითად, წყალი (რომლის რელაქსაციის პერიოდი  $10^{-11}$  წმ-ია), ძალის ძალიან მცირე დროით ზემოქმედებისას, მყარი კრისტალური სხეულივით იქცევა. ქვა (მთის ქანი), რომლის რელაქსაციის პერიოდი  $10^{10}$  წმ-ია, ძალების ძალიან ხანგრძლივი მოქმედებისას სითხის მსგავსად იქცევა. ჩამოთვლილი თვისებები მასალების ქცევის უკიდურესი შემთხვევებია და პრაქტიკაში მათ ადგილი არა აქვს. მხედველობიდან არ უნდა გამოგვრჩეს ის ფაქტი, რომ მრავალი მასალა (განსაკუთრებით ამდღებულ ტემპერატურებზე, როდესაც ძაბვების რელაქსაციის პროცესი, ზოგიერთ მასალაში, შესამჩნევად ინტენსიფიცირდება) მეტად მგრძნობიარეა ძალის მოქმედების დროსა და რელაქსაციის პერიოდს შორის სხვაობის მიმართ. ამის გამო, გაანგარიშებებში სარგებლო-

ბენ რელაქსაციის კოეფიციენტით, რომელიც გვიჩვენებს ძაბვის შემცირების წილს დროის გარკვეული ხანგრძლივობისას.

დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორიაში სხეულები განიხილება როგორც "უწყვეტი" (მთლიანი). უწყვეტობა, ანუ მასალის უნარი, შეავსოს მთელი მოცულობა, რომელიც მას უჭირავს, ყოველგვარი სიცარიელების გარეშე, რეალური სხეულების ერთ-ერთ ძირითად თვისებას წარმოადგენს. უწყვეტობის ცნება მიეკუთვნება, აგრეთვე, იმ ელემენტარულ მოცულობებსაც, რომლებზეც, აზრობრივად, სხეულის დაყოფა შესაძლებელია. სხეულის თითოეულ მომიჯნავე, უსასრულოდ მცირე მოცულობის ცენტრებს შორის (რომლებსაც არ განუცდია წყვეტა) მანძილის ცვლილება, ამ მანძილის საწყის სიდიდესთან შედარებით, მცირეა. უმარტივესი ელემენტარული დეფორმაცია რომელიმე ელემენტის ფარდობითი წაგრძელებაა:

$$\varepsilon = \frac{(l_1 - l)}{l} = \frac{\Delta l}{l},$$

სადაც:  $l_1$  არის ელემენტის სიგრძე, დეფორმაციის შემდეგ;  
 $l$  — ელემენტის საწყისი სიგრძე.

პრაქტიკაში გვხვდება მცირე დეფორმაციები, ასე რომ,  $\varepsilon \ll 1$ .

ნაგებობების ნატურული გამოცდისა ან მოდელზე ძაბვების სიდიდეზე მსჯელობის მიზნით, დეფორმაცია იზომება მასალების მექანიკური თვისებების განსაზღვრით. დრეკადი დეფორმაციები ძალიან მცირეა და მათი გაზომვა დიდ სიზუსტეს მოითხოვს. უპირატესად გავრცელებულია დეფორმაციების ტენზომეტრებით გაზომვა. ამის გარდა, ფართოდ გამოიყენება წინაღობის ტენზოგადამწოდები, ძაბვების კვლევის პოლარიზაციულ-ოპტიკური მე-

თოდი, რენტგენულ-სტრუქტურული ანალიზი. ადგილობრივ პლასტიკურ დეფორმაციებზე მსჯელობისათვის იყენებენ ბადის მოგორვას, ზედაპირის ადვილად დასკდომადი ბადით დაფარვას და ა.შ.

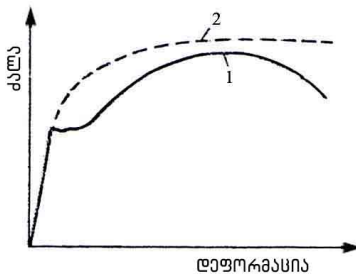
**ბ) სიმტკიცის თვისებები** ახასიათებს მასალის უნარს, განსაზღვრულ პირობებსა და ზღვრებში დაურღვევლად გაუწიოს წინააღმდეგობა მექანიკური, თბური და სხვა ძაბვებისგან წარმოშობილ შიგა ძაბვებსა და დეფორმაციებს.

გამჭიმავი, მკუმშავი ან სხვა სახის ძალების ზემოქმედებისას, სიმტკიცის ტიპური მახასიათებლებია: დრეკადობის ზღვარი, დენადობის ზღვარი და სიმტკიცის ზღვარი. დრეკადობის ზღვარი შეესაბამება მასალის ძაბვას დრეკადი დეფორმაციის მაქსიმალური მნიშვნელობისას; დენადობის ზღვარი არის მუდმივი ძაბვის სიდიდე ზრდადი პლასტიკური დეფორმაციისას; სიმტკიცის ზღვარი წარმოადგენს მაქსიმალური ძაბვის მნიშვნელობას მასალის რღვევის მომენტში.

სიმტკიცის აღნიშნული მახასიათებლები მიეკუთვნება მოდებულ დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებას. დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას მასალის სტრუქტურის დარღვევის საშიშროება მატულობს. ასეთ შემთხვევაში მცირე სიდიდის ძაბვებსაც შეუძლიათ გამოიწვიონ ცოცვადობა და სიმტკიცის კარგვა. ხშირად მასალის ხანგრძლივ სიმტკიცეს იკვლევენ როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური დატვირთვებისას. ვიბრაციული დატვირთვები მკვეთრად ამცირებენ მასალის სიმტკიცეს. ამის მიზეზი მასალის დაღლილობა, ე.ი. მასალაში არარეალაქსირებული ძაბვებისა და შეუქცევი მიკროდეფექტების დაგროვებაა. მასალის სიმტკიცეს ასეთ შემთხვევაში, დაღლილობის სიმტკიცე ეწოდება და იგი სპეციალური გამოცდებით განისაზღვრება. სიმტკიცის ყველა ჩამოთვლილი მახასიათებელი თავისი არსით პირობითია. ისინი არ ითვალისწინებენ დროის ფაქ-

ტორს (ასეთი მიდგომა, გარკვეული მიახლოებით, მხოლოდ მყივე მასალებისთვისაა დასაშვები). ამავე დროს, ხელსაწყოები, ნიმუშის ფორმა და ზომები, დატვირთვის სიჩქარე წნეხზე და მასალების სიმტკიცეზე გამოცდის სხვა საწყისი პარამეტრები მიღებულია პირობითად. ამის გამო, ზომებზე, დატვირთვების მოდების სიჩქარეზე და ნიმუშის გამოსაცდელი ხელსაწყოთა კონსტრუქციაზე დამოკიდებულებით შეიძლება ერთი და იმავე მასალის ნიმუშებს სიმტკიცის მაჩვენებლების სხვადასხვა სიდიდე აღმოაჩნდეს.

განსაზღვრული სიდიდის დეფორმაციით ან განსაზღვრული სიდიდის დატვირთვით ჩატარებული მექანიკური გამოცდები ერთმანეთისგან პრინციპულად განსხვავებულია. მექანიკური გამოცდებისას უნდა დადგინდეს დამოკიდებულება ლითონის დატვირთვისა და მის დეფორმაციას შორის (ეს დამოკიდებულება შემდეგ საინჟინრო-საკონსტრუქტორო პრაქტიკაში ან ლითონის წარმოებისა და სხვადასხვაგვარი დამუშავების პროცესში გამოიყენება). დატვირთვისა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მექანიკური გამოცდის მეთოდზე. სურ. 18-ის შესაბამისად, წარმოდგენილია ერთი და იმავე მასალის გაჭიმვის დიაგრამა, დეფორმირების მოცემული სიჩქარით (1) და მოცემული დატვირთვით (2).



სურ. 18. გაჭიმვის დიაგრამების სქემები:  
 1. დეფორმირების მოცემული სიჩქარე;  
 2. მოცემული დატვირთვა

მრუდი (1) იმ შემთხვევას შეესაბამება, როდესაც ნიმუში მუდმივი სინქარით დეფორმირდება, ხოლო მრუდი (2) იმ შემთხვევას აღწერს, როდესაც ნიმუშზე მუდმივი სინქარით მზარდი გარე დატვირთვაა მოღებული (ე.ი. დატვირთვის ნაზრდი დროის ერთეულში მუდმივია და ნიმუში დეფორმირდება თავისუფლად). ამ მრუდების ერთმანეთთან შედარება გვიჩვენებს, რომ მეორე მრუდს დენადობის ბაქანი არ აქვს. ამგვარად, გამოცდის სხვადასხვა მეთოდით მიღებული მექანიკური გამოცდების შედეგები ერთმანეთისგან განსხვავებულია.

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ტექნიკური ანუ რეალური სიმტკიცის გარდა არსებობს თეორიული სიმტკიცეც. იგი გამოთვლებით განისაზღვრება და რეალური სიმტკიცის მაჩვენებლებს 100 - 1000-ჯერ და უფრო მეტად აღემატება. სხვაობა აიხსნება მასალის თეორიულ და რეალურ სიმტკიცეებს შორის ლითონში რეალურად არსებული მეტალურგიული ხასიათის ძაბვების კონცენტრატორებით (მიკროსტრუქტურის დეფექტურობით, ანუ მიკრობზარების, ფორების და მისთ.) და კრისტალური გისოსის დეფექტებით (დისლოკაციებით, ვაკანსიებით, ჩანერგვის ელემენტებით). რაც უფრო დიდი ზომისაა მყარი სხეულის გამოსაცდელი ნიმუში, მით უფრო მეტი დეფექტი კონცენტრირდება მასში და ამის გამო მისი რეალური სიმტკიცე ნაკლებია. ე.ი. მასალის სიმტკიცესა და ნიმუშის ზომებს შორის უკუდამოკიდებულება მოქმედებს (მასშტაბის ფაქტორი). აქედან გამომდინარე, სხვადასხვა ზომის ნიმუშის გამოცდის დროს განსაზღვრული, თუნდაც ერთი და იმავე მასალის თვისებების ურთიერთშედარებისას, აუცილებელია მასშტაბის ფაქტორის შესაძლებელი გავლენის გათვალისწინება.

კრისტალური მასალების სიმტკიცე (მათ სხვა თვისებებზე უფრო მეტად) სტრუქტურის ფორმირებისა და ცვლილების

მოვლენებსა და პროცესებზე მგრძობიარეა. სიმტკიცის ამ მახასიათებელს უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. სიმტკიცის სტრუქტურულად მგრძობიარობა მისი მიკრო ან მაკროდონეზე (დეფექტების შემცირებით, დანამატების შეტანით, ახლადწარმოქმნილი ფაზის დისპერსიულობის გაზრდით, ფორიანობისა და ფორების ზომების შემცირებით და სხვ.) სასურველი მიმართულებით ცვლილების შესაძლებლობას იძლევა.

დასაშვები სამუშაო ძაბვები გამოითვლება შერჩეული სიმტკიცის კრიტერიუმების მნიშვნელობების მიხედვით. რაც უფრო მტკიცეა მასალა, მით უფრო მაღალია დასაშვები სამუშაო ძაბვები და ნაკლებია დეტალის ზომები და მასა. ამავე დროს, მასალის სიმტკიცის დონის მატებას თან სდევს დასაშვები სამუშაო ძაბვებისა და დეფორმაციების მნიშვნელობების ზრდაც. მათ შესაზღუდად მასალის სიხისტის კრიტერიუმი—დრეკადობის (ან ძვრის) მოდული—მაღალი უნდა იყოს. სახელობრ, სიხისტის და არა სიმტკიცის კრიტერიუმი განსაზღვრავს იმ დეტალების ზომებს, რომლებსაც ზუსტი ზომებისა და ფორმის შენარჩუნება მოეთხოვებათ.

მასალა რღვევისადმი წინააღმდეგობის გარკვეული უნარი-თაც—საიმედოობითაც—უნდა ხასიათდებოდეს. მყიფე რღვევის თავიდან ასაცილებლად, საკონსტრუქციო მასალები საკმარისი პლასტიურობითა და სიბლანტით უნდა ხასიათდებოდეს. მასალების საიმედოობის შესაფასებლად ციკმეტეხობის ტემპერატურულ ზღურბლსაც იყენებენ. იგი, ტემპერატურის შემცირებისას, მასალების მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილებას ახასიათებს. რაც უფრო დაბალია მყიფე მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურა, ექსპლუატაციის ტემპერატურასთან შედარებით, მით უფრო მეტია სიბლანტის შენარჩუნების ტემპერატურული მარაგი და ნაკლებია მასალის მყიფე რღვევის ალბათობა.

## თაზი IV კახვეზი და ღეფორმაციები

### **4.1 დატვირთვა–ღეფორმაციისას პოლიკრისტალურ ლითონში მიმდინარე შინაგანი ცვლილებები და ამ ცვლილებებზე ღეფორმირების პირობების გავლენა**

მექანიკური დატვირთვების მოქმედებისას ლითონების ქცევის ზოგად კანონზომიერებებში და შესაბამის მოვლენებში უკეთ გარკვევის მიზნით, აუცილებელია თვით ლითონის აგებულების თავისებურებების განხილვა. ყველა მყარი ლითონი კრისტალური ნივთიერებაა. ისინი შედგებიან მრავალი კრისტალიტების ანუ მარცვლებისგან, რომლებშიც ატომების განლაგება სწორი სამგანზომილებიანი გისოსის შესაბამის უჯრედს ქმნის.

ლითონის კრისტალური სტრუქტურა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ატომური სიბრტყეების ანუ ატომური შრეების ერთობლიობა. სხეულზე ძერის ძაბვის (ძალა, რომელიც ლითონის ნიმუშის ორ მეზობელ სიბრტყეს აიძულებს, ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით ერთმანეთზე ისრიალონ) მოდებისას, ატომების ერთ შრეს, მეორის მიმართ, ერთ ატომთშორის მანძილზე გადაადგილება შეუძლია. ატომური შრის ასეთი გადანაცვლება სხეულის ზედაპირის ფორმაზე (მაგრამ არა მის სტრუქტურაზე) უნდა აისახოს. თუ ერთი შრე მეორის მიმართ მრავალი ატომთშორისი მანძილით გადაინაცვლებს, მაშინ სხეულის ზედაპირზე ”საფეხური” წარმოიქმნება. ცალკეული ატომი ძალიან მცირეა და მისი გადანაცვლების დანახვა მიკროსკოპით შეუძლებელია, მაგრამ სრიალისას წარმოქმნილი საფეხურების დანახვა მიკროსკოპით შესაძლებელია და მას სრიალის ხაზებს უწოდებენ.

ტექნიკური ლითონური მასალები, ჩვეულებრივ, პოლიკრისტალური აგებულებისაა. ე.ი. ისინი სხვადასხვაგვარი ორიენტაციის მქონე კრისტალიტებისაგან შედგებიან და თითოეულს ატომური სიბრტყეების საკუთარი ორიენტაცია გააჩნია. ჩვეულებრივი პოლიკრისტალური ლითონის დეფორმაციას მონოკრისტალის დეფორმაციასთან ის აქვს საერთო, რომ დეფორმაცია ცალკეული კრისტალის ატომურ სიბრტყეებზე სრიალის შედეგს წარმოადგენს. კრისტალების საზღვრებზე სრიალი კი შესაძინევია მაღალ ტემპერატურებზე ცოცვალობისას.

ლითონურ მასალებში სიმტკიცის მახასიათებლები ატომთშორისი შეჭიდულობის ძალებით განისაზღვრება. ცნობილია, რომ დეფექტებისაგან თავისუფალი კრისტალური გისოსის მქონე მონოკრისტალის სიმტკიცე გაცილებით მაღალია, ვიდრე პოლიკრისტალური სხეულისა, რომელიც იმავე ლითონის მარცვლებისაგან შედგება. პოლიკრისტალებში მარცვლებს შორის კავშირების შემცირების მიზეზი არის მარცვლების სხვადასხვაგვარი ორიენტაცია, ცალკეული მარცვლის კრისტალურ გისოსში დეფექტების და პოლიკრისტალურ სხეულში მარცვლებს შორის გარეშე მინარევების არსებობა.

ბზარები, გრაფიტისა და ცემენტიტის ჩანართები, მიკროფორები, ნიჟარები, აირის ბუშტები და ლითონის მთლიანობის სხვა დამრღვევები ლითონში ძაბვების კონცენტრატორებია. მათი განლაგების ადგილებზე საანგარიშო ძაბვები 10–100-ჯერ მცირდება. ეს კი ფაქტობრივი მუშა განიკვეთის შემცირების ტოლფასია. ლითონში ჩამოთვლილი დეფექტების არსებობა იწვევს ატომთშორისი ძალების ამოქმედებას დრეკადი დეფორმაციის მცირე მონაკვეთზე. შემდეგ იწყება, ე.წ. დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციის დისლოკაციური მექანიზმის ამოქმედება. დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად ლითონი ირღვევა სიმტკიცის

უფრო დაბალ დონეზე. ძალის მოდებისას, დეფორმაციის დასაწყისში,  $1 \text{ სმ}^3$  ლითონში  $10^6$ – $10^8$  ცალი დისლოკაციაა, ხოლო პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში მათი რაოდენობა  $10^8$ – $10^{12}$ -მდე იზრდება. თუ თერმული დამუშავებით არ მოიხსნება დისლოკაციებით გამოწვეული ძაბვები (განსაკუთრებით ცივ მდგომარეობაში დეფორმირების შემდეგ), მაშინ მარცვლების სახეობებზე წარმოიქმნება მიკრო ბზარების ჩანასახები, რომლებიც კრიტიკული ზომების მიღწევასა და მაკრობზარებად გარდაიქმნებიან და ლითონი დაირღვევა.

მანქანათა დეტალებისა და ლითონური კონსტრუქციების დასამზადებლად, პრაქტიკაში, ძირითადად, დეფექტებით, მყარი მასალით შეუვსებელი ფორებითა და გარეშე მინარევებით შესუსტებული სიმტკიცის მქონე ლითონური მასალები გამოიყენება. ისინი იმისათვის არის განკუთვნილი, რომ ნარჩენი დეფორმაციისა და რღვევის გარეშე მიიღონ დატვირთვა და შემდეგ გადასცენ იგი ნაგებობის (კონსტრუქციების) შემადგენელ მეზობელ დეტალებს. ლითონების უნარი, შეასრულოს აღნიშნული ფუნქცია, დამოკიდებულია მათ ქიმიურ შედგენილობაზე, სტრუქტურულ მდგენელებზე და მათ ურთიერთგანლაგებაზე, კრისტალიტების კრისტალურ გისოსებში დეფექტების არსებობაზე და სხვ.

ლითონების ქიმიური შედგენილობა ანალიზური ქიმიის მეთოდებით და სპექტრული ანალიზით შეისწავლება. შენადნობის ძირითადი სტრუქტურული მდგენელების ურთიერთგანლაგებას, სასარგებლო და მავნე მინარევების სხეულის მოცულობაში განაწილებას მეტალოგრაფია იკვლევს, ხოლო კრისტალური აღნაგობის შესწავლა ხდება რენტგენოგრაფიის მეთოდებით. მექანიკური გამოცდების მეთოდებით შეისწავლება მასალის უნარი, დეფორმირდეს, წინააღმდეგობა გაუწიოს დეფორმაციას და გაუძლოს დეფორმაციის გამომწვევ დატვირთვებს.

ლითონური მასალები დეფორმირების პროცესში (რღვევამდე) სხვადასხვაგვარად იქცევიან. მასალებს, რომელთა ნიმუშების დეფორმირება ფორმისა და ზომების მნიშვნელოვანი ცვლილებით მიმდინარეობს და, ამასთან, რღვევის მომენტისას განვითარებული დეფორმაცია დატვირთვის მოხსნის შემდეგაც უნარჩუნდება, პლასტიკური მასალები ეწოდება. მასალებს, რომელთა ნიმუშების მთლიანობის რღვევა მცირე დეფორმირებისას ხდება და რღვევის მომენტისას განვითარებული დეფორმაცია დატვირთვის მოხსნის შემდეგ მყისიერად უქრება, მყიფე მასალები ეწოდება. ნარჩენი წაგრძელების სიდიდის მიხედვით მასალები, პირობითად იყოფა პლასტიკურ— $\delta \geq 10\%$ -ზე, მცირედ პლასტიკურ —  $5\% \leq \delta \leq 10\%$ -ზე და მყიფე— $\delta \leq 5\%$ -ზე მასალებად.

აღსანიშნავია, რომ ერთი და იგივე მასალა, დეფორმირების სხვადასხვა პირობებში, სხვადასხვაგვარად იქცევა: ზოგჯერ გვევლინება როგორც პლასტიკური მასალა, ზოგჯერ—როგორც მყიფე. ამასთან დაკავშირებით, უფრო სწორი იქნება, რომ მასალების ძირითადი მაკრომექანიკური მახასიათებლები—დრეკადობა, პლასტიკურობა, სიბლანტე და სხვა მიეკუთვნოს არა მათ თვისებებს, არამედ—მასალის მდგომარეობას. დრეკადობა, პლასტიკურობა და სიბლანტე, გარე დატვირთვების ზემოქმედებისას, მასალის მექანიკური მახასიათებლების და დაძაბული მდგომარეობის განმსაზღვრელი პარამეტრებია. ისინი დატვირთვა-განტვირთვისას განსაზღვრავენ ძაბვებისა და დეფორმაციების ხასიათს. ძაბვებისა და დეფორმაციების ცოდნა, თავის მხრივ, მრავალი ტექნოლოგიური პრობლემის გადაწყვეტასა და, ამასთან, ექსპლუატაციის ამა თუ იმ პირობებში მასალების სასამსახურო ვადის შეფასებაში გვეხმარება.

ზოგადად, საკონსტრუქციო მასალებს მოეთხოვება არა მხოლოდ დეფორმაციისადმი მაღალი გამძლეობა (დრეკადი დეფორმაციები  $E$  და  $G$  მოდულებით ხასიათდება, ხოლო პლასტიკური- $\sigma_{0,2}$  და  $\sigma_{ღრ}$  ზღვრებით განისაზღვრება), არამედ რღვევისადმი მაღალი წინააღობაც. ჩვეულებრივ, საერთო კომპლექსურ ცნებაში, დეფორმაციისადმი წინააღობას-სიმტკიცეში აერთიანებენ, რღვევისადმი წინააღობას საიმედოობაში, მასალის ხანგამძლეობა კი მრავალჯერადი დატვირთვებით (თუ მასალის თითოეული დატვირთვის აქტის შემდეგ მიკრორღვევები ხდება, მაგ., ცვეთა, დაღლილობა, კოროზია, ცოცვადობა) ხასიათდება.

მექანიკური თვისებების ცოდნა ხელს უწყობს კონსტრუქტორს დასაბუთებულად შეარჩიოს მასალა, რომელიც მინიმალური მასით, დასაპროექტებელი მანქანებისა და კონსტრუქციების საიმედოობასა და ხანგამძლეობას უზრუნველყოფს. მექანიკური თვისებების მანქნებლებით აწარმოებენ სხვადასხვა ლითონისა და შენადნობის შედარებით შეფასებას, აგრეთვე მათი ხარისხის კონტროლს ნაკეთობის დამზადებისას.

## **4.2 ლითონების დაძაბულ-დეფორმირებადი მდგომარეობის დახასიათება**

მექანიკაში დეფორმაცია განიხილება როგორც მექანიკური ზემოქმედების შედეგად მყარი სხეულის რომელიმე ორი წერტილის ურთიერთგანლაგების ცვლილების პროცესი. კრისტალური სხეულები, დატვირთვის მოდების შემდეგ, დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაში გადადის. ისინი დრეკადად და დრეკად-პლასტიკურად დეფორმირდებიან,

ხოლო დატვირთვის განსაზღვრულ პირობებში, მათი მთლიანობის ნაწილობრივი ან სრული რღვევა ხდება.

სხეულის დეფორმირებისას ვლინდება ერთმანეთისგან განსხვავებული ორი სახის დეფორმაცია: დრეკადი და პლასტიკური. ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან როგორც გარეგნული გამოვლინებით, ისე შინაგანი მექანიზმებითაც. აქედან გამომდინარე, ლითონების დრეკადი და პლასტიკური მდგომარეობები სხვადასხვა მახასიათებლებით აღიწერება. დრეკადი დეფორმაციები ატომთშორისი მანძილების ცვლილებისას ვლინდება და არ ცვლის ლითონის სტრუქტურას, იგი შექცევადია (დატვირთვის მოხსნის შემდეგ დეფორმაცია ქრება).

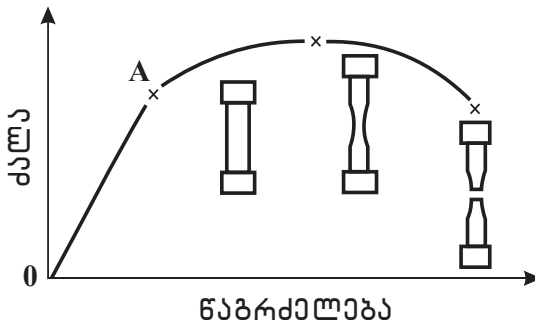
პლასტიკური, ანუ ნარჩენი დეფორმაციები აღიძვრება დისლოკაციების წარმოქმნითა და მოძრაობით. ისინი ცვლიან ლითონის სტრუქტურასა და თვისებებს. დატვირთვის მოხსნის შემდეგ დეფორმაციები რჩება, ანუ პლასტიკური დეფორმაცია შეუქცევი ხასიათისაა.

აღსანიშნავია, რომ რაც არ უნდა მცირე სიდიდის იყოს მოდებული ძაბვა, ის ყოველთვის იწვევს შესაბამის დეფორმაციებს. საწყისი დეფორმაციები ყოველთვის დრეკადია და მათი სიდიდე ძაბვის პირდაპირპროპორციულია (პროპორციულობის კანონი).

მოკლედ განვიხილოთ კრისტალური სხეულების აღნიშნული თვისებები. ძაბვასა და დეფორმაციას (ან დატვირთვასა და გადანაცვლებას) შორის კავშირი განისაზღვრება ნიმუშზე მოქმედ დატვირთვასა და მისგან გამოწვეულ დეფორმაციას შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულებით. ექსპერიმენტულად დეფორმაციები ნიმუშის ერთდერძა

გაჭიმვისას ისაზღვრება. ამ დროს, რღვევის შემდეგ, განისაზღვრება სიმტკიცის ზღვარი  $\sigma_m$ , ფარდობითი წაგრძელება  $\delta$  და ფარდობითი შევიწროება  $\Psi$ .

გრაფიკულად, სტატიკური ერთღერძა გაჭიმვისას, დატვირთვასა და აბსოლუტურ წაგრძელებას (დეფორმაციას) შორის თანაფარდობა აღიწერება, ე.წ. დეფორმაციის დიაგრამით (მას გაჭიმვის მრუდსაც უწოდებენ). იგი წარმოადგენს გრაფიკს, რომლის ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომილია წაგრძელება (ან დეფორმაცია), ხოლო ვერტიკალურზე—დატვირთვა (ან ძაბვა). სურ. 19-ის შესაბამისად, გაჭიმვაზე გამოცდისას ჩაწერილი ძაბვა-დეფორმაციის მრუდი წარმოადგენს ლითონის სიმტკიცის და პლასტიკურობის რაოდენობრივი მახასიათებლების ინფორმაციის წყაროს.



სურ. 19. ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამა (OA არის დრეკადი დეფორმაციის უბანი)

გაჭიმვისას, ნიმუშზე მოდებული ძაბვის აბსოლუტურ წაგრძელებაზე დამოკიდებულების დიაგრამა სწორხაზოვანი და მრუდხაზოვანი ორი უბნისგან შედგება. მათი შეუღლების ადგილი ასახავს დრეკადიდან პლასტიკური დეფორმაციის არეში გადასვლას. მრუდის ეს ნაწილი აბს-

ცისის ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსის თანდათანობით შემცირებით ხასიათდება. ე.ი., პლასტიკურ არეში გადასვლა შეინიშნება არა მარტო პირდაპირი ნიშნით—ნარჩენი დეფორმაციის გამოვლენით—არამედ მრუდის დახრის კუთხის შემცირებითაც. ამის გამო, დეფორმაციის მრუდის დახრის ზუსტი დაფიქსირება და მისი ანალიზი მნიშვნელოვანია მასალის დრეკადიდან პლასტიკური დეფორმაციის არეში გადასვლის დასახასიათებლად (განსაკუთრებით ნაკლებპლასტიკური მასალების გამოცდისას). თანამედროვე მაღალი სიხისტის საცდელ მანქანებში დიდი ყურადღება ექცევა როგორც მთლიანად ძაბვა-დეფორმაციის მრუდის, ისე მისი ნებისმიერი უბნის მაღალი სიზუსტით ჩაწერას. დიაგრამაზე დრეკადი მდგომარეობის სწორხაზოვანი დამოკიდებულება A წერტილში მთავრდება, ამ წერტილს დენადობის პირობითი ზღვარი ეწოდება.

დენადობის ზღვარზე გადამეტებული ძაბვებისას ლითონი გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში. გარეგნულად ეს ვლინდება მოქმედი დატვირთვებისადმი წინაღობის შემცირებაში, ნიმუშის ფორმისა და ზომების ცვლილებაში (გაჭიმვისას ნიმუშის განივკვეთი მცირდება, სიგრძე მატულობს). ძაბვის მოხსნის შემდეგ ლითონი დეფორმირებული რჩება, მაგრამ უბრუნდება დრეკად მდგომარეობას. პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში დისლოკაციური სტრუქტურის ცვლილება ლითონის დენადობის ზღვარს მაღლა სწევს—ხდება მისი დეფორმაციული განმტკიცება. ნებისმიერ შემთხვევაში, სხვაობა ( $\sigma_m - \sigma_{0,2}$ ) განსაზღვრავს პირობითი ზღვრების ინტერვალს, რომელშიც თანაბარი პლასტიკური დეფორმაცია ხდება, ხოლო შეფარდება  $\sigma_{0,2}/\sigma_m$  ახასიათებს განმტკიცების ხარისხს (მოლბობილ მდგომარეობაში ლითონებში  $\sigma_{0,2}/\sigma_m=0,5-0,6$ -ს, ხოლო დეფორმაციის შემდეგ განმტკიცების ხარისხი  $0,9-0,95$ -მდე იზრდება).

დეფორმაციები სხეულზე ნორმალური და მხები ძაბვების მოქმედების შედეგია. გაანგარიშების მოსახერხებლად სრულ ძაბვას ურთიერთპერპენდიკულარულ მდგენელებად შლიან (ნორმალური ძაბვა  $\sigma$  და მხები ძაბვა  $\tau$ ). ნორმალური ძაბვები სხეულის განივკვეთის ნორმალურად მოქმედებენ და მასალის ნაწილაკების ერთმანეთთან მიახლოების ან დაშორების უნარს ახასიათებენ. ნორმალურიდან განსხვავებით, მხები (ძვრის) ძაბვები მოქმედებენ განივკვეთის სიბრტყეში და ნაწილაკების ერთმანეთის მიმართ ფარდობითი სრიალის უნარს ახასიათებენ. გაჭიმვისას, ნიმუშის სამუშაო სიგრძეზე ძაბვები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} ,$$

ხოლო

$$\tau_{max} = \frac{\sigma}{2} ,$$

სადაც:  $\sigma$  არის პირობითი ნორმალური ძაბვა ნიმუშის განივკვეთში,

$P$  – ნიმუშის გამჭიმავი ძალა,

$F_0$  – ნიმუშის განივკვეთის საწყისი ფართობი,

$\tau_{max}$  – ძვრის უდიდესი პირობითი ძაბვა.

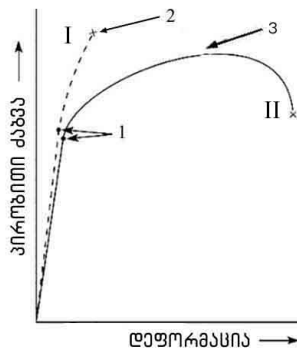
$\sigma$  და  $\tau$  ძაბვების პირობითობა, გამოცდის პროცესში, ნიმუშის განივკვეთის საწყისი ფართობის თანდათან შემცირებიდან გამომდინარეობს. ასე რომ, ყოველთვის  $F_0 > F$ -ზე, ხოლო  $\sigma < S$  -ზე.

ჭეშმარიტი ძაბვა  $S$  შეესაბამება შემდეგ ფარდობას:

$$S = \frac{P}{F} ,$$

სადაც  $F$  არის  $P$  დატვირთვისას, ნიმუშის საანგარიშო სიგრძეზე, მოცემულ მომენტში, განივკვეთის ფართობის უმცირესი მნიშვნელობა.

ე.ი., გაჭიმვისას, პირობითი ძაბვა გამოითვლება ნიმუშზე მოღებული დატვირთვის მისი განივკვეთის საწყის ფართობთან და არა შემცირებულთან ფარდობით (რაც მოსახერხებელია), ხოლო ჭეშმარიტი ძაბვა ისაზღვრება დატვირთვის, ნიმუშის, გაზომვის მომენტში რეალურად არსებული, განივკვეთის ფართობთან ფარდობით (რაც უფრო ძნელია). მცირე დეფორმაციებისას ასეთი მიდგომა დასაშვებია, მაგრამ დიდი დეფორმაციების შემთხვევაში, სურ. 20-ის შესაბამისად, შეიძლება შესამჩნევი სხვაობა მივიღოთ. სურათზე წარმოდგენილია სხვადასხვა პლასტიკურობის მქონე ორი მასალის ძაბვა-დეფორმაციის მრუდები.



სურ. 20. სხვადასხვა პლასტიკურობის მქონე ორი ლითონის ძაბვა-დეფორმაციის მრუდები (გაჭიმვისას):

I- უფრო მყიფე;

II- უფრო პლასტიკური;

1. დენადობის ზღვარი;

2. მყიფე მასალის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას;

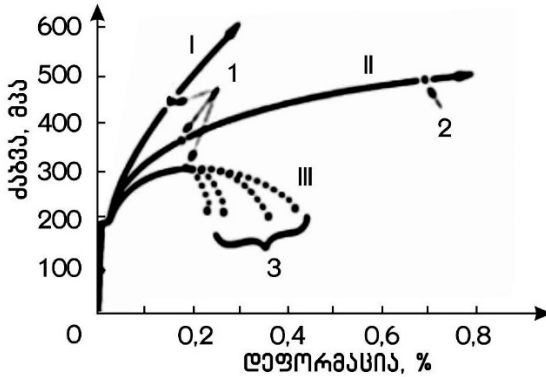
3. პლასტიკური მასალის თანაბარი დეფორმაციის დასასრულის შესაბამისი ძაბვა

როგორც ერთი, ისე მეორე მასალის საწყისი სწორხაზოვანი დამოკიდებულება მთავრდება დენადობის ზღვრის 1-ლ წერტილში, საიდანაც მასალის პლასტიკური დენადობა იწყება. ამ წერტილიდან ნაკლებად პლასტიკური მასალა თანაბრად დეფორმირდება და  $\sigma_m$ -ის მნიშვნელობაზე დეფორმაცია ნიმუშის რღვევით სრულდება. მკიფე მასალის დიაგრამის უმაღლესი წერტილი, გაჭიმვისას, მისი სიმტკიცის ზღვარს წარმოადგენს და რღვევას შეესაბამება. უფრო პლასტიკური მასალის შემთხვევაში, ნიმუში იჭიმება თანაბრად, ხოლო  $\sigma_m$ -ის მიღწევის შემდეგ იწყება ადგილობრივი შევიწროება და შემდეგი გაჭიმვა, რღვევამდე, ყელის არეშია კონცენტრირებული. სიმტკიცის ზღვარი, გაჭიმვისას, მაშინ მიიღწევა, როდესაც განივკვეთის ფართობის შემცირების სიჩქარე დეფორმაციული განმტკიცების სიჩქარეს გადააჭარბებს. სიმტკიცის ზღვრის შესაბამისი დაბვა უკვე არ ემთხვევა ნიმუშის რღვევის დაბვას, ამიტომ  $\sigma_m$  განსაზღვრავს არა ზღვრულ სიმტკიცეს, არამედ პირობით მაქსიმალურ დაბვას, რომლის დროსაც მთავრდება ნიმუშის თანაბარი დეფორმაცია.  $\sigma_m$  სიდიდეს ხშირად უწოდებენ სიმტკიცის პირობით ზღვარს გაჭიმვისას (დამოუკიდებლად იმისა, ნიმუში ყელის წარმოქმნით დაირღვა თუ-უმისოდ).

სურათიდან ჩანს, რომ პირობითი დაბვა ნიმუშში მოქმედ ჭეშმარიტ დაბვაზე ნაკლებია. დიაგრამაზე გაჭიმვის ჭეშმარიტი მრუდი გადის პირობითი დიაგრამის ზევით ჩამოშვებული უბნის გარეშე. დაბვა-დეფორმაციის მრუდი, ნებისმიერ შემთხვევაში, ნიმუშის გაწევის შემდეგ, რომელიც სასრულო დეფორმაციაზე შეწყდება. რღვევის მიზეზი სხვადასხვა ლითონისთვის შეიძლება სხვადასხვა იყოს. იგი დამოკიდებულია დატვირთვის ტიპისაგან. დეფორმაციის პროცესში, ლითონის განმტკიცების შემდეგ, შესაძლებელია დაბვები ისეთ მნიშვნელობამდე გაიზა-

რდოს, რომ ბზარის ჩასახვა და განვითარება მოხდეს. პლასტიკური მასალების გაჭიმვაზე გამოცდისას, რღვევა ხდება ნიმუშის რომელიღაც ლოკალურ ადგილზე. თუ ნიმუშის განივკვეთის ფართობი რომელიმე ადგილას საშუალო ფართობზე ნაკლები გახდება, მაშინ ამ ადგილზე ძაბვები გაიზრდება, რაც გეომეტრიულად შესუსტებულ ადგილზე გამოიწვევს დეფორმაციის ინტენსიფიკაციას და განივკვეთის ფართობის კიდევ უფრო დიდ ლოკალურ შემცირებას. გამოცდის მსვლელობისას, ამ სტადიაზე იწყება "ყელის" (განივკვეთის შემცირების ლოკალური აჩქარება) წარმოქმნა. მიუხედავად იმისა, რომ მასალის მიერ დატვირთვის ატანის უნარი მცირდება, ნიმუში ყელში მაინც განაგრძობს განმტკიცებას და, სიმტკიცის ზღვრის გაელის შემდეგ, გამოცდა ყელის გაწყვეტით მთავრდება. პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში ცილინდრული ნიმუში წვრილდება და, გაჭიმვასთან ერთად, პირობით და ჭეშმარიტ ძაბვებს შორის სხვაობა იზრდება (განსაკუთრებით ყელის წარმოქმნის შემდეგ). ასეთ შემთხვევებში,  $\delta$  და  $\Psi$  შესაბამისი თანაბარი და თავმოყრილი დეფორმაციების ჯამების ტოლია.

ლითონის კუმშვისას, დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები, ჩვეულებრივ, გაჭიმვაზე გამოცდისას გამოვლენილი დეფორმაციების მსგავსია. სურ. 21-ის შესაბამისად, პირობით ძაბვასა და პირობით დეფორმაციას შორის თანაფარდობის მრუდი, კუმშვისას, უფრო მაღლა გადის, ვიდრე შესაბამისი მრუდი გაჭიმვისას. ეს გამოწვეულია იმ ფაქტით, რომ კუმშვისას ნიმუშის განივკვეთი შემცირების ნაცვლად მატულობს. თუ საკოორდინატო დერძებზე ჭეშმარიტ ძაბვასა და ჭეშმარიტ დეფორმაციას გადავზომავთ, მაშინ მრუდები, პრაქტიკულად, ერთმანეთს დაემთხვევა, თუმცა გაჭიმვისას რღვევა უფრო ადრე მოხდება.



სურ. 21. გაჭიმვისა და კუმშვის დიაგრამები:

- I. პირობითი ძაბვა-დეფორმაცია კუმშვისას;
- II. ჭეშმარიტი ძაბვა-დეფორმაცია გაჭიმვისას და კუმშვისას;
- III. პირობითი ძაბვა-დეფორმაცია გაჭიმვისას;
  - 1. ტოლი ჭეშმარიტი დეფორმაციების წერტილები;
  - 2. რღვევა გაჭიმვისას;
  - 3. სხვადასხვა სიგრძის ნიმუშები

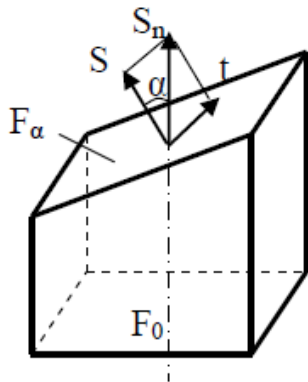
### 4.3. აპაზები და დეფორმაციები

მექანიკაში ძაბვა განიხილება როგორც სხეულის განივკვეთის ერთეულ ფართობზე მოდებული დატვირთვა:

$$S = \frac{P}{F}$$

ძაბვა კუთრი სიდიდეა. იგი დატვირთვის ისეთი მასხასიათებელია, რომელიც სხეულის ზომებზე არ არის დამოკიდებული. მისი განზომილება არის პასკალი (პა).

თუ ძალის ვექტორი არ არის მისი მოდების ფართობის პერპენდიკულარული მაშინ იგი, სურ. 22 შესაბამისად, როგორც ყველა ვექტორი, შეიძლება დაიშალოს მდგენელებად: ნორმალურ (ფართობის სიბრტყის პერპენდიკულარულ) ვექტორად, რომელიც ქმნის ნორმალურ დაბვას და მხებ (ფართობის სიბრტყეში მოქმედ) ვექტორად, რომელიც მხებ დაბვას იწვევს. მექანიკური გამოცდებისას საკუთრივ ეს დაბვები განისაზღვრება.



სურ. 22 სრული დაბვის მდგენელების განმსაზღვრელი სქემა

დეფორმაციისა და რღვევის ზოგიერთი პროცესი განისაზღვრება ნორმალური დაბვებით (მოწვევით რღვევა), სხვა კომხებით (პლასტიკური დეფორმაცია, ძვრით რღვევა). 22-ე სურათიდან ჩანს, რომ  $F_\alpha$  ფართობზე მოქმედებს სრული  $S_n$  დაბვა. ამ ფართობის პერპენდიკულარი გარე (P) ძალასთან ქმნის  $\alpha$  კუთხეს.

$$S_n = \frac{P}{F_\alpha},$$

ხოლო

$$F_\alpha = \frac{F_0}{\cos\alpha},$$

სადაც:  $F_0$  არის ძალის მოდების პერპენდიკულარული კვეთის ფართობი

$$S_n = \left(\frac{P}{F_0}\right) \cos\alpha.$$

ნორმალური ძაბვა  $F_\alpha$  კვეთში იქნება:

$$S = \left(\frac{P}{F_0}\right) \cos^2\alpha,$$

ხოლო მსები ძაბვა იქნება:

$$t = \frac{P}{F_0} \cos\alpha \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} \frac{P}{F_0} \sin 2\alpha.$$

ნორმალური ძაბვები ორი სახისაა: გამჭიმავი (დადებითი) და მკუმშავი (უარყოფითი).

მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრისას სარგებლობენ ჭეშმარიტი და ფარდობითი ძაბვების ცნებით. თუ ძაბვები გამოთვლილია დროის მოცემულ მომენტში  $P_i$  დატვირთვის სხეულის განივეკვეთის საწყის  $F_0$  ფართობთან ფარდობით, ამ ძაბვას პირობითი ეწოდება, ხოლო თუ ძაბვა გამოითვლება როგორც დროის მოცემულ მომენტში  $P_i$  დატვირთვის იმავე მომენტში კვეთის  $F_i$  ფართობთან ფარდობა, მაშინ ასეთ ძაბვას ჭეშმარიტი ძაბვა ეწოდება. ძაბვების აღსანიშნავად ხშირად გამოიყენება აღნიშვნები:

ჭეშმარიტი ძაბვებისთვის: S-ნორმალური, t-მხები, ხოლო პირობითი ძაბვებისათვის:  $\sigma$ -ნორმალური,  $\tau$ -მხები.

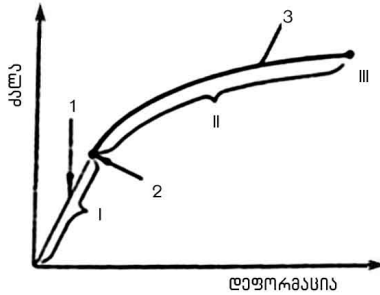
სხეულზე გარკვეული სიდიდის გარე დატვირთვის მოდებისას ხდება მისი დეფორმირება. ამ დროს იცვლება სხეულის ფორმა და ზომები. დეფორმაციებს, რომლებიც ძაბვის მოხსნისთანავე ქრება, ეწოდება დრეკადი დეფორმაცია, ხლო ძაბვების მოხსნის შემდეგ შენარჩუნებულ დეფორმაციებს—ნარჩენი. ნარჩენ დეფორმაციებს რომლებიც რღვევის გარეშე (რღვევის დატვირთვაზე ნაკლები დატვირთვისას) წარმოიშობა პლასტიკური დეფორმაცია ეწოდება.

ლითონური მასალებისაგან დამზადებული მანქანების დეტალებისა და კონსტრუქციების ელემენტები, მათზე მოდებული გარე ძალების მოქმედებით დეფორმირდება. მათი მექანიკური თვისებები განისაზღვრება იმ უნარით, როგორადაც იღებენ ისინი გარეგან დატვირთვას, ანუ როგორ წინააღმდეგობას უწევენ დეფორმაციასა და რღვევას.

ლითონის დეფორმირების პროცესის სტადიების თვალსაჩინოებისთვის, სქემატურად განვიხილოთ სხეულში მიმდინარე დეფორმაციის დიაგრამა თანდათან მზარდი დატვირთვისას. ასეთი დიაგრამა, ჩვეულებრივ, სურ. 23-ის შესაბამისად, ძალა-დეფორმაციის კოორდინატებში აიკვება.

გაჭიმვის დიაგრამა  $P - \Delta l$  ღერძთა სისტემაში, ფაქტობრივად, მოცემული მასალიდან დამზადებული ნიმუშის მექანიკურ მახასიათებლებს აღწერს. ძალის ერთი და იმავე მნიშვნელობისას ნიმუშის წაგრძელება მის გრძივკვეთებსა და განივკვეთებზეა დამოკიდებული. ნიმუშის გეომეტრიული ზომების გავლენის გამორიცხვისათვის მასალის მექანიკური მახასიათებლების მისაღებად, გაჭიმვის დიაგრამა აიკვება  $\sigma - \varepsilon$  ფარდობით კოორ-

დინატებში. სხვადასხვა ზომის ნიმუშების გამოცდის შედეგების შესადარებლად მიზანშეწონილია კავშირის დადგენა აბსოლუტურსა და ფარდობით სიდიდეებს შორის. ანუ  $\sigma$  პირობით ძაბვასა და  $\varepsilon$  ფარდობით წაგრძელებას შორის.



სურ. 23. დეფორმაციის პროცესის სქემა გაჭიმვაზე გამოცდისას:

- I. დრეკადი დეფორმაციები; II. დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციები; III. რღვევა.
- 1. ცალკეულ მარცვლებში პლასტიკური დეფორმაციების დასაწყისი;
- 2. მასობრივი პლასტიკური დეფორმაციების დასაწყისი;
- 3. რღვევის დასაწყისი

$P$  დატვირთვიდან ძაბვა  $\sigma$ -ზე და  $\Delta l$  აბსოლუტურიდან  $\varepsilon$  ფარდობით წაგრძელებაზე გადასვლისას, ჩვეულებრივ, გაჭიმვის პროცესში, უგულებელყოფილია ნიმუშის განივკვეთის ფართობის ცვლილება და ყელის წარმოქმნის შემდეგ-მის სამუშაო სიგრძეზე დეფორმაციის არათანაბარი განაწილება.  $\sigma$  გამოითვლება  $P$  დატვირთვის ნიმუშის განივკვეთის პირველსაწყის ფართობთან ფარდობით, ხოლო  $\varepsilon$ -ნიმუშის აბსოლუტური წაგრძელების მის პირველსაწყის  $l_0$  სიგრძესთან ფარდობით. შესაბამისად, ისინი ასე გამოისახებიან:

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

და

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

სადაც:  $P$  არის გამჭიმავი დატვირთვა;

$F_0$  – ნიმუშის საწყისი განივეკეთის ფართობი;

$\Delta l$  – ნიმუშის აბსოლუტური წაგრძელება;

$l_0$  – ნიმუშის საანგარიშო სიგრძე გამოცდამდე.

ასეთი გზით მიღებულ დიაგრამას უწოდებენ პირობითი ძაბვების დიაგრამას. თავისი ხასიათით იგი არ განსხვავდება  $\Delta l - P$  კოორდინატებში აგებული დიაგრამისაგან.  $P$  და  $\Delta l$  სიდიდეები, მოცემული პირობებისათვის, მუდმივ სიდიდეებზე იყოფიან. ამდენად, ისინი  $\sigma$ -ისა და  $\varepsilon$ -გან მხოლოდ მასშტაბით განსხვავდებიან.  $P - \Delta l$  კოორდინატებიდან  $\sigma - \varepsilon$  კოორდინატებზე გადასვლისას დიაგრამის სახე არ იცვლება. იცვლება მხოლოდ მასშტაბი.

განსახილველი დეფორმაციის დიაგრამას ორი დამახასიათებელი უბანი აქვს: I-ლ უბანზე, დატვირთვის საწყის სტადიაზე, განსაზღვრულ დატვირთვამდე, დეფორმაცია სწორხაზოვანი კანონით იზრდება. უბანი ვრცელდება იმ მომენტამდე, სანამ, ნიმუშზე მოდებული დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, ნიმუში საწყის ზომებს დაიბრუნებს, ანუ ნიმუშის საწყის საანგარიშო სიგრძეზე დატვირთვა გაუღენას ვერ ახდენს; II უბანზე ძალასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება მრუდხაზოვანი ხდება. ე.ი. ნიმუში დრეკად და პლასტიკურ დეფორმაციებს ერთდროულად განიცდის. მეორე სტადიაზე, დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, დეფორმაციის დრეკადი ნაწილი გაქრება და დეფორმაციის მხოლოდ პლასტიკური ნაწილის სიდიდე დარჩება. III.

დეფორმაციის მრუდი არსებობას წყვეტს იმ მომენტში, როდესაც სხეულის მთლიანობის მყისიერი რღვევა და, აქედან გამომდინარე, დატვირთვის ძალიან სწრაფი მოხსნა ხდება.

ძაბვების მნიშვნელობები, რომელთა დროსაც მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციები წარმოიქმნება,  $\sigma$  პროპორციულობის ზღვრით განისაზღვრება. იგი იმ დატვირთვის შესაბამეა, რომლის სიდიდემდეც ჰუკის კანონი მოქმედებს. დატვირთვის ამ არეში ლითონის ყველა მარცვალ მხოლოდ დრეკადად დეფორმირდება, ხოლო მთლიანად ნიმუშში სრულდება ჰუკის კანონი: დეფორმაცია ძაბვის პროპორციულია (აქედან გამომდინარეობს ზღვრის დასახელებაც).

დრეკად და პლასტიკურ მდგომარეობებს შორის მკვეთრი საზღვარი არ არსებობს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ  $\sigma$  და, გარკვეული ხარისხით პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევი  $\sigma_{0.2}$  ძაბვების ინტერვალში შესაძლებელია როგორც დრეკადი, ისე პლასტიკური დეფორმაციები. სანამ ყველა კრისტალურ მარცვალში დისლოკაციები უძრავია, დეფორმაცია დრეკადია. ძაბვების გაზრდისას პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლა დატვირთვის ისეთ ინტერვალში შეინიშნება, რომელშიც დისლოკაციების მოძრაობა (შესაბამისად, პლასტიკური დეფორმაცია) მხოლოდ ცალკეულ კრისტალურ მარცვალში ხდება, ხოლო დანარჩენში რეალიზდება დრეკადი დეფორმაციის მექანიზმი. როდესაც სხეულის ცალკეულ მარცვალში დისლოკაციების მოძრაობისათვის აუცილებელი პირობები შეიქმნება, ისინი პლასტიკურად დეფორმირებას იწყებენ. დასაწყისში ასეთი მარცვლების საერთო წილი მცირეა და ნიმუშის მთლიან დეფორმაციას ვერ იწვევს. ამ დროს გაჭიმვის დიაგრამაზე სწორი ხაზის გამრუდება და დენადობის ბაქანთან მიერთება იწყება.

ძაბვას, რომლის დროსაც მაკროდეფორმაციის პირველი ნიშნები გამოვლინდება, დრეკადობის პირობითი ზღვარი იწოდება. მის აღნიშვნაში ინდექსი ნარჩენი დეფორმაციის იმ სიდიდეს უჩვენებს, რომლის მიხედვითაც დრეკადობის ზღვარი განისაზღვრა (მაგ.,  $\sigma_{0,01}$ ,  $\sigma_{0,05}$ ).

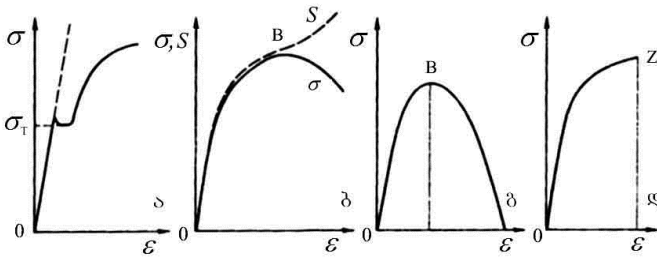
ძაბვა, რომლის დროსაც პლასტიკური დეფორმაცია უკვე მეტი ხარისხით გამოვლინდება დენადობის პირობით ზღვრად იწოდება. პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად იგი ნარჩენი დეფორმაციის 0,2%-ით განისაზღვრება და  $\sigma_{0,2}$ -ით აღინიშნება.

ფორმალურად, დრეკადობისა და დენადობის ზღვრებს შორის სხვაობა, დრეკად და პლასტიკურ მდგომარეობებს შორის "საზღვრების" ზუსტ დადგენასთანაა დაკავშირებული. სწორედ პროპორციულობის ან დრეკადობის ზღვრები მიაჩნებენ არადრეკადი თვისებების და დაღლილობის ზღვრების გამოვლენაზე. აღსანიშნავია, რომ თერმული დამუშავებით შეიძლება დრეკადობის ზღვრის გაზრდა, დენადობის ზღვრის შეუცვლელად. ეს კი იმაზე მიუთითებს, რომ ამ ზღვრების სიდიდეები სხვადასხვა პროცესებით განისაზღვრება.

პლასტიკური მდგომარეობა მაშინ დამყარდება, როდესაც დისლოკაციების მოძრაობა შესაძლებელი იქნება ნიმუშის ყველა მარცვალში. დისლოკაციური სტრუქტურის სრულად გადაწყობის შემდეგ (პლასტიკური დეფორმაციის დასასრული), ლითონი დრეკად მდგომარეობას უბრუნდება, მაგრამ შეცვლილი დრეკადი თვისებებით. რადგან პლასტიკური დეფორმაცია დრეკადი დეფორმაციის ფონზე მიმდინარეობს, ამიტომ პლასტიკური მდგომარეობა, ხშირად, დრეკად-პლასტიკურად იწოდება, მაგრამ ყველაზე ხშირად ტერმინი "დრეკად-პლასტიკური" გარდამავალ არეს მიეკუთვნება, როდესაც წყდება დრეკადი დეფორმაცია და პლასტიკური

დეფორმაციების პროცესები იწყება. ძალიან ხშირად დრეკად და პლასტიკურ მდგომარეობებს შორის "საზღვრად" (მიახლოებით) დენადობის პირობით ზღვარს- $\sigma_{0,2}$ -ს იღებენ. ზღვრების წარმოდგენილი აღნიშვნები სტატიკურ ერთდერ-და გაჭიმვას შეესაბამება. კუმშვაზე, ღუნვაზე და გრესაზე გამოცდებისას, ზღვრები განისაზღვრება ანალოგიური მნიშვნელობებით.

განხილული მრუდი დამახასიათებელია ისეთი მასალებისათვის, რომლებიც დრეკადიდან პლასტიკურ მდგომარეობაში მდოვრედ გადადიან. სხვადასხვა მასალის გამოცდისას გაჭიმვის უფრო რთული მრუდების მიღებაც არის შესაძლებელი. სურ. 24-ის შესაბამისად, მათი სახე დამოკიდებულია გამოსაცდელი მასალის ბუნებაზე, გამოცდის სიჩქარეზე, ტემპერატურაზე და სხვ.



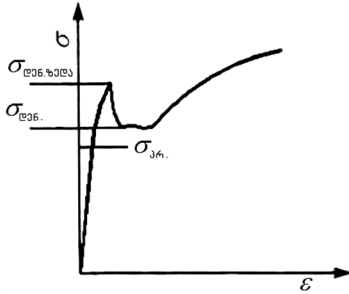
სურ. 24. ძაბვა-დეფორმაციის მრუდები

არსებობს ლითონები და შენადნობები პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის აშკარად გამოსახული ჰორიზონტალური მონაკვეთით. ისინი ხასიათდებიან დენადობის არა პირობითი, არამედ ფიზიკური ზღვრით. დენადობის ფიზიკური ზღვრის მიღწევისას ძაბვის მცირედ გაზრდა ნიმუშის მკვეთრ წაგრძელებას იწვევს, თითქოს ლითონი მიედინება (აქედან ზღვრის დასახელებაც).

#### 4.4 დენადობის კბილი და დენადობის ბაქანი

ზოგიერთი მასალისათვის დამახასიათებელია, ე.წ., დენადობის კბილი და დენადობის ბაქანი. სურ. 24-ს შესაბამისად, დენადობის კბილის შემდეგ პლასტიკური დეფორმაციის ზრდა, პრაქტიკულად, მოდებულ დატვირთვის სიდიდის უცვლელად, თითქმის ჰორიზონტალურ მონაკვეთზე ხდება. გაჭიმვის დიაგრამაზე აბსცისის პარალელურ უბანს დენადობის ბაქანი ეწოდება. დენადობის ბაქნის მთელ სიგრძეზე მასალა, თითქმის, სრულიად პლასტიკურია. დენადობის ბაქანი, ე.წ., დენადობის ზღვარს, ანუ იმ ძაბვას განსაზღვრავს, რომელიც ნიმუშის სამუშაო ნაწილზე ნარჩენ დეფორმაციას იწვევს. გამოცდის ამ სტადიაზე პლასტიკური დეფორმაცია ნიმუშის მასალის მთლიან მოცულობაში ვრცელდება. ნიმუში (დატვირთვის პრაქტიკულად უცვლელობისას) მნიშვნელოვან ნარჩენ დეფორმაციას იღებს. მასალის უნარს, დეფორმირდეს მუდმივი დატვირთვისას, დენადობა ეწოდება. დენადობის ბაქნის სიგრძემ შეიძლება საერთო დეფორმაციის 1%-ს მიაღწიოს.

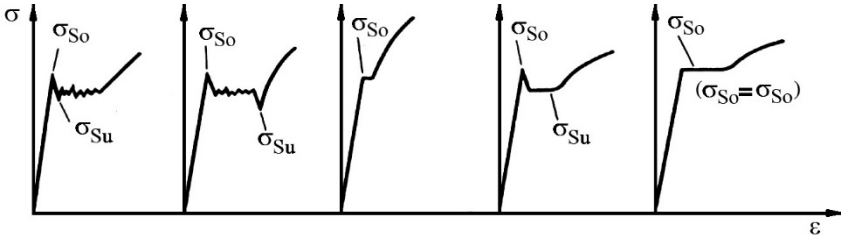
დენადობის კბილის არსებობა განპირობებულია მინარევი ატომების თავმოყრით დისლოკაციების სიახლოვეს და მათი გადაადგილების შეზღუდვით. სურ. 25-ის შესაბამისად, თავმოყრილი მინარევი ატომებიდან დისლოკაციების მოსაწვევტად უფრო დიდი ძაბვაა საჭირო, ვიდრე ლითონში მათი შემდგომი გადაადგილებისათვის. ძაბვას კბილის წვერზე, დენადობის ზედა ზღვარი ეწოდება, ხოლო ძაბვის სიდიდეს ბაქანზე—დენადობის ქვედა ზღვარი ანუ დენადობის ფიზიკური ზღვარი.



სურ. 25. "დენადობის კბილი" დენადობის ბაქნის წინ

რეალური პოლიკრისტალური ლითონებისათვის  $\sigma_p$ -ს და  $\sigma_e$ -ს განსაზღვრა მნიშვნელოვან მეთოდურ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამ დროს საჭიროა ძალიან მცირე სიდიდის დეფორმაციების დაფიქსირება. პრაქტიკაში უფრო ხშირად ისეთი მასალებისათვის, რომლებსაც დიაგრამაზე არ აქვს დენადობის ბაქანი ან დენადობის კბილი, დენადობის პირობითი  $\sigma_{0,2}$  ზღვარი განისაზღვრება. მისი სიდიდე ნიმუშის სამუშაო სიგრძის 0,2%-იან დეფორმაციას შეესაბამება. იმ შემთხვევაში, როდესაც შენადნობს გაჭიმვის დიაგრამაზე დენადობის ბაქანი აქვს, დენადობის  $\sigma_s$  ზღვარი (ფიზიკური) განისაზღვრება. ამ დროს პირობითი ძაბვა იმ უმცირესი დატვირთვის ტოლია, რომელზეც ნიმუშის დეფორმაცია დატვირთვის უცვლელად ხდება. დენადობის კბილის შემთხვევაში იზომება  $\sigma_{s,პ}$  დენადობის ქვედა და  $\sigma_{s,ზღ}$  დენადობის ზედა ზღვრები.

სურ. 26-ის შესაბამისად, გამოსაცდელი მასალის შედგენილობაზე, სტრუქტურაზე, ნიმუშის ფორმაზე, გამოცდის პირობებზე, საცდელი მანქანის სიხისტესა და სხვაზე დამოკიდებულებით, ექსპერიმენტული კვლევებისას, შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმის დენადობის კბილისა და დენადობის ბაქნის მიღება.



სურ. 26. დენადობის ზედა და ქვედა ზღვრების ფორმის მაგალითები

ზოგჯერ დენადობის ზღვრის შესაბამის ძაბვებზე პლასტიკური მასალების ნიმუში ტალღისებრად დეფორმირდება. დასაწყისში წარმოიქმნება კვეთის ადგილობრივი შევიწროება, რომელიც შემდეგ გადადის მეზობელ მოცულობაზე და ეს პროცესი ვითარდება მანამ, სანამ ასეთი ტალღის გავრცელების შედეგად დენადობის ბაქნის შესაბამისი საერთო თანაბარი წაგრძელება არ მოხდება.

პოლიკრისტალურ მასალებში დენადობის  $\sigma_s$  ქვედა ზღვარი მასალის მარცვლის ზომებზეა დამოკიდებული და იგი პოლი-პეტჩის შემდეგი თანაფარდობით გამოისახება:

$$\sigma_s = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d}},$$

სადაც:  $\sigma_0$  არის მაკროდრეკადობის ზღვარი, ანუ ძაბვა, რომელიც ახასიათებს პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობას კრისტალური გისოსისა და გისოსის დეფექტების მხრიდან.  $K$ —მასალის ინდივიდუალური მუდმივა მარცვაღტსასაზღვრო განმტკიცების კოეფიციენტია, რომელიც საერთო განმტკიცებაში მარცვლის საზღვრების შენატანს ახასიათებს. მას პოლი-პეტჩის კოეფიციენტსაც უწოდებენ,  $d$ —მარცვლის საშუალო ზომა პოლიკრისტალურ მასალაში.

$\sigma_0$  და  $K$  გამოცდის განსაზღვრული ტემპერატურის და დეფორმაციის სიჩქარისათვის მასალის მუდმივებია. მუდმივა  $\sigma_0$  განიხილება როგორც მარცვლის შიგნით აუცილებელი ძაბვა, ხოლო შესაკრები  $\frac{K}{\sqrt{d}}$  – როგორც ძაბვა, რომელიც საჭიროა მაცვალთსა-საზღვრო დისლოკაციების წყაროების მოქმედებაში მოსაყვანად.

განტოლებიდან ჩანს, რომ, რაც უფრო მცირეა მარცვლის ზომა, მით უფრო მაღალია მისი დენადობის ზღვარი. ამ დამოკიდებულების საფუძველს პლასტიკური დეფორმაციის დისლოკაციური მექანიზმი წარმოადგენს: მოძრავი დისლოკაციისათვის მარცვლის საზღვრები ეფექტურ ბარიერებს წარმოადგენს. განვითარებული საზღვრები ხელს უშლის დისლოკაციებისა და სრიალის ხახების გავრცელებას, მარცვლების გაჭიმვას და დეფორმაციის ადრეულ სტადიაზე მიკრობზარების წარმოქმნას. რაც უფრო მცირეა მარცვლის ზომა (იგი შეიძლება სანტიმეტრის რამდენიმე მეათასედიდან რამდენიმე მეათედის ტოლი იყოს), მით უფრო ხშირია ეს ბარიერები მოსრიალე დისლოკაციის გზაზე და, შესაბამისად, მით უფრო მეტი ძაბვაა საჭირო პლასტიკური დეფორმაციის საწყის სტადიაზე. ე. ი. მარცვლის დაწვრილმანებასთან ერთად იზრდება დენადობის ზღვარი (მასალების წვრილმარცვლოვნობა სასურველია, რადგან წვრილმარცვლოვანი ლითონის მექანიკური თვისებები უკეთესია, ვიდრე მსხვილმარცვლოვნისა. გარდა ამისა, წვრილმარცვლოვანი ლითონი ნაკლებად მყიფეა). დენადობის ზღვრისა და მარცვლის ზომის ურთიერთდამოკიდებულების საკითხი უმნიშვნელოვანესია პოლიკრისტალური მასალების განმტკიცების თეორიაში. მარცვლის ზომების ცვლის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს, რომლებიც ფართოდ გამოიყენებიან ლითონებისა და შენადნობების მექანიკური თვისებების მართვის საქმეში. მარცვალთსა-საზღვრო განმტკიცების ბუნების კვლევა დიდი ხანია ინარჩუნებს მეცნიერულსა და პრაქტიკულ აქტუალურობას. კანონი მოქმედებს ისეთი პოლიკრისტალური მასალებისათვის, რომელთა მარცვლის ზომა 1 მკმ-ს აღემატება. ნანომასა-

ღებისათვის, რომელთა მარცვლის ზომები რამდენიმე ათეული ნანომეტრია, მოცემული კანონი ამა თუ იმ ზომით ირღვევა.

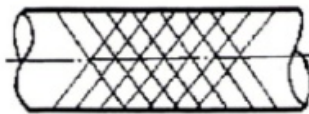
ფოლადის მუშაობის უნარი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სიმტკიცეზე, მარცვლებს შორის საკონტაქტო ზედაპირებსა და შუაშრეზე. ფერიტის ცალკეულ მარცვლებში დეფორმაციები მნიშვნელოვნად უფრო ადრე იწყება, ვიდრე ნიმუშში ძაბვები დენადობის ზღვარს მიაღწევდეს (აქედან გამომდინარე, ფართო გაგებით, ფოლადის დრეკადობის მოდული მუდმივი სიდიდე არ არის). მაგრამ ამ დეფორმაციების განვითარებას ზღუდავს საკონტაქტო ზედაპირების (უფრო მტკიცე, ვიდრე თვით მარცვალია) წინააღმდეგობები, მარცვალთშორისი შუაშრე და პერლიტური ჩანართები. პროპორციულობის ზღვრის მიღწევის შემდეგ, პლასტიკური დეფორმაციის მდგომარეობაში გადასული მარცვლების რიცხვი იმდენად დიდი ხდება, რომ მათი გავლენა გაჭიმვის დიაგრამის დახრილობას მნიშვნელოვნად ცვლის.

დენადობის ზღვარზე, დაბალნახშირბადიან და დაბალლეგირებულ ფოლადებში, პერლიტის ჩანართებისა და საკონტაქტო ზედაპირების წინააღმდეგობის უნარი მცირეა. მისი მიღწევის შემდეგ, ფერიტის მარცვლებში კრისტალთშორისი წინააღმდეგობების შემაკავებელი გავლენით დაგროვებული ენერგია იწყებს გამოვლინებას. მოხდება საერთო ძვრა და შედეგად წარმოიქმნება დენადობის ბაქანი. დენადობის ბაქნის მთელ სიგრძეზე ფოლადი თითქმის სრულიად პლასტიკურია. დენადობის ბაქნის არსებობა განპირობებულია სრიალის ერთ ზოლში დაწებული დეფორმაციის სხვა უბნებზე თანმიმდევრობითი გავრცელებით. ფოლადის დრეკადობიდან პლასტიკურობაში ასეთი მკვეთრი გადასვლის მიზეზი მდგომარეობს ფოლადის სტრუქტურის შემადგენელი კომპონენტების გავლენის თავისებურებაში (ფერიტის მაღალ პლასტიკურობაში, პერლიტისა და ცემენტიტის დრეკადობაში).

ჩვეულებრივ,  $\sigma_p/\sigma_s$  თანაფარდობა  $\approx 0.8$ -ის ტოლია. წვრილმარცვლოვან ფოლადებში ეს თანაფარდობა გაცილებით მეტია და,

ზოგ შემთხვევაში, დენადობის კბილის არსებობისას, ერთს უახლოვდება. ასეთი ფოლადები დიდი ცდომილების გარეშე შეიძლება გაიგივდეს იდეალურ დრეკად-პლასტიკურ სხეულთან, რომელიც სრულიად დრეკადია დენადობის ზღვრამდე და სრულიად პლასტიკურია დენადობის ზღვრის შემდეგ. ასეთი გაიგივება მნიშვნელოვნად ამარტივებს გაანგარიშებებს და ფოლადის მუშაობის ზღვრების ანალიზს. აღნიშნული დაშვებისას, ერთ-ღერძა დაძაბული მდგომარეობის შემთხვევაში, პლასტიკურ სტადიაზე გადასვლა ხდება მაშინ, როდესაც ნორმალური ძაბვები დენადობის ზღვრის სიდიდეს მიაღწევს. ხოლო მრავალღერძა დატვირთვისას, იგი არა ერთი ძაბვის, არამედ პლასტიკურობის პირობების დამახასიათებელი ძაბვების ფუნქციებზეა დამოკიდებული.

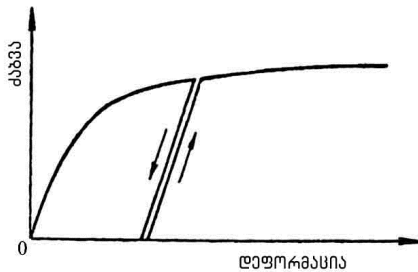
დენადობის პროცესში, ნიმუშის გაპრიალებულ ზედაპირზე, ნიმუშის ღერძის მიმართ  $\approx 45^\circ$ -იანი კუთხით დახრილი ხაზები (ლოკალიზებული სრიალის ზოლები) შეიძლება გაჩნდეს. სურ. 27-ის შესაბამისად, ეს ხაზები მხები ძაბვებით გამოწვეული კრისტალების ურთიერთმიმართ ძვრების კვალს წარმოადგენს და მათ ლიუდერს-ჩერნოვის ხაზებს უწოდებენ.



სურ. 27. ძვრის ხაზები (ლიუდერს-ჩერნოვის ხაზები)

სურ. 24 ბ, გ, დ-ს შესაბამისად, შენადნობების უდიდესი უმრავლესობის გაჭიმვის მრუდებზე ეს უბანი არ აისახება ასეთი შენადნობებისათვის, დრეკადობის ზღვრის გადალახვის შემდეგ, ნიმუშის სამუშაო ნაწილზე პლასტიკური დეფორმაცია დატვირთვის მონოტონური ზრდით ხდება.

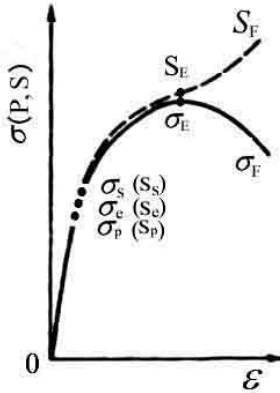
თუ დრეკად-პლასტიკური დეფორმირების რომელიმე სტადიაზე დატვირთვას მოეხსნით, მაშინ დიაგრამაზე განტვირთვის მონაკვეთი დრეკადობის პირველსაწყისი სწორხაზოვანი უბნის პარალელური ხაზით გამოისახება (რადგან დატვირთვის მოხსნით მხოლოდ დრეკადი დეფორმაცია ქრება). გამჭიმავი ძაბვის განმეორებით მოდებისას დეფორმაციის მრუდი იმავე ხაზით გააგრძელებს სვლას (დრეკადი დეფორმაციის მატება). სურ. 28-ის შესაბამისად, ძაბვის სიდიდის განტვირთვის პირველსაწყისი მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ მრუდი იმავე მიმართულებით გააგრძელებს სვლას, რომლითაც ის წავიდოდა შუალედური განტვირთვის გარეშე.



სურ. 28. დეფორმაციის განვითარების მიმართულებები ძაბვა-დეფორმაციის მრუდზე, დრეკად-პლასტიკურ სტადიაზე, შუალედური განტვირთვისა და შემდეგი დატვირთვისას

პლასტიკური დეფორმაცია ვლინდება მზარდი დატვირთვისას. ამ დროს ლითონი ცივჭედვით განმტკიცდება. შემდგომი დატვირთვებისას დრეკად-პლასტიკური დეფორმაცია და, მასთან ერთად, ცივჭედვაც სულ უფრო იზრდება და თანაბრად ნაწილდება ნიმუშის მთლიან მოცულობაში.

დეტალურად განვიხილოთ სურ. 24 ბ-ზე წარმოდგენილი, ე.წ. გაჭიმვის პირობითი და ჭეშმარიტი მრუდები.



სურ. 29. გაჭიმვის პირობითი და ჭეშმარიტი მრუდები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, გაჭიმვისას ნიმუში გრძელდება, ხოლო მისი განივკვეთი უწყვეტად მცირდება. ჭეშმარიტი ძაბვა განისაზღვრება განსაზღვრულ მომენტში არსებული დატვირთვის განივკვეთის იმ ფართობთან ფარდობით, რომელიც ნიმუშს მოცემულ მომენტში ექნება. თუ გაჭიმვის დასასრულს ნიმუშს ადგილობრივი შევიწროება ახლავს, მაშინ დატვირთვა რღვევისას უფრო ნაკლებია, ვიდრე რღვევის წინ, ნებისმიერ მომენტში. ყელის წარმოქმნა განსაზღვრავს ნიმუშის საანგარიშო ნაწილის თანაბარი დეფორმაციიდან თავმოყრილ დეფორმაციაზე გადასვლის მომენტს. ამ მომენტიდან ნიმუშის განივკვეთის ცვლილება მნიშვნელოვანი ხდება. ამ მონაკვეთზე დატვირთვის შეფარდება ნიმუშის განივკვეთის ფართობის არა საწყის, არამედ ყოველ მოცემულ მომენტში ნიმუშის განივკვეთის ფართობის სიდიდესთან, იძლევა ჭეშმარიტი ძაბვების მნიშვნელობებს. ეს ძაბვები, ბუნებრივია, განსხვავდება პირობითი ძაბვებისაგან და განსხვავდება მით უფრო მეტად, რაც უფრო პლასტიკური იქნება მასალა (რაც უფრო ძლიერ იცვლება ნიმუშის განივკვეთი საწყის განივკვეთთან შედარებით).

მიზანშეწონილია განვასხვაოთ პირობითი და ჭეშმარიტი დეფორმაციებიც. ნიმუშის სიგრძის ცვლილების ფარდობა საწყის სიგრძესთან ფარდობით წაგრძელებას, ხოლო ყოველ მოცემულ მომენტში სიგრძის ცვლილების იმ სიგრძესთან ფარდობა, რომელიც ექნება ნიმუშს მოცემულ მომენტში, ჭეშმარიტ წაგრძელებას გეიხვენებს.

ძაბვის ჭეშმარიტი დიაგრამა წარმოადგენს გაჭიმვის დიაგრამას, რომლის ორდინატაზეც გადაზომილია ძაბვა (იგი მიიღება მოცემული მომენტისათვის მოღებული ძალის ფარდობით ნიმუშის განივკვეთის უმცირეს ფართობთან), ხოლო აბსცისაზე—დატვირთვის მოცემული მომენტისათვის—უდიდესი წაგრძელება.

რღვევის ჭეშმარიტი სიმტკიცე  $S_F$  არის მაქსიმალური ძაბვა, რომელიც ნიმუშის რღვევის მომენტში  $P_F$  დატვირთვის განივკვეთის მინიმალურ  $F_F$  ფართობთან ფარდობით განისაზღვრება:

$$S_F = \frac{P_F}{F_F}$$

პირობითი  $\sigma_p$ ,  $\sigma_e$  და  $\sigma_s$  სიდიდეები, პრაქტიკულად, არ განსხვავდება ჭეშმარიტი  $\sigma_p$ ,  $\sigma_e$  და  $\sigma_s$  სიდიდეებისგან, ვინაიდან, დეფორმაციის სიმცირის გამო, ნიმუშის განივკვეთი პრაქტიკულად არ იცვლება, ანუ  $F \cong F_0$ . გაჭიმვის ჭეშმარიტ დიაგრამაზე,  $S_E$  წერტილის შემდეგ, ძაბვის შემცირება არ შეინიშნება, რადგან განივკვეთის ფართობი ნიმუშის ყელში უფრო სწრაფად მცირდება, ვიდრე დატვირთვა. აქედან გამომდინარე, საშუალო ძაბვა ამ ადგილზე იზრდება. გაჭიმვის პირობითი და ჭეშმარიტი ძაბვების დიაგრამებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება მხოლოდ ყელის წარ-

მოქმნის შემდეგ შეინიშნება. პლასტიკური დეფორმაციები თავს იყრის ნიმუშის ყელში. შესაბამისად, ლითონის ცივჭედვის ეფექტი აქ გაწვევების მომენტამდე იზრდება და მიუხედავად დატვირთვის შემცირებისა, გამჭიმავი ძაბვები ყელში იქამდე მატულობს, სანამ ნიმუში არ გაწყდება.

გაჭიმვისას დაძაბული მდგომარეობის სიმარტივე (ერთღერძულობა) ნარჩუნდება მხოლოდ ყელის წარმოქმნამდე. ყელის წარმოქმნის შედეგად, ძაბვის განაწილება განივკვეთში არათანაბარი ხდება, მასალის მარცვლები კი ამ ადგილზე არა მხოლოდ გრძივი, არამედ რადიალური და წრიული მიმართულებებითაც იჭიმება. შედეგად, ყელის შიგნით განივი ბზარი წარმოიქმნება და ნიმუშის მთლიანობა ირღვევა.

ყოველდღიურ პრაქტიკაში სარგებლობენ პირობითი ძაბვებით (ჭეშმარიტი ძაბვები არ განისაზღვრება). ითვლება, რომ ნიმუშის გამოცდის პროცესში მისი საწყისი განივკვეთი  $F_0$  "უცვლელი" რჩება. აქედან გამომდინარე, სიმტკიცის მახასიათებლების გამოთვლა ხდება შესაბამისი დატვირთვების ნიმუშის განივკვეთის საწყის ფართობთან ფარდობით.

პრაქტიკულად, ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით, დეფორმაციის მთელი პროცესი შეიძლება დაიყოს თანმიმდევრობით მიმდინარე სამ სტადიად. ესენია:

- ა) დრეკადი დეფორმაციის სტადია (რომელზეც ძალასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება ჰუკის კანონით განისაზღვრება);
- ბ) დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციის სტადია (ძალასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება მრუდით, რომლის ხასიათი მასალის თვისებებზე, დატვირთვის მოდების პირობებსა და

დეფორმაციის დიაგრამის კოორდინატების შერჩევაზეა დამოკიდებული);

გ) რღვევის სტადია.

დეფორმაციის პროცესის ასეთი დაყოფა პირობითია, რადგან ამ სტადიების ერთმანეთისგან მკაფიოდ გამიჯვნა შეუძლებელია. ასე მაგალითად, ძალასა და დეფორმაციას შორის პრაქტიკულად სწორხაზოვანი დამოკიდებულების უბანზე, მაკროსკოპულად დრეკად არეში, მეტალოგრაფიული და რენტგენული მეთოდებით შესაძლებელია, პლასტიკურად დეფორმირებული ცალკეული მარცვლების გამოვლენა პოლიკრისტალურ სხეულებში. დეფორმაციის ასეთი არაერთგვაროვნება შენარჩუნებულია პლასტიკურ არეშიც. აქ, სრულ რღვევამდე დიდი ხნით ადრე, სხეულის ზედაპირზე, რღვევის ცალკეული ბზარები შეინიშნება. მიუხედავად აღნიშნულისა, დეფორმაციის პროცესის ზემოთ მოყვანილი დაყოფა მისაღებია, რადგან, მექანიკური დატვირთვებისას, ეს დაყოფა მასალის ქცევის ძირითადი კანონზომიერებების გამიჯვნის შესაძლებლობას იძლევა.

ზოგადად, იდეალურად დრეკადი და პლასტიკური სხეულები ბუნებაში არ არსებობს. ყოველგვარ დრეკად დეფორმაციას თან ახლავს თუნდაც უსასრულოდ მცირე სიდიდის პლასტიკური დეფორმაცია. სხეულის სრული დეფორმაცია ყოველთვის დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების მდგენელებისაგან შედგება.

დრეკადად დეფორმირების პირდაპირი შედეგი კონსტრუქციებისა და ბუნებრივი ობიექტების დრეკადი დეფორმაციებია. იგი ადვილი აღმოსაჩენია. მაგ., მატარებლის ლითონის ხიდზე მოძრაობისას დრეკადი დეფორმაციის შედეგი ხიდის ძაგბავით აისახება. ხანდახან შეიძლება გავიგონოთ თუ როგორ წკარუნობს

კარადაში ჭურჭელი ქუჩაზე მძიმე სატრანსპორტო საშუალებების გავლისას. ყველა სიმებიანი ინსტრუმენტის დრეკადი რხევები, ასე თუ ისე, პაერის ნაწილაკების რხევებად (ბგერებად) გარდაიქმნება. მიწისძვრა იწვევს დედამიწის ქერქის დრეკად რხევებს. ძლიერი მიწისძვრისას, დრეკადი დეფორმაციის გარდა, პლასტიკურიც აღიძვრება, ხოლო ზოგჯერ დედამიწის ქერქს ბზარებიც უჩნდება. შეიძლება ითქვას, რომ ნებისმიერი დეფორმაციის პროცესში ყოველთვის წარმოიქმნება დრეკადი დეფორმაცია. დრეკადი დეფორმაციები სიდიდით 1 %-ზე ნაკლებია, ხოლო პლასტიკური დეფორმაციები—5 - 10 % და მეტი. ამიტომ, ჩვეულებრივი წარმოდგენა დეფორმაციაზე პლასტიკურ დეფორმაციას გულისხმობს. სიმცირის მიუხედავად, დრეკადი დეფორმაციები ტექნიკაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. კოსმოსური ხომალდების, ავიალაინერების, წყალქვეშა ნაგების, ტანკერების და ა.შ. გაანგარიშება სიმტკიცეზე, პირველ რიგში, ნაკეთობების საექსპლუატაციო დატვირთვებისას წარმოშობილი მცირე დრეკადი დეფორმაციების მეცნიერულ ანალიზს წარმოადგენს.

#### 4.5 ნარჩენი დაძაბვა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, გარე ძალების მოქმედებისას სხეული დეფორმირდება და დაძაბულ მდგომარეობაში გადადის. დრეკადი დეფორმაციისას ძალების მოხსნის შემდეგ მისი დაძაბული მდგომარეობა ქრება, ხოლო დრეკად-პლასტიკურად დეფორმირებისას ინარჩუნებს, ე.წ. ნარჩენ დაძაბულობას.

სხეულში ნარჩენი დაძაბულობის წარმოქმნის მიზეზი პლასტიკური დეფორმაციის განაწილების არათანაბრობაა. პოლიკრისტალურ სხეულში, ცალკეული მარცვლის მოუწესრიგებელი განლაგების გამო, სხეულის მოცულობის არაერთგვაროვანი პლასტიკური დეფორმაცია ვითარდება. ერთმანეთის მომიჯნავე მარცვლები სიდიდით და მიმარ-

თულებით სხვადასხვანაირად დეფორმირდება და ნარჩენი დაბეჭდვის წარმოქმნას იწვევს. ნარჩენი დაბეჭდვი პირობითად შემდეგ სახეებად იყოფა:

- ა) I გვარის ნარჩენი დაბეჭდვი. დაბეჭდვი, რომლებიც აღიძვრება სხეულის მსხვილ ზონებს შორის (სხეულის მაკროსკოპული მოცულობების ზღვრებში);
- ბ) II გვარის ნარჩენი დაბეჭდვი. დაბეჭდვი, რომლებიც მომიჯნავე მარცვლებს შორის და მარცვლის შიგნით აღიძვრება (სხეულის მიკროსკოპული მოცულობების ზღვრებში);
- გ) III გვარის ნარჩენი დაბეჭდვი. დაბეჭდვი აღძრული სხეულის შიგა მოცულობაში, რამდენიმე კრისტალური გისოსის შემცველ მოცულობაში.

ნებისმიერი ნარჩენი დაბეჭდვი ხასიათდება ერთი და იმავე ბუნებით. პოლიკრისტალურ სხეულში, მარცვლების კრისტალური გისოსის წონასწორობის დარღვევისას, წარმოიქმნება დაბეჭდვი მდგომარეობა. იმის გამო, რომ დეფორმირებული კრისტალური გისოსი ყოველი მხრიდან შევიწროებას განიცდის გარემომცველი მასალისაგან, გარე დაბეჭდვის მოხსნის შემდეგ საწყის-წონასწორულ მდგომარეობას ვერ უბრუნდება. ამ დროს სხეულში წარმოქმნილ დაბეჭდვებს ნარჩენი დაბეჭდვი ეწოდება. ასეთი დაბეჭდვის ინტეგრირება იწვევს რამდენიმე კრისტალური გისოსის ზღვრებში III გვარის, რამდენიმე მარცვლის ზღვრებში II გვარის, ხოლო მაკრომოცულობაში I გვარის დაბეჭდვის წარმოქმნას.

ნარჩენი დაბეჭდვის კვლევა, ძირითადად, რენტგენოგრაფიული მეთოდით ხდება. იგი საშუალებას იძლევა შეფასდეს მარცვლის კრისტალური გისოსის დამახინჯების ხარისხი და ამის მიხედ-

ვით განისაზღვროს ნარჩენი ძაბვები რაოდენობრივად. ნარჩენი ძაბვების მაკროსკოპული განაწილების შესწავლა მექანიკური მეთოდებით ხდება. იგი შეისწავლება მასალათა გამძლეობის კურსში გამოყენებული დაძაბული და დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასების საერთო მეთოდებით. ჩვენ (მოკლედ) განვიხილავთ მხოლოდ ნარჩენი ძაბვების განსაზღვრის მექანიკურ მეთოდებს. მასალაში გარე ძალებით გამოწვეული დაძაბული და დეფორმირებული მდგომარეობა განიხილება მასალათა გამძლეობის კურსში იმ სამუშაო ჰიპოთეზების გათვალისწინებით, რომლებიც რეალური თვისებების გასაშუალების უფლებას იძლევა:

I ჰიპოთეზა. ცალკეული მასალისათვის სხეული ითვლება სრულიად დრეკადად განსაზღვრულ გარკვეულ ზღვრამდე (ე.ი. მხედველობაში არ მიიღება ამ ზღვრამდე აღძრული უმნიშვნელო სიდიდის პლასტიკური დეფორმაცია);

II ჰიპოთეზა. სხეული მთელ მოცულობაში (მათ შორის უსასრულოდ მცირე, ელემენტარულ მოცულობაშიც) ერთგვარონად და იზოტროპულად ითვლება;

III ჰიპოთეზა. მასალა ავსებს სხეულის მთლიან მოცულობას (ფორებისა და სიცარიელეების გარეშე).

აღნიშნული ჰიპოთეზები საშუალებას იძლევა, რომ გარე ძალების მოქმედებით გამოწვეული სხეულის დაძაბული და დეფორმირებული მდგომარეობა გაანალიზდეს მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.

პოლიკრისტალებში თითოეული მარცვალი წარმოადგენს კრისტალს, რომელიც მისთვის ნიშანდობლივი ანიზოტროპულობით ხასიათდება. პოლიკრისტალებში მარცვლების კრისტალოგრაფიული ღერძების ორიენტაცია, როგორც წესი, მოუწესრიგებელია. გარე დატვირთვების მოქმედებით ცალკეულ მარცვალში, მათი ორიენტაციიდან გამომდინარე, შესაბამისი დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები აღიძვრება. დეფორმირებული მარცვალი ზემოქმედებს მეზობელ მარცვალზე. პოლიკრისტალის საერთო

დეფორმაცია ცალკეული მარცვლების დეფორმაციების ჯამს წარმოადგენს. მარცვლების დიდი რაოდენობა და პოლიკრისტალში მათი შემთხვევითი ორიენტაცია უფლებას იძლევა, რომ პოლიკრისტალი განხილულ იქნეს კვაზიტროპულ სხეულად.

მანამ, სანამ პოლიკრისტალური სხეულის დეფორმაცია მცირეა, მისი კვაზიტროპულობა შენარჩუნდება. მას შემდეგ რაც სხეულში მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაცია მოხდება, ცალკეული მარცვლის კრისტალოგრაფიული ღერძების მიმართულებები ერთმანეთს უახლოვდება. მარცვალი გაიჭიმება პოლიკრისტალის დეფორმაციის მიმართულებით და გახდება ანიზოტროპული სხეული. ამ ფაქტის საილუსტრაციოდ გამოდგება ცივნაგლინი ფოლადის ფურცელი. გლინვის მიმართულების გასწვრივ და განივად მისი მექანიკური თვისებები ერთმანეთისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება.

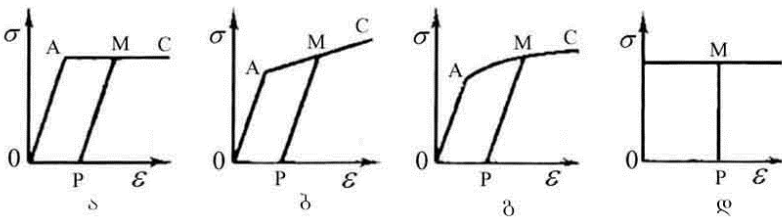
ჩვეულებრივ, ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ ყოველთვის შეინიშნება არატოლდერძა, გაჭიმული მარცვლები-ტექსტურა. პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ მარცვალი ხასიათდება დამახინჯებული კრისტალოგრაფიული გისოსით. იგი ცდილობს პირველივე შესაძლებლობისას თავისი საწყისი-ნორმალური-ფორმა დაიბრუნოს. ეს მოვლენა ცნობილია როგორც მობრუნება. პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად, ძვრისა და დაორეულების სიბრტყეებზე დისლოკაციის გადაადგილებით და თავმოყრით, ლითონის მარცვალი ნაწევრდება უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებად.

დეფორმაციის პროცესში ნებისმიერი კრისტალური მასალა განიცდის განმტკიცებას. ტერმინი დეფორმაციული განმტკიცება (ციფტედვა) ნიშნავს, რომ უკვე პლასტიკურად დეფორმირებული კრისტალის შემდგომი პლასტიკური დეფორმირებისათვის აუცილებელია საწყისი დეფორმაციის გამომწვევ ძაბვებზე უფრო მეტი სიდიდის ძაბვები. დეფორმირების პროცესში, მასალის დეფორმაციული განმტკიცება, დნობის ტემპერატურასთან შედარებით, საკმაოდ უფრო დაბალ ტემპერატურებზე ხდება. ასეთ

შემთხვევაში ამბობენ, რომ მასალამ ცივი პლასტიკური დეფორმაცია განიცადა, ანუ მასალა დეფორმირდა განმტკიცებით, განუმტკიცებლობის გარეშე.

ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ პლასტიკურად დეფორმირებისას ლითონები (და სხვა მყარი მასალები) სხვადასხვაგვარად იქცევიან. არსებითი მნიშვნელობა დატვირთვის სინქარეს ენიჭება. მაღალ ტემპერატურებზე (ზოგ შემთხვევაში ოთახის ტემპერატურაზეც კი) მყარი სხეულები ცოცვადობის და სხვა მერმექმედების უნარს ავლენენ. პლასტიკურობის თეორია რეალური მასალების რთული ქცევების იდეალიზებას ახდენს. ამ მიზნით იგი სხვადასხვაგვარ ჰიპოთეზას ეყრდნობა. გამოყენების სხვადასხვა სფეროსთვის სხეულის პლასტიკურობის სხვადასხვაგვარი მოდელი გამოიყენება. სურ. 30 ა, ბ, გ-ს შესაბამისად, ჩვეულებრივ, პლასტიკურობის თეორიაში, ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამის აპროქსიმაცია ორი უბნისგან შემდგარი სქემებით ხდება, ხოლო, სურ. 30 დ-ს შესაბამისად, ფართოდ გამოიყენება “ხისტად პლასტიკური” სქემაც. მასზე დრეკადი დეფორმაცია (პლასტიკურ დეფორმაციასთან შედარებით მნიშვნელოვანი სიძირის გამო) უგულებელყოფილია.

OA მონაკვეთი მასალის დრეკად მდგომარეობას ასახავს, ხოლო AC პლასტიკური მდგომარეობის შესაბამის მონაკვეთს.



სურ. 30.  $\sigma - \epsilon$ -ის დამოკიდებულების იდეალიზებული სქემები:

- ა. იდეალიზებული პლასტიკური მასალა;
- ბ. მასალა ხაზობრივი განმტკიცებით;
- გ. მასალა არახაზობრივი განმტკიცებით;
- დ. ხისტად პლასტიკური მასალა

პლასტიკური დეფორმირებისას მასალის დაძაბული და დეფორმირებული მდგომარეობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დატვირთვის ისტორიაზე. თუ  $M$  წერტილში მოვხსნით დატვირთვას, მაშინ დიაგრამაზე განტვირთვის მონაკვეთი დრეკადობის სწორხაზოვანი უბნის პარალელური  $MP$  ხაზით გამოისახება. ნიმუშის განტვირთვის შემდეგ, მისი მეორეჯერ დატვირთვისას, მასალის დრეკადობის ზღვრის მაჩვენებელი, განმტკიცების ანუ ციკლედვის ხარჯზე, იზრდება ( $A$  წერტილის ნაცვლად  $M$  წერტილი).  $M$  წერტილის შესაბამისი სრული დეფორმაცია დრეკადი და პლასტიკური ნაწილებისგან შედგება:  $\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p$ .

## თაზი V ლითონური მასალების მექანიკური გამოცდები

### 5.1 მასალების გამოცდის ზოგადი დახასიათება

მექანიკური გამოცდები ემსახურება მექანიკური თვისებების განსაზღვრას, ე.ი. გარე ძალების მოქმედების მიმართ წინააღმდეგობის გაწევის უნარის განსაზღვრას. გამოცდის თითოეული სახე ავლენს მექანიკურ თვისებებს, რომლებიც გვიჩვენებენ მასალის უნარს განსაზღვრული სახით წინააღმდეგობა გაუწიოს ამა თუ იმ ძალოვან ზემოქმედებას. მექანიკური გამოცდების მეთოდები, როგორც წესი, სტანდარტებით ან უწყებრივი ინსტრუქციებით რეგლამენტირდება. მათში მოცემულია შესაბამისი გამოცდის მეთოდი და ტერმინების ზუსტი განსაზღვრებები. სტანდარტებში, ჩვეულებრივ, ნაჩვენებია ძირითადი მოთხოვნები საცდელ მანქანებზე, მითითებულია ნიმუშის ფორმა და ზომები, განსაზღვრულია მექანიკური სიდიდეების ძირითადი ცნებები, გამოცდის ჩატარების და მექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშების წესი. ყოველივე ეს აუცილებელია სხვადასხვა ორგანიზაციის მიერ ერთი და იმავე პროდუქციის გამოცდების შედეგების შესაპირისპირებლად. გამომცდელი შეიძლება იყოს მრავალი, მაგრამ გამოყენებული გამოცდის მეთოდები უნდა იყოს ერთნაირი.

ლითონური მასალის მექანიკური თვისებების შესწავლისას, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია მისი მაკრო- და მიკროაგებულების წარმოდგენა. გარდა ამისა, უნდა შეფასდეს ის დაძაბული მდგომარეობა, რომელიც იქმნება გამოცდისას ლითონში. და ბოლოს, აუცილებელია ვიცოდეთ საცდელი მოწყობილობების ის თვისებები, რომლებიც მექანიკური გამოცდების შედეგებზე ახდენენ გავლენას.

მასალების გამოცდა, ძირითადად, მანქანა-მოწობილობებით ხდება. ამ დროს განისაზღვრება მათი ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებები. გამოცდები ტარდება სხვადასხვა მიზნით: ნედლეულის თვისებების განსასაზღვრად, წარმოების შუალედურ ეტაპებზე ნახევარფაბრიკატების ხარისხის საკონტროლოდ, მზა პროდუქციის შესამოწმებლად, სამეცნიერო კვლევების და სხვ. მასალების გამოცდისას გამოიყენება კვლევის მექანიკური და ფიზიკური ქიმიური მეთოდები. ისინი იყოფა საკონტროლო, ნაკეთობის მთლიანობის მრღვევ და არამრღვევ მეთოდებად. მრღვევი მეთოდი გამოცდის ობიექტის დაზიანებას ან სრულ რღვევას იწვევს, არამრღვევი კი ობიექტის შემდგომი გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა.

მასალების გამოცდის ძირითადი მეთოდებია:

- ა) **მექანიკური:** გაჭიმვა, კუმშვა, გრეხა, ღუნვა, დარტყმითი ღუნვა, ჭრა, სისხლის განსაზღვრა, დაღლილობა და სხვა;
- ბ) **ფიზიკური:** ელგამტარობის, თბოგამტარობის, ყინვაგამძლეობის, მაგნიტური და სხვ. თვისებების განსაზღვრა;
- გ) **ქიმიური:** ქიმიური შედგენილობის, ქიმიური ზემოქმედებისადმი წინააღმდეგობის უნარის, კერძოდ, ჟანგვის და სხვ. თვისებების განსაზღვრა;
- დ) **სტრუქტურული:** მაკროსტრუქტურის, მიკროსტრუქტურის (ლითონებისთვის მეტალოგრაფიული) და კრისტალური სტრუქტურის (უპირატესად, რენტგენული სხივებით) განსაზღვრა.

მასალების გამოცდას შეიძლება მიეკუთვნოს აგრეთვე სხვადასხვა ტექნოლოგიური სინჯები, რომელთა საშუალებითაც მოწმდება მასალის წინააღმდეგობის უნარი დეფორმაციის, ტემპერატურული, ქიმიური და სხვა ზემოქ-

მედებებისადმი, ასევე ტექნოლოგიური დამუშავებისადმი დაქვემდებარების უნარი.

პრაქტიკაში ლითონური მასალების მუშაობის პირობები მრავალგვარია. შესაბამისად, მათი ცალკეული მექანიკური მახასიათებლის მისაღებად აუცილებელია სხვადასხვაგვარი მექანიკური გამოცდა. მექანიკური გამოცდების სახეების კლასიფიკაცია შეიძლება შემდეგნაირად:

1. გარე ზემოქმედების ხასიათიდან გამომდინარე:
  - ა) ხანმოკლე გამოცდები;
  - ბ) ხანგრძლივი გამოცდები.
2. დაძაბული მდგომარეობის სახიდან გამომდინარე:
  - ა) გამოცდები გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე, ჭრაზე;
  - ბ) გამოცდები რთული დაძაბული მდგომარეობის პირობებში.
3. ტექნოლოგიური გამოცდები:
  - ა) გამოცდები პლასტიკურობის კონტროლისათვის;
  - ბ) სისაღის გაზომვა;
  - გ) გამოჭიმვაზე გამოცდა.
4. გამოცდები ცვლადი დატვირთვით:
  - ა) გამოცდები დაღლილობაზე;
  - ბ) გამოცდები სტატიკურ დაღლილობაზე.
5. დარტყმითი გამოცდები:
  - ა) დარტყმით გაჭიმვაზე გამოცდები;
  - ბ) ღუნვით დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდები;
  - გ) განმეორებითი დარტყმებით გამოცდები.
6. ნატურული გამოცდები:
  - ა) სტენდებზე გამოცდები;
  - ბ) მზა ნაწარმის გამოცდა.

ლითონების მაკრომექანიკური გამოცდებისას, როგორც წესი, დაძაბულ მდგომარეობაზე დაკვირვება და გაანგარიშება მაკროსკოპულ მოცულობებზე ხდება. ყველა სახის მექანიკური გამოცდისას, ლითონის ნიმუში, შესაძლებლობისამებრ, იმავე გარე გავლენას ექვემდებარება როგორც რეალური ნაკეთობა ექსპლუატაციისას. გამოცდებით მიღებული მექანიკური თვისებების მახასიათებლები პირობითია, ვინაიდან ისინი გამოცდის პირობებზეა დამოკიდებული. შედარებადი მონაცემების მისაღებად გამოცდის მეთოდების უნიფიცირება ხდება რეკომენდაციებით ან წესებით, ან საუწყებო, ეროვნული და საერთაშორისო სტანდარტებით.

## **5.2 ლითონური მასალების მექანიკური გამოცდების დანიშნულება და ძირითადი ტიპები**

ლითონების მექანიკური გამოცდების განხილვის დაწყებამდე აუცილებელია ამ გამოცდების საერთო სურათის გარკვევა. კონსტრუქციების და საინჟინრო ნაგებობების დაპროექტებისას აუცილებელია მასალის ქცევის ხასიათისა და შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლების ცოდნა. მანქანათა ნაწილების და ნაგებობის ან მისი ცალკეული ელემენტის სიმტკიცის, ან სიხისტის შემოწმება ხდება მასალათა გამძლეობის მეთოდებით. ამ მეთოდების საანგარიშო ფორმულებში გამოიყენება მასალის მექანიკური თვისებების მახასიათებლები—დრეკადობის მოდული  $E$ , დენადობის ზღვარი  $\sigma_{0.2}$ , პუასონის კოეფიციენტი  $\nu$  და სხვ. ეს მახასიათებლები საკვლევი მასალიდან დამზადებული სპეციალური ნიმუშების მექანიკური გამოცდებით განისაზღვრება. ყველაზე ხშირად გამოიყენება ლითონების ერთდერძა გაჭიმვა. ამ დროს ლითონი ხაზობრივ დაძაბულ მდგომარეობა-

ში იმყოფება, რაც მანქანათა ნაწილებში და ნაგებობებში იშვიათად ხდება. ე.ი. ლითონის სასამსახურო თვისებები ხშირად განსხვავდება იმ პირობებისგან, რომელსაც იგი მექანიკური გამოცდებისას ექვემდებარება. აქედან გამომდინარე, მექანიკური გამოცდებისას ცდილობენ გამოიყენონ ისეთი მეთოდები (გრეხა, ღუნვა, ნიშანცვლადი დატვირთვები და ა.შ.), რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელი იქნება მექანიკური გამოცდების პირობების სასამსახურო პირობებთან მიახლოება. გამოცდის ზღვრული შემთხვევა ლითონების სასამსახურო პირობებში ანუ ნატურული სახით გამოცდაა (იგი ძვირია და დიდ დროს მოითხოვს).

ლითონის სასამსახურო პირობების ასახვის მიზნით, ნიმუშებს ისეთ პირობებში ცდიან, რომლის დროსაც სივრცული დაძაბული მდგომარეობა იქმნება. ამ მიზნით, ჩვეულებრივ, ნიმუშის ფორმის მკვეთრი ცვლილებები (რგოლური ამონაწარხები, ნახვრეტები და სხვადასხვაგვარი ნახვრები) გამოიყენება. ასეთ უბნებში წარმოიქმნება ძაბვების კონცენტრაციების, ბრტყელი და სივრცული დაძაბული მდგომარეობების მკვეთრი გრადიენტები. ამის გარდა, ლითონის მუშაობის სასამსახურო პირობებში გათვალისწინებული უნდა იქნეს გარემოს გავლენაც. ხშირად გარემო გამოსაცდელი მასალის მიმართ ქიმიურად აგრესიულია და აჩქარებს მის რღვევას (კოროზია, მაღალი და დაბალი ტემპერატურების მოქმედება და სხვ.).

ლითონების მექანიკური გამოცდების პირობების გართულება ლაბორატორიულ გამოცდებს, გარკვეულ წილად, მის ნამდვილ სასამსახურო პირობებთან აახლოებს. ეს საშუალებას იძლევა, უფრო სრულად დახასიათდეს ლითონის ვარგისობა განსაზღვრული კონსტრუქციისათვის. ასე ხდე-

ბა ლითონის ”საკონსტრუქციო სიმტკიცის” შეფასება. ლაბორატორიული გამოცდების სასამსახურო პირობებთან მი-ახლოების მცდელობა მას შემდეგ გართულდა, რაც გაირ-კვა, რომ ლითონის მექანიკური თვისებების მახასიათებელს წარმოადგენს, აგრეთვე, მასში უკვე ჩასახული ბზარის გავ-რცელებაზე რეაგირების უნარი.

მექანიკური გამოცდებით ვლინდება მასალის უნარი, წინა-აღუდგეს დეფორმაციას ან დეფორმირდეს ძალის ზემოქმე-დებით. მათი საშუალებით დგინდება ზღვრები სადამდეც შეუძლია საკვლევ ობიექტს დაურღვევლად აიტანოს დატ-ვირთვები. ამ თვისებების შესწავლა მექანიკური გამოცდე-ბის ერთიანი მეთოდებით ხდება. ისინი არ არიან დამოკი-დებულნი მასალის ქიმიურ შედგენილობაზე, სტრუქტურაზე, შენადნობებში მინარევებისა და აღნაგობის მანკების არსე-ბობაზე. ეს კი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ამ ფაქ-ტორების გავლენა შენადნობების დეფორმირებადობასა და სიმტკიცეზე. გარდა ამისა, მექანიკური თვისებების მახასი-ათებლები სხვადასხვა შენადნობის ურთიერთშედარების საშუალებას იძლევა. მექანიკური მახასიათებლების მიხედ-ვით შესაძლებელია თვალყური ვადევნოთ ამ თვისებებზე შენადნობის ცალკეული კომპონენტის ან მისი დამუშავების პირობების მოქმედებას.

ლაბორატორიული მექანიკური გამოცდებით შეიძლება კონ-სტრუქციის სიმტკიცის მხოლოდ მიახლოებითი მნიშვნელობების განსაზღვრა. ამის გამო, კონსტრუქციის სიმტკიცის გათვლისას გამოიყენება სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი. იგი კონსტრუქ-ციის რღვევამდე გამოცდით ან საექსპერტო შეფასებებით განი-საზღვრება. ამასთან ძველი მასალის ნაცვლად გაჭიმვაზე გამოც-დების შედეგად გამოვლენილი უკეთესი მექანიკური მახასიათებ-ლების მქონე ახალი მასალის გამოყენება სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის პროპორციულად შემცირების გარანტიას არ იძ-

ლევა. აქ უნდა აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციების რღვევამდე გამოცდებისას განისაზღვრება კონსტრუქციის რღვევის დატვირთვა, თუმცა, სინამდვილეში, კონსტრუქციის მტყუნება ხდება უკვე კონსტრუქციის მასალის დრეკადობის ზღვრისას, როდესაც გამოჩნდება პლასტიკური დეფორმაცია. ამიტომ, ასეთი გამოცდებისას სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი საორიენტაციოდ გვევლინება.

სიმტკიცის მარაგის გაზრდა ზედმეტი მასალის ხარჯვას, კონსტრუქციის დამძიმებას და გაძვირებას იწვევს. ამასთან, არ არსებობს 100%-იანი გარანტია იმისა, რომ კონსტრუქცია მოცემული (საექსპლუატაციო) დროის განმავლობაში გაუძლებს სამუშაო დატვირთვებს. ამის გამო, უფრო საპასუხისმგებლო ნაკეთობებისათვის ნატურულ გამოცდებს იყენებენ. ასეთი გამოცდებისას, ექსპლუატაციის მოსალოდნელ დატვირთვებთან ხასიათით და მნიშვნელობით შესაბამის დატვირთვებს იყენებენ.

დეტალების მუშაობის პირობების გათვალისწინებით შეირჩევა მექანიკური გამოცდების სახეები და შესაბამისი ნიმუშები. მექანიკური თვისებების მახასიათებლები სხვადასხვა ფორმის ნიმუშის მექანიკური გამოცდის შედეგებით განისაზღვრება. მოქმედი დატვირთვის დროში ცვალებადობის მიხედვით შემდეგი მექანიკური გამოცდები არსებობს:

1. სტატიკური: გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა, გრეხა. სტანდარტული ნიმუშის სტატიკური გამოცდა მის სრულ რღვევამდე, მასზე მდოვრედ მზარდი დატვირთვით ხდება. სტატიკური გამოცდისას დატვირთვის სიჩქარე  $10^{-5}$ – $10^{-2}$  მწმ<sup>-1</sup> ზღვრებში იცვლება. ამასთან, ძალის გარდამქნელი ნებისმიერ დროს შეიძლება ნიმუშზე მოდებული დატვირთვის განსაზღვრა, ხოლო გადაადგილების ან დეფორმაციის გარდამქმნელით—დეფორმაციის გაზომვა;

2. დინამიკური: დარტყმითი სიბლანტე, სისხლის დინამიკური მეთოდებით განსაზღვრა. დინამიკურია ისეთი გამოცდა, რომლის დროსაც გამოსაცდელ მასალაზე დარტყმითი ან ძალიან სწრაფად მზარდი ძალები მოქმედებს. დინამიკური გამოცდის ხანგრძლივობა მეასედ წმ-ს არ აღემატება, ხოლო დეფორმირების სიჩქარე 3–5 მ წმ<sup>-1</sup>-ის ტოლია;

3. დაღლილობით ანუ განმეორებით ცვლადი დატვირთვა–დაღლილობით რღვევა. ექსპლუატაციის ან გამოცდის პროცესში მასალაზე (ნიმუშზე) მოდებული სიდიდითა და მიმართულებით მრავალჯერადი ცვლადი (ციკლური) დატვირთვებით გამოწვეული რღვევის კვლევა.

ცალკე ჯგუფს წარმოადგენს ხანგრძლივი მაღალტემპერატურული მექანიკური გამოცდები (ცოცვალობაზე, ხანგრძლივ სიმტკიცეზე, რელაქსაციაზე). მოთხოვნიდან გამომდინარე, მექანიკური გამოცდები ტარდება დაბალ, ნორმალურ და მაღალ ტემპერატურებზე სხვადასხვა აგრესიულ გარემოში, ჩანაჭრებითა და საწყისი ბზარებით, არასტაციონარულ რეჟიმებში, რადიაქტიური დასხივებისას, აკუსტიკური ზემოქმედებისას და სხვ.

ლითონების მექანიკური გამოცდები განკუთვნილია იმისათვის, რომ ცდით შეფასდეს მათი ის ფიზიკური თვისებები, რომლებიც უშუალოდ ახასიათებენ მექანიკურ სიმტკიცეს (სწორედ ამის გამო იწოდებიან მექანიკურ თვისებებად). ჩვენ არ შევუდგებით მექანიკური სიმტკიცის მეტად რთული და ჯერ კიდევ ბოლომდე გაურკვეველი ფიზიკური ბუნების ახსნას. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ ტექნიკაში იგი მიღებულია როგორც მასალის უნარი, წინ აღუდგეს მექანიკურ რღვევას ან დაურღვეველად გაუძლოს დეფორმირებას. სიმ-

ტკიცის შეფასება ხდება ნიმუშზე მოდებული ძალების სიდიდით, ძაბვებით, მუშაობით (რომელსაც უძლებს ლითონი დატვირთვისას დარღვევამდე ან დეფორმაციის რომელიმე მნიშვნელობამდე) ან მოდებული დატვირთვით.

მიუხედავად მეცნიერთა მუდმივი მისწრაფებისა, მექანიკური სიმტკიცე გამოესახათ განზოგადებული გამოსახულებით, დაძაბული მდგომარეობისგან დამოუკიდებლად, ეს ჯერ კიდევ ვერ ხერხდება. ლითონების მექანიკურ სიმტკიცეს დღემდე ახასიათებენ შედგენილობის, აღნაგობის თავისებურებების, მიღების მეთოდების, დამუშავების და, საერთოდ, მისი "ტექნოლოგიური წინაისტორიის" გათვალისწინებით. ამასთან, მექანიკური სიმტკიცის დახასიათება მიუღებელია დატვირთვისას ლითონში წარმოქმნილი დაძაბულობების სხვადასხვა მდგომარეობებთან კავშირის გარეშე. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ლითონების მექანიკური თვისებების კვლევის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას. ამ ამოცანის მიახლოებით გადასაწყვეტად შეისწავლება მექანიკური თვისებების სხვადასხვა მახასიათებელი და გამოიყოფა მათ შორის ძირითადი, რომელიც, წინასწარ წარმოდგენას ქმნის დანარჩენებზე.

ლითონების მექანიკური თვისებების დასადგენი გამოცდები მიზნად ისახავს არა მარტო ყველაზე თვალსაჩინო, თეორიულად დასაბუთებული მაჩვენებლის დადგენას, არამედ ისინი დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონე მთელი რიგი ამოცანების კვლევადა. გამოცდებისას უნდა გამოვლინდეს სხვადასხვა ცდების მონაცემები: კონსტრუირებისთვის (სიმტკიცის ტიპური საანგარიშო), ლითონების ექსპლუატაციისთვის სპეციალურ პირობებში (საკვლევ პირობებში სიმტკიცის მახასიათებლების დასადგენი), განსაკუთრებით დაბალი და მაღალი ტემპერატურებისთვის (ტემპერატურის ხანგრძლივი

ზემოქმედების დასადგენი), სხვადასხვაგვარი დინამიკური, ვიბრაციული და რთული დაძაბული დატვირთვებისთვის (დატვირთვის პირობების გავლენის დასადგენი) და საწარმოში ლითონის ხარისხის მასობრივი კონტროლისთვის.

ნებისმიერი მექანიკური გამოცდა წარმოადგენს ექსპერიმენტს, რომელიც გარკვეულ ფიზიკურ პირობებში ნაკეთობებზე ან იმავე მასალისგან დამზადებულ ნიმუშებზე ამა თუ იმ დაძაბულ ან დეფორმირებულ მდგომარეობებს აღაწარმოებს. გამოცდებისას მდგომარეობების აღწარმოება გრძელდება ნიმუშის რღვევამდე ან დეფორმაციის განსაზღვრულ ხარისხამდე.

ნიმუშის დატვირთვის პირობებიდან (დაძაბული მდგომარეობის ხასიათი, გამოცდის ტემპერატურა, დატვირთვის სიჩქარე, გამოცდის გარემო და ა.შ.) გამომდინარე, ერთი და იგივე ლითონი შეიძლება დაირღვეს მყიფედ (მცირე დეფორმაციით ან პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე) ან პლასტიკურად (ან ბლანტად მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციით). სხვა სიტყვებით, ლითონი შეიძლება იყოს მყიფე ან პლასტიკურ (ბლანტ) მდგომარეობაში.

მექანიკური გამოცდებისას უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია ლითონის დაძაბული მდგომარეობის სახე. პრაქტიკაში განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება მარტივი ერთღერძა გაჭიმვის ტიპი. (ლითონების სტატიკური გამოცდებისას ნიმუში მუდმივი ან ნელა და მდოვრედ მზარდი ძალით-კვაზისტატიკურად-იტვირთება. ამ დროს განისაზღვრება დრეკადობა, პლასტიკურობა, წინაღობა ძაბვებით გამოსახული მცირე და მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციებისადმი, რღვევისადმი წინაღობა). ნაკლებად გამოიყენება სხვა მარტივი დაძაბული

მდგომარეობები: ერთდერძა კუმშვა, ბრტყელი ღუნვა, გრესა (ცილინდრული ნიმუშის) და ჭრა.

ნიმუშის გამოცდის პროცესში, პლასტიკური დეფორმაციის დაწყების შემდეგ, ლითონის ნებისმიერი დაძაბული მდგომარეობა სახეს იცვლის, მაგრამ მისი საწყისი სახე მაინც არსებით მნიშვნელობას ინარჩუნებს. სწორედ ამიტომ, გამოცდებისას, დაძაბული მდგომარეობის დასახასიათებლად შემოტანილია "სიხისტის" ("სირბილის") კოეფიციენტი. თუ მოცემული დაძაბული მდგომარეობის მახასიათებელი მთავარი ნორმალური ძაბვები  $S_1, S_2, S_3$  ისეთია, რომ  $S_1 > S_2 > S_3$ -ზე და ამასთან განივი დეფორმაციის კოეფიციენტს აღვნიშნავთ  $\nu$ -თი, მაშინ  $\tau_{max}, S_{max}^n$  და  $\alpha$ -ს გამოსახულებები შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\tau_{max} = \frac{S_1 - S_2}{2};$$

$$S_{max}^n = S_1 - \nu(S_2 + S_3);$$

$$\alpha = \frac{\tau_{max}}{S_{max}^n} = \frac{S_1 - S_2}{2S_1 - 0,5(S_2 + S_3)}.$$

- სადაც:  $\tau_{max}$  არის უდიდესი მხები (ძვრის) ძაბვა;  
 $S_{max}^n$  — უდიდესი დაყვანილი გამჭიმავი ძაბვა. (იგი მაქსიმალურ წაგრძელებას ახასიათებს);  
 $S_1, S_2$  და  $S_3$  არის მთავარი ჭეშმარიტი ძაბვები;  
 $\alpha$  — სიხისტის კოეფიციენტი;  
 $\nu$  — პუასონის კოეფიციენტი (უმრავლესი ლითონისთვის იგი 0,25 – 0,3-ის ტოლია).

№2 ცხრილში წარმოდგენილია სხვადასხვა დაძაბული მდგომარეობების "სიხისტის" კოეფიციენტი, მთავარი  $S$  ძაბვების სხვადასხვა შეფარდებებისას ( $\nu=0,25$ ).

მექანიკური თვისებების სრულად გამოვლენისთვის აუცილებელია გამოცდები ჩატარდეს დატვირთვის სხვადასხვა ხერხით (გაჭიმვით, კუმშვით, დარტყმით და სტატიკური ღუნვით, გრეხით, სისალის გაზომვით და ა.შ. კომპოზიციური მასალებისთვის მნიშვნელოვანია ძვრაზე გამოცდა), მაქსიმალური მხები ძაბვების, მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვებისა და დეფორმაციების სხვადასხვა თანაფარდობებით. მხები ძაბვები, უმთავრესად, პლასტიკური დეფორმაციების შესაძლებლობას განსაზღვრავს და მისი განვითარების შემდეგ ძვრით (ჭრით) რღვევის საშიშროება იქმნება. გამჭიმავი ძაბვები, უპირატესად, მოწვევით მყიფე რღვევას იწვევს.

ცხრილი №2. სხვადასხვა დაძაბული მდგომარეობების "სიხისტის" კოეფიციენტი,  $S$  ძაბვების სხვადასხვა თანაფარდობებისას ( $\nu=0,25$ )

დაძაბული მდგომარეობის ტიპი	მთავარი ძაბვები			"სიხისტის" კოეფიციენტი, $\alpha$
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	
სამღერძა გაჭიმვა	$S$	$S$	$S$	$0,0$
სამღერძა გაჭიმვა	$S$	$8/9S$	$8/9S$	$0,1$
ერთღერძა გაჭიმვა	$S$	$0$	$0$	$0,5$
გრეხა	$S$	$0$	$-S$	$0,8$
ორღერძა კუმშვა	$0$	$-S$	$-S$	$1,0$
ერთღერძა კუმშვა	$0$	$0$	$-S$	$2,0$
სამღერძა კუმშვა	$-S$	$-7/3S$	$-7/3S$	$4,0$
სამღერძა კუმშვა	$-S$	$-2S$	$-2S$	$\infty$

### 5.3 ზოგადი მოთხოვნები მიქანიკური გამოცდების ნიმუშებზე

მექანიკური გამოცდების ობიექტებია: ნიმუშები, მოდელები, კონსტრუქციის ელემენტები და ნატურალური სიდიდის კონსტრუქციები. გამოცდებისას, ყველაზე ხშირად, სპეციალური ნიმუშები გამოიყენება. ნიმუში წარმოადგენს გამოცდას დაქვემდებარებულ სპეციალური ფორმის სხეულს მასალის მექანიკური თვისებების შესაფასებლად. ნიმუშის მრავალი ტიპი ნორმატიული დოკუმენტაციით რეგლამენტირდება. მათ ერთდერბა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, გრეხასა და ღუნვაზე გამოსაცდელი ნიმუშები მიეკუთვნება (არ რეგლამენტირდება სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებსა და რთულ დაძაბულ მდგომარეობაში გამოსაცდელი ნიმუშები).

ნიმუშები უნდა აკმაყოფილებდეს, მექანიკური გამოცდების შედარებადი და აღწარმოებადი შედეგების მისაღებად, გამოცდის სახის შესაბამის მოთხოვნებს. ნიმუშის ნამზადები ერთი და იმავე დნობის ან პარტიის ლითონური ნაკეთობებიდან (ღეროები, ფურცლები, სხეულები) უნდა შეირჩეს. კვლევისას, საკვლევ მასალაში, უპირველესად, ქიმიური ელემენტების რაოდენობრივი შედგენილობა განისაზღვრება. ლითონური მასალების მექანიკური თვისებები ძლიერაა დამოკიდებული მათ სტრუქტურულ მდგომარეობაზე. თავის მხრივ სტრუქტურა დამოკიდებულია თერმული დამუშავების რეჟიმებზე, ჩამოსხმისა და გლინვის ტექნოლოგიებზე. ნიმუშს ისეთი ფორმა უნდა ჰქონდეს, რომ მისი გამოცდისას მოცულობის განსაზღვრულ ზღვრებში ერთგვაროვანი დაძაბული მდგომარეობა განხორციელდეს. ნიმუშის ამ ნაწილს, სხვა დამხმარე ნაწილებისგან განსხვავებით, ნიმუშის სამუშაო (მუშა) ნაწილი ეწოდება. პრაქტიკაში ითვლე-

ბა, რომ ამ ნაწილში ძაბვები და დეფორმირებული მდგომარეობა ერთგვაროვანია.

დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ერთგვაროვნობის რეალიზების აუცილებლობა დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ დეფორმირებადი სხეულის ნებისმიერ წერტილში ძაბვების პირდაპირი შეფასების მეთოდი დღეისათვის არ არსებობს. სხეულის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრის არსებული მეთოდი საშუალებას იძლევა დეფორმაცია გაიზომოს საკვლევი სხეულის გარე ზედაპირზე. სხეულის დანარჩენ წერტილებში ძაბვების სიდიდის შეფასება გარე ძალებით ხდება. ასეთი შეფასებისას აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული საკვლევი სხეულის უწყვეტობის, ერთგვაროვნობის და იზოტროპულობის ჰიპოთეზა.

ნიმუშის სამუშაო ნაწილზე გამოიყოფა საანგარიშო უბანი, რომელიც მექანიკური თვისებების მახასიათებლების (წაგრძელების, დამოკლების, დაგრეხისა და მობრუნების კუთხის, განივი ზომების ცვლილების და სხვ.) გასაზომად გამოიყენება. სამუშაო ნაწილის ფორმა დამოკიდებულია ნამზადის სახეზე. ყველაზე ხშირად ნიმუში განივკვეთის მრგვალი, რგოლური ან სწორკუთხა ფორმის ღეროს წარმოადგენს. თუ ნიმუშის ნამზადად ღერო, სხმული ან სქელი ფურცელი გამოიყენება, მაშინ ნიმუშის სამუშაო ნაწილს ცილინდრული, ხოლო თხელი ფურცლიდან დამზადებული ნიმუშის სამუშაო ნაწილს პრიზმული ფორმა აქვს. გამოსაცდელად უპირატესობა ეძლევა ცილინდრულ ნიმუშს. დრეკად-პლასტიკური და სიმტკიცის თვისებების კვლევისათვის ნიმუშების გეომეტრიული ფორმები მრავალგვარია. უფრო ხშირად გამოიყენება ბოლოებში შესქელებული ღეროს სახის ნიმუშები. ასეთ შესქელებებს ნიმუშის თავებს უწოდებენ. მათი ფორმა საცდელი მანქანის პირმოდების კონსტრუქციებზეა დამოკიდებული.

საკვლევი დეტალისგან ან მასალისგან სპეციალური ნიმუშების დასამზადებელი ნამზადების ამოჭრა ხდება ლითონ-საჭრელ ჩარხებზე, მაკრატლებზე, ჟანგბადური და ანოდური მექანიკური ჭრისა და სხვა მეთოდებით. ამასთან, აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული ლითონის ნამეტი იმ ზონების მოსაცილებლად, რომლებმაც, გახურების ან ცივჭედვის გავლენით, თვისებები შეიცვალეს. ნამზადების შერჩევა, ამოჭრის ადგილები, რაოდენობა, ნამზადებიდან დამზადებული ნიმუშების გრძივი ღერძის მიმართულება, ამოჭრის მეთოდის შესატყვისი ნამეტის ზომები და სხვა ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტებით რეგლამენტირდება.

ნიმუში მზადდება მექანიკური დამუშავებით: ჭრით, ფრეზით, ხეხვით და პოლირებით. დამზადების პროცესში უნდა გამოირიცხოს მის მექანიკურ თვისებებსა და ნამზადის მექანიკურ თვისებებს შორის სხვაობის გამომწვევი ფაქტორები. ზოგ შემთხვევაში ნიმუშად ნახევარფაბრიკატები (მავთული, ლენტო, ძაფი, ბაგირი, არმატურა და ა.შ.) გამოიყენება. მექანიკური დამუშავებისას უნდა გამოირიცხოს ლითონის გახურებით და ცივჭედვით გამოწვეული თვისებების ცვლილება (დამუშავების რეჟიმის შერჩევით, ხელოვნური გაცივებით). საბოლოო გაელისას, ჭრის სიღრმე 0,3 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ბრტყელი ნიმუშები გლინვის ზედაპირულ შრეებს უნდა ინარჩუნებდეს (თუ ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტი სხვა მითითებებს არ ითვალისწინებს). ბრტყელი ნიმუშების წახნაგებზე ხიწვების მოცლა მექანიკურად ხდება. ნიმუშის ნაწიბურები, მის სამუშაო ნაწილზე, დასაშვებია გაიხეხოს და გაიწმინდოს ზუმფარიანი ქარგოლით ან ზუმფარით. გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა, ტიპი, ზომები და მოთხოვნები დამუშავებული ზედაპირების სიმქისეზე, ზომების ნორმებიდან დასაშვები გადახრები და სხვა განისაზღვრება

გამოცდის ყოველი სახისათვის შესაბამისი ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტებით. ნიმუშების ნიშანდება ხდება ნიმუშის არასამუშაო ნაწილზე.

ნორმატიული დოკუმენტებით და ინსტრუქციებით რეგლამენტირდება მოთხოვნები ნიმუშის გეომეტრიულ ფორმაზე. ნიმუშის გეომეტრიული ფორმის სრულყოფილება ხელს უწყობს გამოცდის შედეგების შეფასებას და შემდგომ ცდებში მათ აღწარმოებადობას. დაუშვებელია ნიმუშის სამუშაო ნაწილის განიკვეთის ზომების ცვლილება, ნიმუშის ღერძის გამრუდება და ფორმის სხვა გეომეტრიული არასრულყოფილობები, რომლებიც ნიმუშის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ინსტრუქციით გათვალისწინებულ ზღვრულ მნიშვნელობებზე მეტ ცვლილებას იწვევს.

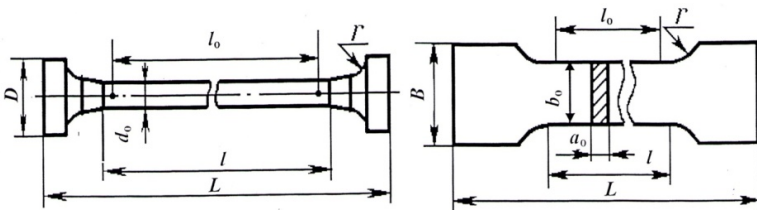
მექანიკური გამოცდების შედეგებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნიმუშის სამუშაო ნაწილის ზედაპირის მდგომარეობა. ნაკაწრები, ბასრი ჩანაჭრები, ნიჟარები და სხვ. დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ადგილობრივ ცვლილებას, მასალის ნაადრევ რღვევას და ცდის შედეგების დამახინჯებას იწვევს. სტატიკური გამოცდებისათვის ნიმუშების ზედაპირების სიმქისე საჭრისის ”სუფთა გავლისას” ჭრით ან ხეხვით მიღებულ სიმქისეს არ უნდა აღემატებოდეს. დაღლილობაზე გამოსაცდელი ნიმუშების ზედაპირის სიმქისე უფრო დაბალი უნდა იყოს, რაც სუფთა ხეხვითა და პოლირებით მიიღება.

მექანიკური გამოცდებისათვის განკუთვნილ ნიმუშებს ქიმიური შედგენილობისა და სტრუქტურის ერთგვაროვნობა მოეთხოვება. ლითონის სტრუქტურულ მდგომარეობაზე დიდ გავლენას ახდენს თერმული დამუშავება. ამის გამო, თერმული დამუშავების რეჟიმებისადმი მოთხოვნების მკაცრად

დაცვა აუცილებელია. ნიმუშის ზედაპირული შრის სტრუქტურულ მდგომარეობაზე მნიშვნელოვან გავლენას მექანიკური დამუშავების რეჟიმები-ჭრის სიღრმე და ჭრის სიჩქარე ახდენს. ისინი ზედაპირის ცივჭედვას იწვევენ. ზედაპირის ცივჭედვა განსაკუთრებით არასასურველია მცირე ზომის ნიმუშებისათვის (მიკრონიმუშები, თხელკედლიანი ნიმუშები). ზოგიერთი სახის თერმული დამუშავება მაგ., წრთობა, ნიმუშის სტრუქტურის არაერთგვაროვნობას იწვევს, განსაკუთრებით დიდი კვეთის შემთხვევაში, რადგან თერმული დამუშავების შრის სიღრმე შესაძლოა იყოს მცირე.

#### 5.4 გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშების ფორმა, მათი დამზადების წესები, გამოცდის პირობები და თავისებურებები

სურ. 31-ის შესაბამისად, გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშის თავებს ან პირმოდების ნაწილებს შორის სამუშაო უბანი წარმოადგენს სწორხაზოვანი ღერძის და მუდმივი განივკვეთის ფართობის მქონე ცილინდრულ ან სწორკუთხა ღეროს.



სურ. 31. გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ცილინდრული (ა) და ბრტყელი (ბ) ნიმუშები:  $d_0$ —ნიმუშის საწყისი დიამეტრი;  $a_0$ —საწყისი სისქე;  $b_0$ —საწყისი სიგანე;  $l_0$ —საწყისი საანგარიშო სიგრძე;  $l$ —სამუშაო სიგრძე;  $D$ —თავების დიამეტრი;  $B$ —ნიმუშის პირმოდებების სიგანე;  $L$ —ნიმუშის საერთო სიგრძე;  $r$ —სამუშაო ნაწილის თავთან შეუღლების სიმრუდის რადიუსი.

პრაქტიკაში გაჭიმვაზე გამოსაცდელად პროპორციულ ცილინდრულ (დიამეტრი- $d_0 \geq 3$  მმ-ზე) ან ფურცლოვანი მასალებისათვის ბრტყელ (სისქე- $a_0 \geq 3$  მმ-ზე) ნიმუშებს იყენებენ. ნიმუშის დეფორმაციის გასაზომად, სამუშაო ნაწილზე, მონიშნება მონაკვეთი, რომელსაც საანგარიშო სიგრძეს უწოდებენ. უმეტესად იყენებენ ცილინდრულ ნიმუშებს. ასეთ ნიმუშებში საწყის საანგარიშო სიგრძესა ( $l_0$ ) და საწყის დიამეტრს ( $d_0$ ) შორის თანაფარდობები დაცულია. გავრცელებულია ხუთჯერადი  $l_0 = 5d_0$ -ს (მოკლე) და ათჯერადი  $l_0 = 10d_0$ -ს (გრძელი) ნიმუშები. მათ პროპორციული ნიმუშები ეწოდება .

ბრტყელი ნიმუშების საანგარიშო სიგრძესა და განიკვეთის ფართობს შორის თანაფარდობა ისეთივეა, როგორც ცილინდრულისა, ოღონდ აქ ფორმულაში საწყისი დიამეტრის ნაცვლად განიკვეთის საწყისი ფართობი  $F_0$  შემოდის. ცილინდრული ნიმუშის განიკვეთის ფართობია:

$$F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} ,$$

მოკლე ნიმუშისათვის:

$$l_0 = 5d_0 = 5\sqrt{\frac{4F_0}{\pi}} = 5,65\sqrt{F_0} ,$$

ხოლო გრძელი ნიმუშისათვის:

$$l_0 = 10d_0 = 10\sqrt{\frac{4F_0}{\pi}} = 11,3\sqrt{F_0} .$$

ნიმუშის გამოცდამდე, ნიმუშის სამუშაო  $l$  მონაკვეთზე მონიშნება საანგარიშო  $l_0$  სიგრძე კერნით ან სხვა საშუა-

ლებით. ცილინდრული ნიმუშებისათვის  $l$  აიღება  $l_0 + 0,5d_0$ -დან  $l_0 + 2,5d_0$ -მდე, ხოლო ბრტყელი ნიმუშებისათვის  $-l_0 + 1,5\sqrt{F_0}$ -დან  $l_0 + 2,5\sqrt{F_0}$ -მდე.

საცდელი მანქანის პირმოღების მექანიზმში ჩამაგრების ხერხიდან გამომდინარე, განისაზღვრება ცილინდრული და ბრტყელი ნიმუშების თავებისა და გარდამავალი ნაწილების ფორმები და ზომები. ჩამაგრება უნდა გამორიცხავდეს მომჭერებში ნიმუშის ასრიალებას, საყრდენი ზედაპირების თელვას, თავების დეფორმაციას სამუშაო ნაწილიდან თავებზე გადასვლის ადგილებზე და თავებზე რღვევას.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშების ფორმა, მათი დამზადების წესები და გამოცდის პირობები რეგლამენტირდება ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტებით. მოთხოვნები გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშებისადმი შესაძლოა სხვადასხვა ქვეყანაში სხვადასხვა სტანდარტით განისაზღვრებოდეს, მაგრამ არსებობს პრაქტიკულად ყველა ქვეყნის სტანდარტებით გათვალისწინებული ზოგადი მოთხოვნები:

ა) ნიმუშები, ჩვეულებრივ, ყველა მხრიდან უნდა დამუშავდეს: ფურცლებიდან, ზოლოვანებიდან და მისთ. ნიმუშები ბრტყელი ნაწარმის მხოლოდ ნაწიბურების მხრიდან უნდა დამუშავდეს: მცირე დიამეტრის მიღების, წვრილსორტული ნაგლინის, წნელებისა და მისთ. გამოცდა დასაშვებია დამუშავების გარეშე. მცირე დიამეტრის მიღების გამოცდისას ნიმუშის ნამზადების ბოლოები მჭიდროდ მორგებული საცობებით უნდა გაიჭედოს ან ისე უნდა გაბრტყელდეს, რომ გამოსაცდელი მანქანის მომჭერებში მათი ჩამაგრება შესაძლებელი იყოს;

ბ) დამუშავებული ნიმუშების განივკვეთი შეიძლება იყოს მრგვალი, კვადრატული ან სწორკუთხა (გვერდების თანაფარდობა 4:1-ს არ უნდა აღემატებოდეს). დაუმუშავებელი ნიმუშები შესაძლებელია იყოს სხვა ფორმისაც;

გ) დამუშავებული ნიმუშების ცილინდრული ან პრიზმული ნაწილების გამოსაცდელი სიგრძე (სამუშაო სიგრძე) საანგარიშო სიგრძეზე, ჩვეულებრივ,  $d_0$ -ით ან ფესვი  $F_0$ -დან სიდიდით მეტი უნდა იყოს. ის მდოვრედ (ზოლების და მონაჭრების გარეშე) უნდა გადადიოდეს ნიმუშის თავთან და ინარჩუნებდეს თანაბარი სიდიდის განივკვეთს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, კვეთის მსხვილი (განიერი) ნაწილი ნაკლები ხარისხით დეფორმირდება, ვიდრე წვრილი. გამოსაცდელი ნიმუშის სიგრძის სხვადასხვა ხარისხით დეფორმირება კი ფარდობითი წაგრძელების შემცირებას იწვევს.

ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდამდე უნდა შემოწმდეს დამზადებული ნიმუშის ზომების, შესაბამისობა სტანდარტით მოთხოვნილ ზომებთან. შემდეგ, გამჭიმავი ძალის მისაღებად სტანდარტული მრგვალი ნიმუში უნდა მოთავსდეს სპეციალურ სამარჯვში-რევერსორში, რომელიც გამოსაცდელი მანქანის საყრდენებს შორის თავსდება (ხშირად რევერსორი მანქანის ერთ-ერთ კვანძს წარმოადგენს). მანქანაში აღძრული მკუმშავი ძალა რევერსორით გამჭიმავ ძალად გარდაიქმნება. მოდებული ძალების ზემოქმედებით, ნიმუშში აღძრული დეფორმაცია ვლინდება ნიმუშის ფორმისა და ზომის ცვლილებით. იგი შეიძლება იყოს დრეკადი ან პლასტიკური. ნიმუშის გამოცდისას თანმიმდევრობით ვითარდება დეფორმაციის პროცესის სამი "ეტაპი": დრეკადი დეფორმაცია, პლასტიკური დეფორმაცია და რღვევა. მექანიკური გამოცდებისას მახასიათებლები განისაზღვრება როგორც დრეკად, ასევე პლასტიკურ არეებში. როგორი მცირეც არ უნდა იყოს მასალაზე მოდებული ძაბვა, ის მაინც იწვევს გარკვეული სიდიდის დეფორმაციას. ამასთან, საწყისი დეფორმაცია ყოველთვის

დრეკადია და პირდაპირ პროპორციულ დამოკიდებულებაშია მოდებულ მზარდ ძაბვასთან. გამჭვირვადი ძალები წარმოადგენს ნიმუშის სამუშაო ნაწილის ბოლო განივიკვეთების სიმძიმის ცენტრებში მოდებულ ორ ტოლქმედ ძალას, რომლებიც მკაცრადია მიმართული ნიმუშის სამუშაო ნაწილის ღერძის გასწვრივ. აღნიშნული მოთხოვნების დაცვა საცდელი მანქანების სპეციალური პირმოსადები ტუნებით (ან სხვა სამარჯვით) და ნიმუშის ბოლო ნაწილების–ნიმუშის თავების–საშუალებით ხორციელდება.

ნორმატიული დოკუმენტებით განსაზღვრული წესის შესაბამისად დამზადებული ნიმუშების გამოცდა სპეციალურ საცდელ ან უნივერსალურ მანქანებზე ხდება. დატვირთვა-წაგრძელების პირველადი მრუდის გრაფიკული გამოსახვისათვის თვითნამწერ ხელსაწყოებს იყენებენ.

მეიფე მასალებისა და დაბალ ტემპერატურებზე ნიმუშების გამოცდისას, აუცილებელია, განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს მომჭერებში ნიმუშების ღერძულ ჩამაგრებას, რადგან სხვა შემთხვევაში, დამატებითი მღუნავი დატვირთვებით, ნიმუშის ნაადრევი რღვევა მოხდება. (ნიმუშების ჩამაგრებას სფერული მომჭერების გამოყენება მნიშვნელოვნად აიოლებს). ნაადრევი რღვევის მიზეზი შეიძლება, ნიმუშის ზედაპირის დაზიანებებიც იყოს. ამიტომ, მეიფე მასალის ნიმუშებზე ნაჭდევების დასატანად წერტილისა და ნაკაწრების ნაცვლად საღებავი ან მელანი უნდა იქნეს გამოყენებული. დაუცენტრებლად ნიმუშის გამოცდა დენადობის ზედა ზღვრის სიდიდესა და გამომსახველობის ხარისხზე მოქმედებს.

დატვირთვა-დეფორმაციის მრუდების გრაფიკული გამოსახულება ნიმუშის გამოცდის სიჩქარეზე დამოკიდებული. ტოლი წაგრძელებების შემთხვევაში, რაც უფრო მეტია წაგრძელების (დეფორმაციის) სიჩქარის ზრდა, მით მეტია

ძაბვა. გაჭიმვის მრუდის ”სვლაზე” დეფორმაციის სიჩქარის გავლენის შესაბამისად სიჩქარის გაზრდასთან ერთად, მატულობს სიმტკიცისა და დენადობის ზღვრების მნიშვნელობები. შედარებადი სიდიდეების მისაღებად აუცილებელია, დენადობის ზღვრის დადგომამდე დატვირთვის სიჩქარე არ აღემატებოდეს  $10 \text{ ნ/მმ}^2/\text{წმ-ს}$  (რაც დეფორმაციის სიჩქარის  $0,005\% /\text{წმ-ს}$  შეესაბამება). დენადობის ზღვრის ზევით პლასტიკური მასალების დეფორმაციის სიჩქარე  $0,4\%/\text{წმ}$  სიჩქარემდე შეიძლება გაიზარდოს. შევიწროება გამოცდის სიჩქარეზე, თითქმის, არ არის დამოკიდებული. ოთახის ტემპერატურაზე მაღალი ძაბვებით და მაღალ ტემპერატურებზე დაბალი ძაბვებით დატვირთვებს, დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში, პროგრესირებადი დეფორმაციები და, ზოგ შემთხვევაში, ნიმუშის რღვევაც შეუძლია გამოიწვიოს. გეომეტრიულად იგივეური ნიმუშები დენადობის ზღვრის, სიმტკიცის ზღვრის, ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების ერთნაირ მნიშვნელობებს იძლევა (კირპიჩევი-კიკის მსგავსების კანონი). ამ კანონის მიხედვით, გამოცდის შედეგად, ურთიერთშედარებადი სიდიდეების მისაღებად აუცილებელია ჩატარდეს გაჭიმვა დადგენილი ფორმისა და ზომების ნიმუშებზე. მსგავსების კანონის თანახმად, ნიმუშები, ერთნაირი ძაბვებისას ერთნაირ დეფორმაციებს იღებენ. ერთი და იმავე ლითონის სხვადასხვა ნიმუშზე ერთნაირი წაგრძელების მისაღებად აუცილებელია დაცული იქნეს შემდეგი პირობა:

$$\frac{l_1}{\sqrt{A_1}} = \frac{l_2}{\sqrt{A_2}} = \frac{l_3}{\sqrt{A_3}} = \text{const.} ,$$

სადაც:  $l_1, l_2, l_3$  არის ნიმუშების საანგარიშო სიგრძეები;  
 $A_1, A_2, A_3$  – ნიმუშების განიკვეთის ფართობები.

ე.ი. ყველა ნიმუშისათვის საანგარიშო სიგრძის ფარდობა განივკვეთის ფართობიდან ამოღებული კვადრატული ფესვის სიდიდესთან ტოლი უნდა იყოს.

ნიმუშის კვეთის ფორმა სიმტკიცის ზღვარზე, პრაქტიკულად, არ მოქმედებს (სიმტკიცის ზღვრის უდიდესი მნიშვნელობა მიიღება მრგვალი კვეთის მქონე ნიმუშებში). უფრო შესაძინებია ნიმუშის ფორმის გავლენა დენადობის ზღვარზე. იგი, მრგვალი ნიმუშის შემთხვევაში, მაქსიმალურია. საანგარიშო სიგრძის საწყისი განივკვეთის ფართობიდან ამოღებული კვადრატული ფესვის სიდიდესთან ფარდობის ერთნაირი მნიშვნელობისას თითქმის ერთნაირი ფარდობითი წაგრძელება მიიღება. თუ ბრტყელ ნიმუშებში სიგანის სისქესთან ფარდობა იქნება 4:1-ზე მეტი, (ანალოგიურად რთული კვეთის მქონე ნიმუშების) გამოცდისას წაგრძელების ნაკლები მნიშვნელობები მიიღება. კვეთის ადგილობრივი შესუსტებები და დეფექტები, ყელის ნაადრევი წარმოქმნისა და მასთან დაკავშირებული ნიმუშის თანაბარი წაგრძელების შემცირების გამო, საერთო წაგრძელების ძლიერ შემცირებას იწვევს.

ნიმუშთა თავების გავლენით აღძრული განივი ძაბვები მეზობელ ნაწილებში წაგრძელებისა და შევიწროების პროცესებს აძნელებს და შესაბამისი მახასიათებლების შემცირებას იწვევს. ისინი იმ შემთხვევაშიც მცირდებიან, როდესაც ნიმუში ირღვევა ნაკაწრზე ან დეფექტზე. არამრგვალი კვეთის მქონე ნიმუშების ფარდობითი შევიწროების განსაზღვრა გაძნელებულია. ის, მრგვალი კვეთის მქონე ნიმუშების შევიწროებასთან შედარებით, მით ნაკლებია, რაც მეტად განსხვავდება ნიმუშის სიგანის სისქესთან ფარდობა ერთისგან.

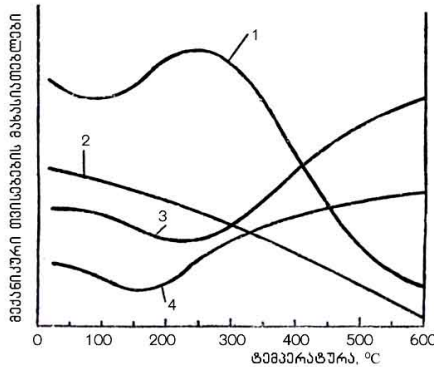
ნიმუშის მუშა ნაწილიდან ნიმუშის თავებზე ძალიან მდოვრედ გადასვლა (მომრგვალების დიდი რადიუსი, კონუსური გადასვლა) რბილი ფოლადების დენადობის ზედა ზღვარს მნიშვნელოვნად ზრდის, დენადობის ქვედა ზღვარზე კი უმნიშვნელოდ მოქმედებს.

დიდი სიგრძის მქონე გამოსაცდელი ნიმუშები, მაქსიმალური დატვირთვის მიღწევამდე, ძაბვების თანაბარი ერთდერძა განაწილებით ხასიათდება. დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრების მნიშვნელობები ნიმუშის გამოსაცდელი სიგრძის სიდიდეზე არ არის დამოკიდებული. საანგარიშო სიგრძის შემცირებისას, საერთო წაგრძელებაში, ადგილობრივი (ყელის) წაგრძელების წილის მატების გამო, ფარდობითი წაგრძელება იზრდება. ყოველივე ამის გათვალისწინებით, რეალური შედეგების მისაღებად, პროპორციული ნიმუშების ზომების ზუსტად დაცვა აუცილებელია.

მცირე  $l \leq 2d_0$ -ზე გამოსაცდელი სიგრძის ნიმუშებში თავები, როგორც დიდი კვეთის მქონე, სამუშაო სიგრძის მეზობელ უბნებზე იწვევს მნიშვნელოვან განივ ძაბვებს და, ამასთან დაკავშირებით, გრძივი ძაბვების არათანაბარ განაწილებას (მრავალდერძა დაძაბული მდგომარეობა). განივი ძაბვები, ეწინააღმდეგება რა განივ კუმშვას, ზრდის დენადობის ზღვრის და, განსაკუთრებით კი, სიმტკიცის ზღვრის მაჩვენებლებს. მცირე სიდიდის გამოსაცდელი სიგრძის შემთხვევაში ფარდობითი წაგრძელება და ფარდობითი შევიწროება, ერთნაირი მასალის სტანდარტული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული მაჩვენებლებისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. ამავე დროს, მრგვალი და ბრტყელი ნიმუშები, ისე როგორც სხვადასხვა სახის ფოლადები, სრულიად სხვადასხვაგვარად იქცევიან. ძალიან მცირე სიგრძის ნიმუშების გამოცდისას, სტანდარტული ნიმუშების

გამოცდებით მიღებული მაჩვენებლებიდან, ყველაზე ძლიერ ფარდობითი შევიწროების მაჩვენებლები გადაიხრება და ამასთან ერთად შესაძლოა ნიმუში ნაადრევად გაწყდეს. ეს თავისებურებები განსაკუთრებით მკაფიოდ ჩანაჭრიანი (როგორც გლუვი ისე მახვილი) ნიმუშების გამოცდებისას ვლინდება. ასეთ ნიმუშებზე განსაკუთრებით ძლიერ გავლენას ახდენს მრავალღერძა დატვირთვები.

მექანიკური გამოცდების შედეგებზე დიდ გავლენას ახდენს გამოცდის ტემპერატურა. სურ. 32-ზე სქემატურად წარმოდგენილია ჩვეულებრივი (არალეგირებული) ფოლადების დენადობის ზღვრის, სიმტკიცის ზღვრის, წაგრძელებისა და შევიწროების მნიშვნელობების დამოკიდებულება გამოცდის ტემპერატურაზე.



სურ. 32. ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით მექანიკური თვისებების ცვლილების სქემა:

1. სიმტკიცის ზღვარი;
2. დენადობის ზღვარი;
3. შევიწროება;
4. წაგრძელება

ლეგირებული ფოლადების მექანიკური თვისებები, ძირითადად, ანალოგიური ტემპერატურული დამოკიდებულებით ხასიათდება. იმ განსხვავებით, რომ ცალკეული მრუდი შეიძლება იყოს დაძრული და სიმტკიცის ზღვრის მაქსიმუმი ნაკლები სიმკვეთრით გამოსახული (ან არ არსებობდეს), ხოლო ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების მინიმუმებმა გადაიწიონ უფრო მაღალი ტემპერატურებისკენ. უარყოფით ტემპერატურებზე სიმტკიცის ზღვრის და, განსაკუთრებით, დენადობის ზღვრის მნიშვნელობები მაღლდება.

არალეგირებულ ფოლადებში განსაკუთრებით შესამჩნევად მატულობს დენადობის ზედა ზღვარი. ფარდობითი წაგრძელება, დასაწყისში, რამდენადმე იზრდება, ხოლო ტემპერატურის ძალიან დაბალი მნიშვნელობებისას, წყვეტილწყვეტილად, მეტად მცირე მნიშვნელობებს იძენს. დეფორმირებადობის უნარის ასეთი შემცირება გაჭიმვაზე გამოცდისას, ჰაერის დულილის ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) ტემპერატურასთან ახლოს იწყება (არალერძული დატვირთვისას დეფორმირებადობის შემცირება შეინიშნება გაცილებით მაღალ ტემპერატურებზე). გაუმჯობესებული ლეგირებული საკონსტრუქციო ფოლადები, არალეგირებულთან შედარებით, სიმტკიცისა და დენადობის ზღვრების ნაკლები მატებით ხასიათდება. ამ ფოლადების ფარდობითი წაგრძელება, უფრო ხშირად,  $-183^{\circ}\text{C}$ -მდე გამოცდისას მაღლდება. მაშინ როდესაც ამ ტემპერატურამდე ფარდობითი შევიწროება მდოვრედ და ნაკლები სიდიდით მცირდება, ვიდრე არალეგირებულ ფოლადებში. ამდენად, ამ ტემპერატურამდე გაჭიმვაზე გამოცდისას, ლითონს შესაძლებელია ჯერ კიდევ ჰქონდეს დეფორმირებადობის მნიშვნელოვანი უნარი.

## 5.5 ბაჭიფვაზე ლითონური მასალების მმქანიკური მახასიათებლების პრაქტიკული განსაზღვრის თავისებურებები

მექანიკური თვისებების შესწავლის მდიდარი ექსპერიმენტული მასალის უდიდესი ნაწილი ერთდერძა სტატიკური გამოცდის წილად მოდის. მასალების მექანიკური გამოცდების პრაქტიკაში მექანიკური თვისებების მახასიათებლები თეორიულიდან ოდნავ განსხვავებული "ტექნიკური" მახვენებლებით განისაზღვრება.

მასალების თვისებების პრაქტიკული განსაზღვრის საფუძველს წარმოადგენს იმის ცოდნა თუ როგორ რეაგირებენ ისინი ნებისმიერ დატვირთვაზე. თუ ცნობილია მოცემული დატვირთვით წარმოქმნილი დეფორმაციის სიდიდე, მაშინ კონსტრუქტორს შეუძლია იწინასწარმეტყველოს კონკრეტული ნაკეთობის რეაქცია მის სამუშაო პირობებზე. მასალების თვისებების ურთიერთშედარების ან კონკრეტული ნაკეთობის კონსტრუირების გავრცლებულ მექანიკურ მახასიათებელს წარმოადგენს (გაჭიმვისას განსაზღვრული) დეფორმაციისა და ძაბვის ურთიერთდამოკიდებულება.

გასაჭიმი ნიმუშის დეფორმაციას თან ახლავს საცდელი მანქანის (პირველ რიგში, ძალასაზომი მექანიზმის) დეფორმაციაც. ამ დეფორმაციის მნიშვნელობა დამოკიდებულია საცდელი მანქანის სიხისტეზე. იგი წარმოადგენს დატვირთვის ფარდობას მანქანის დამტვირთველი ნაწილების დრეკადი დეფორმაციების აბსოლუტურ ჯამთან:

$$K_m = F/\Delta l_m.$$

დატვირთვის პროცესში, ნიმუში და მანქანა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ორი, ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებული, სხვადასხვა სიხისტის დრეკადი სხეული. ამავე დროს, დატვირთვის დაწყებიდან ნიმუშის რღვევამდე, მანქანის ნაწილები დრეკადად დეფორმირდება, ხოლო ნიმუშში, დრეკადობის ზღვრის გადალახვის შემდეგ, დრეკად დეფორმაციასთან ერთად, პლასტიკური დეფორმაციაც ხდება. ამას დატვირთვის დიაგრამის ფორმის ცვლილებამდე მივყავართ. მაგ., რბილი ფოლადის ხისტ საცდელ მანქანებზე გამოცდისას, დენადობის ბაქნის წინ დენადობის კბილი შეინიშნება, მაშინ როდესაც დენადობის ზღვრის მიღწევისას ძაბვა ეცემა. ძაბვის ვარდნის მნიშვნელობა მანქანის სიხისტეზეა დამოკიდებული. მცირე სიხისტის მქონე მანქანებზე ნიმუშის გამოცდისას, შესაძლებელია, დენადობის კბილი არც დაფიქსირდეს.

ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ფაქტს, რომ გამოცდის შედეგებზე საცდელი მანქანის გავლენის ხარისხი დამოკიდებულია გამოსაცდელი ნიმუშის მასალის თვისებებზე (გამოცდის პროცესში იცვლება მისი სიხისტეც). ნიმუშისა და საცდელი მანქანის სიხისტის თანაფარდობა გავლენას ახდენს გასაზომი ძალის მნიშვნელობაზე. რაც უფრო მეტია საცდელი მანქანის სიხისტე, ნიმუშის სიხისტესთან შედარებით, მით უფრო ზუსტად გაიზომება ნიმუშზე მოდებული ძალა. სხვა სიტყვებით, ერთი და იმავე მასალისაგან დამზადებული სხვადასხვა ზომის ნიმუშების ერთსადაიმათვე მანქანაზე გამოცდისას, შესაძლებელია, მექანიკური მახასიათებლების სხვადასხვა მნიშვნელობები მივიღოთ.

დატვირთვის დიაგრამიდან საცდელი მანქანის ნაწილების წაგრძელების გამოსარიცხად თანამედროვე საუკეთესო მანქანებში, ნიმუშის სამუშაო ნაწილის დეფორმაციის გასა-

ზომად, გადაადგილების სპეციალური გარდამქნელია გათვალისწინებული.

ლითონების გაჭიმვაზე სტატიკური ერთფერბა გამოცდა პრაქტიკაში მექანიკური თვისებების მრავალ მახასიათებელს განსაზღვრავს და მათი სიდიდეების გაანგარიშება უფრო ადვილია, ვიდრე გამოცდის სხვა მეთოდებით მიღებული იმავე მახასიათებლებისა. ამასთან ერთად, გაჭიმვაზე გამოცდის ტექნიკა შედარებით მარტივია და კარგადაა დამუშავებული.

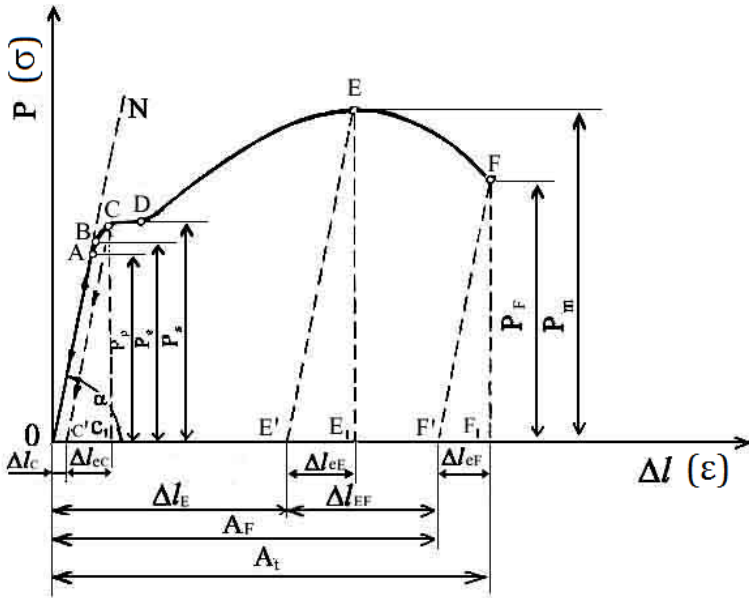
პრაქტიკულმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ზოგ შემთხვევაში გაჭიმვაზე სახეშეცვლილი გამოცდის საჭიროება ჩნდება. მაგ., გლუვი ცილინდრული ნიმუშების გამოცდის ნაცვლად, საჭიროა ჩანაჭრიანი ცილინდრული ნიმუშების გამოცდა. ან კიდევ, აუცილებელია ღერძული გამოცდიდან ექსცენტრულზე გადასვლა. ხშირ შემთხვევაში ლითონების გამოცდა სხვა დაძაბული მდგომარეობით—გრეხით, ღუნვით და ა.შ.—ხდება. მექანიკური გამოცდების პირობების ასეთი გართულებები ლითონების ლაბორატორიულ გამოცდებს აახლოებს მის ნამდვილ სამუშაო, სასამსახურო პირობებთან. ისინი უფრო სრულად ახასიათებენ, ე.წ., ”საკონსტრუქციო სიმტკიცეს” და ლითონის ვარგისობას მოცემული კონსტრუქციისათვის. საკონსტრუქციო სიმტკიცის შეფასების მიზანშეწონილობა შემდეგი პრაქტიკული მაგალითიდან ჩანს: საპასუხისმგებლო ჭანჭიკების დასამზადებლად შერჩეული მაღალი სტატიკური სიმტკიცის ( $\sigma_{\text{ღ}} > 1500$  ნ/მმ<sup>2</sup>) მქონე ლითონი არ გამოდგა: იგი ძალიან მგრძობიარე აღმოჩნდა მოღებული გამჭიმავი ძაბვების ექსცენტრისიტეტისადმი (განსაკუთრებით ისეთ შემთხვევებში, როცა მასზე მოჭრილი იყო ძაბვების ისეთი კონცენტრატორი, როგორც ხრახნია) და ადვილად ირღვეოდა. ე.ი. მაღალი სიმტკიცის

მასხასითებლის მქონე ლითონმა (არასაკმარისი საკონსტრუქციო სიმტკიცის გამო) არ ივარგა.

## 5.6 ერთდერძა გაჭიმვის აბაზა-დეფორმაციის დიაგრამა

ლითონური მასალების მექანიკური თვისებების კვლევისას, მეცნიერებისათვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ნიმუშზე მოდებული დატვირთვით გამოწვეულ ძაბვებსა და შესაბამის დეფორმაციებს შორის არსებულ კავშირის კანონზომიერების დადგენა. ძაბვებისა და დეფორმაციების ურთიერთობას განვიხილავთ ქვემოთ, ერთდერძა გაჭიმვისას ექსპერიმენტალურად აგებული ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამის მაგალითზე. თვალსაჩინოებისათვის დეტალურად განვიხილოთ რეალური სხეულის (დაბალნახშირბადიანი მოლბობილი ფოლადის) ერთდერძა გაჭიმვისას მიღებული ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამა (კუმშვისას “ძაბვა-დეფორმაციის” დიაგრამა გაჭიმვის დიაგრამის ანალოგიურია).

სურ. 33 შეესაბამება  $F_0$  განივკვეთის ფართობისა და  $l_0$  საწყისი საანგარიშო სიგრძის მქონე ნიმუშის დეფორმაციის სიდიდის ცვლილების ძაბვაზე დამოკიდებულებას. მის ორდინატაზე გადაზომილია გამჭიმავი ძალა  $P$  (ან ძაბვა  $\sigma$ ), ხოლო აბსცისაზე—აბსოლუტური წაგრძელება  $\Delta l$  (ან დეფორმაცია  $\epsilon$ ). გაჭიმვის მრუდი ახასიათებს ლითონის ქცევას დეფორმირების პროცესში, დატვირთვის მოდების მომენტიდან ნიმუშის რღვევამდე.



სურ. 33. დაბალნახშირბადიანი მოლბობილი ფოლადის გაჭიმვის მრუდი

ნიმუშის აბსოლუტურ წაგრძელებასა და დეფორმაციას შორის შემდეგი დამოკიდებულებები არსებობს:

$$\Delta l = l - l_0,$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

სადაც:  $l_0$  არის გამოსაცდელი ნიმუშის საწყისი საანგარიშო სიგრძე;

$\Delta l$ —ნიმუშის აბსოლუტური წაგრძელება;

$\varepsilon$ —ნიმუშის ფარდობითი დეფორმაცია.

მრუდის სწორხაზოვანი  $OA$  უბანი ასახავს მასალის დრეკად დეფორმაციას, ხოლო დიაგრამის მრუდხაზოვანი უბნები დაკავშირებულია დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციებთან. ასეთი დიაგრამებით შეიძლება დადგენა მასალის რიგი პარამეტრებისა მაგ., დენადობის პირობითი ზღვრების ( $\sigma_{0,2}$  ან  $\sigma_{0,02}$ ), განდინების ძაბვის ( $\sigma_i$ ), ანუ ძაბვის დეფორმაციის ნებისმიერი ხარისხისთვის, სიმტკიცის ზღვრის  $\sigma_m$ , ანუ პირობითი ძაბვისა, რომელიც იმ მაქსიმალურ დატვირთვას შეესაბამება, რომელსაც მასალა გაუძლებს დაურღვევლად. სიმტკიცის მახასიათებლების გარდა, დიაგრამიდან მასალის პლასტიკური თვისებებიც განისაზღვრება. ხშირად პლასტიკურობის საზომად ფარდობით წაგრძელება  $\delta$ -ს ან ფარდობით შევიწროება  $\Psi$ -ს ირჩევენ.

დიაგრამის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გაჭიმვის მრუდზე დამახასიათებელი წერტილები— $OABCDE$ —ერთმანეთისგან განსხვავებულ სამ უბანს გამოყოფენ. განვიხილოთ გაჭიმვის მრუდის ცალკეული უბნები და იქ მიმდინარე პროცესები:

**1) დრეკადი დეფორმაციის  $OA$  უბანი.** დიაგრამის სწორხაზოვანი  $OA$  მონაკვეთი წარმოადგენს ნიმუშის დრეკადი დეფორმაციის უბანს. იგი ასახავს  $P$  დატვირთვასა და  $\Delta l$  წაგრძელებას შორის პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებას. ამ უბანზე დეფორმაცია შექცევადია: თუ ნიმუშს დავტვირთავთ  $A$  წერტილის ორდინატის შესაბამისი  $P_p$  სიდიდის გამჭიმავი ძალით და შემდეგ განვტვირთავთ, შევნიშნავთ, რომ ნიმუშის სიგრძე იმავე კანონით შემცირდება, რომლითაც ის დატვირთვის დროს იზრდებოდა. ე.ი., ამ უბანზე, ნიმუშში, მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციები აღიძვრება.  $A$  წერტილის (რომელშიც პროპორციულობის კანონი

ნი წყვეტს მოქმედებას) ორდინატის  $P_P$ -ს სიდიდის მიხედვით გამოითვლება პროპორციულობის ზღვარი:

$$\sigma_P = \frac{P_P}{F_0},$$

სადაც  $F_0$  არის ნიმუშის განივკვეთის საწყისი ფართობი.

ამრიგად, პროპორციულობის ზღვარი ეწოდება იმ უდიდეს ძაბვას, რომლის ატანაც შეუძლია მოცემულ მასალას, პროპორციულობის კანონიდან გადაუხრეულად. პროპორციულობის ზღვარი  $\sigma_P$ , პრაქტიკულად, დენადობის ზღვარს ემთხვევა. ამიტომ, მექანიკური გამოცდებისას, მისი განსაზღვრა არ ხდება. ინგლისისა და ამერიკის ნორმებში პროპორციულობის ზღვარი ხშირად დენადობის ზღვართანაა გაიგივებული.

$P_P$  დატვირთვის სიდიდე დამოკიდებულია ნიმუშის ზომებსა და მასალის ფიზიკურ თვისებებზე. იგი იმ დატვირთვას შეესაბამება, რომლის სიდიდემდეც პუკის კანონია სამართლიანი. ე.ი.,  $OA$  უბანი ვრცელდება იმ მომენტამდე, სანამ ნიმუში მასზე მოდებული დატვირთვის მოხსნის შემდეგ საწყის ზომებს დაიბრუნებდეს, ანუ ნიმუშის საწყის საანგარიშო სიგრძეზე დატვირთვა გავლენას ვერ ახდენს.

$A$  წერტილის შესაბამის რომელიმე მდგომარეობამდე დატვირთვასა და დეფორმაციას შორის არსებული სწორხაზოვანი ფუნქციონალური დამოკიდებულება გამოისახება  $tga$  სიდიდით, სადაც  $\alpha$  არის კუთხე  $ON$ -სა და წაგრძელების  $\Delta l$  დერძს შორის. ამგვარად,  $ON$  ხაზის ნებისმიერი წერტილისათვის ძალა შემდეგნაირად შეიძლება გამოისახოს:

$$P = \Delta l t g \alpha.$$

$ON$  დახრილი ხაზი გვიჩვენებს მასალის სიხისტეს, ანუ იმ მახასიათებელს, რომელიც მიუთითებს თუ როგორ ცვლის მასალის ატომთშორის მანძილებს გარედან მოდებული დატვირთვა (ამ სიდიდით, მიახლოებით, საკვლევი მასალის ატომთშორის მიზიდულობის ძალებს ახასიათებენ).  $ON$  ხაზის დახრის კუთხის  $\alpha$ -ს ტანგენსი ( $tg\alpha$ ) დრეკადობის ნორმალური  $E$  მოდულის პროპორციულია და რიცხობრივად

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} .$$

$tg\alpha$ -ს სიდიდე დაკავშირებულია დრეკადობის ნორმალურ  $E$  მოდულთან და იგი ყოველი ლითონის ინდივიდუალური მახასიათებელია.

$A$  წერტილის შემდეგ  $ON$  ხაზი გამრუდება იწყებს. თუ საცდელ ნიმუშს დატვირთავთ გამჭიმავი ძალით, რომელიც  $B$  წერტილის  $P_e$  ორდინატის სიდიდეს არ აღემატება და განტვირთავთ, მაშინ, განტვირთვისას, ნიმუშის დეფორმაცია შემცირდება იმავე კანონით, რომლითაც ის მატულობდა დატვირთვისას. მაშასადამე, ამ შემთხვევაშიც, ნიმუშში მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციები აღიძვრება.

დავუშვათ, რომ დატვირთვის თანდათან მატებას თან ახლავს მისი სრული განტვირთვა. მაშინ, მანამ სანამ დეფორმაცია ინარჩუნებს დრეკად ხასიათს, განტვირთვას თან უნდა ახლდეს მისი სრული გაქრობა. თუ  $B$  წერტილის შესაბამისი სიდიდე  $P_e$  უდიდესია იმ ძალებს შორის, რომლებსაც განტვირთვისას უძლებს ნიმუში, ნარჩენი დეფორმაციის გარეშე, მაშინ იგი დრეკადობის ზღვრის შესაბამისი ძაბვის სიდიდე იქნება და ასე გამოისახება:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} .$$

ამრიგად, დრეკადობის ზღვარი ეწოდება უდიდეს ძაბვას, რომლის ატანაც შეუძლია მოცემულ მასალას განტვირთვისას, ნარჩენი დეფორმაციის გარეშე. დრეკადობის ზღვრის დადგენა ტექნიკურად რთული პროცესია. ამის გამო, პრაქტიკულად, გამოითვლიან იმ ძაბვას, რომლის დროსაც ნარჩენი დეფორმაცია ძალიან მცირეა (0,005, 0,05, ან 0,01%) და აღნიშვნაში უჩვენებენ ნარჩენი დეფორმაციის სიდიდეს ( $\sigma_{0,005}$ ,  $\sigma_{0,05}$ ,  $\sigma_{0,01}$ ).

დრეკადობის ჭკმმართველი ზღვრის ნაცვლად განისაზღვრება ტექნიკური დრეკადობის ( $\sigma_e$ ) ზღვარი. იგი იმ ძაბვას შეესაბამება, რომლის მოდებაც ნიმუშში 0,01, 0,05 ან 0,005% ნარჩენ დეფორმაციას იწვევს (ფრანგულ ნორმებში "დრეკადობის ზღვარი" დენადობის ზღვარს აღნიშნავს). მისი განსაზღვრა საფეხუროვანი დატვირთვა-განტვირთვით და ყოველი საფეხურის შესაბამისი წავრძელების გაზომვით ხდება. პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ ნარჩენი დეფორმაცია წინასწარგანსაზღვრული დეფორმაციის 0,01 ან 0,005% სიდიდეს არ მიაღწევს. საზომი ხელსაწყო-ექსტენზომეტრის-ნიმუშზე მცირე წინასწარი დატვირთვით დაყენების შემდეგ, (მასალას) მოსალოდნელი დრეკადობის ზღვრის 90%-ის სიდიდის ძაბვით დატვირთავენ. ამ დატვირთვას ინარჩუნებენ მანამ, სანამ მზომი არ შეწყვეტს დეფორმაციის ჩვენებას (არანაკლებ 10 წმ-ისა, რომ გათვალისწინებულ იქნეს მერმექმედება). ამის შემდეგ ხდება ნიმუშის განტვირთვა საწყის დატვირთვამდე და დეფორმაციის გაზომვა. ეს პროცესი, ძაბვების 10–20 წ-ის მატებით, გრძელდება მანამ, სანამ საანგარიშო სივრძის ნარჩენი დეფორმაცია 0,01%-ს (0,005%) არ მიაღწევს.

აღსანიშნავია, რომ დრეკადობის ზღვარი არ ემთხვევა პროპორციულობის ზღვარს. ისინი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად არსებობენ. მათ შორის განსხვავება იმდენად

მცირეა, რომ პლასტიკურობის თეორიაში მას, ჩვეულებრივ, უგულებელყოფენ. პრაქტიკულად კი თითოეული მათგანი საკმარისია (გაჭიმვისას) დრეკადი დეფორმაციისადმი ლითონის უდიდესი წინააღმდეგობის დასახასიათებლად.

*B* წერტილის შემდეგ, გაჭიმვის მრუდი *ON* სწორი ხაზიდან გადახრას იწყებს. დეფორმაცია იზრდება დატვირთვაზე სწრაფად. ირღვევა პროპორციულობა ძაბვასა და დეფორმაციას შორის. პროპორციულობის ზღვარს ზემოთ, ფოლადის ცალკეულ კრისტალში, შესამჩნევი პლასტიკური დეფორმაციები ვითარდება. ისინი გაჭიმვის დიაგრამაზე სწორი ხაზის გამრუდებას და დენადობის ბაქანთან მიერთებას იწვევენ. ე.ი. ძაბვა, დრეკად დეფორმაციასთან ერთად, ნარჩენ პლასტიკურ დეფორმაციასაც იწვევს და მდოვრედ მიიწვევს *C* წერტილამდე. იმ შემთხვევაში, როდესაც გამჭიმავი ძალა  $P_e$ -ზე მეტი გახდება ნიმუშის განტვირთვისას, დეფორმაცია სრულად არ გაქრება და დიაგრამაზე მივიღებთ დატვირთვის პარალელურ განტვირთვის  $CC'$  ხაზს. ამ შემთხვევაში  $C_1$  წერტილამდე სრული დეფორმაცია შეადგენს:

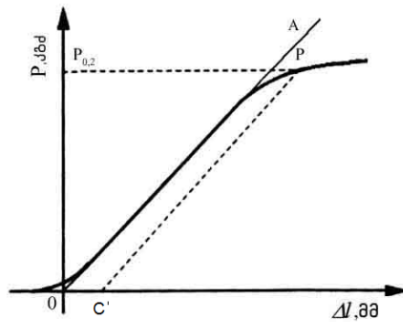
$$\Delta l = \Delta l_c + \Delta l_{ec}.$$

ამრიგად, *C* წერტილის დამახასიათებელი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ნიმუშის  $P_e$  სიდიდეზე მეტი ძალით დატვირთვის და შემდგომი განტვირთვისას, ამ წერტილიდან ნიმუშში ნარჩენი დეფორმაცია წარმოიქმნება.

პრაქტიკულად დენადობის  $\sigma_s$  ზღვარი, ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამაზე, ნიმუშის საწყის კვეთზე მოღებულ ძაბვას შეესაბამება. იგი დრეკადობის არის დასრულების შემდეგ გაჭიმვის მრუდის სწორხაზოვანი მონაკვეთიდან ნათლად

გამოხატულ გადახრას იწვევს. ამ დროს, წაგრძელების მატების მიუხედავად, საცდელი მანქანის ძალასაზომის ისარი პირველად გაჩერდება ან უკან გადაიხრება. დენადობის დაწყების შემდეგ ძაბვის შემცირების დასაწყისი დენადობის ზედა ზღვარს შეესაბამება, ხოლო ქვედა ზღვარი—იმ სიდიდეს, რომელამდეც, ზედა ზღვრის გამოვლენის შემდეგ, ძაბვა ვარდება. ნათლად გამოხატული დენადობის ზღვარი მხოლოდ ზოგიერთ პლასტიკურ მასალას აქვს. მათთვის დამახასიათებელია, ე.წ. დენადობის მკვეთრი ზღვარი, ანუ "დენადობის კბილი". როდესაც არ გვაქვს ნათლად გამოხატული დენადობის ზღვარი, დენადობის ზღვრად აიღება იმ ძაბვის მნიშვნელობა, რომლის მოდებისას საწყისი საანგარიშო სიგრძე 0,2%-ით დეფორმირდება. მას დენადობის პირობით ზღვარი ეწოდება და აღინიშნება  $\sigma_{0,2}$ -ით. დენადობის პირობითი ზღვრის განსაზღვრა ორი მეთოდით ხდება:

1. დრეკადობის ზღვრის ანალოგიურად (იმ განსხვავებით, რომ წინასწარგანსაზღვრული ნარჩენი დეფორმაცია 0,01%-ის ნაცვლად 0,2% აიღება);
2. სურ. 34-ის შესაბამისად, საცდელი მანქანით ჩაწერილი ძაბვა—დეფორმაციის დიაგრამით.



სურ. 34. გაჭიმვის მრუდიდან  $\sigma_{0,2}$ -ის განსაზღვრის სქემა

ძაბვა-დეფორმაციის დიაგრამით განისაზღვრება მხოლოდ სიმტკიცის მახასიათებლები  $\sigma_{დრ}$  და  $\sigma_{0,2}$  (ასეთი გზით განსაზ-

ღვრული დენადობის პირობითი  $\sigma_{0,2}$  ზღვარი შეიცავს, დამატებით, მანქანის მომჭერების უმნიშვნელო გადაადგილებებსა და დეფორმაციას. ამ დიაგრამაზე ნორმალური დრეკადობის მოდული ნამდვილ სიდიდეზე გაცილებით ნაკლებია, რადგან დიაგრამის ჩამწერი აპარატი მანქანის ნაწილების დრეკად დეფორმაციებსაც აფიქსირებს. დრეკადობის მოდულის განსასაზღვრად გამოსაცდელ ნიმუშზე კიდებენ ტენზომეტრებს, რომლებიც მცირე სიდიდის დეფორმაციების განსაზღვრის და  $OA$  უბნის ზუსტად აგების საშუალებას იძლევა. იმავე მიზეზით დეფორმაციის  $\delta$  და  $\Psi$  მახასიათებლები განისაზღვრებიან არა დიაგრამით, არამედ ნიმუშის გეომეტრიული ზომების გაზომვით გამოცდამდე და გამოცდის შემდეგ.

საცდელი მანქანის ძალასაზომი მექანიზმის ფოლხვის, რევერსორში არსებული დრეჩოების ან ნიმუშის თავებსა და ტრავერსაში მათთვის განკუთვნილ ბუდეებს შორის არასრული კონტაქტის გამო მანქანური დიაგრამის საწყისი უბანი მრუდხაზაა. მისი გამორიცხვა დიაგრამის აბსცისის გადაკეთამდე სწორხაზოვანი უბნის გაგრძელებით ხდება. სწორი ხაზისა და აბსცისის გადაკვეთის წერტილი აიღება დიაგრამის საწყის წერტილად. დიაგრამაზე ერთდროულად ნიმუშის, რევერსორის და მანქანის შუალედური რგოლების ჯამური დეფორმაცია იწერება. დიაგრამის მიხედვით ჯამური დეფორმაციიდან ნიმუშის სუფთა დეფორმაციის გამოყოფა საკმაოდ ძნელია.

პრაქტიკულად, საცდელ მანქანაზე ჩამწერილი გაჭიმვის მრუდიდან დენადობის ფარდობითი ზღვრის განსაზღვრისას, ნიმუშის სამუშაო სიგრძიდან გამომდინარე (დადგენილი დაშვებების გათვალისწინებით), ნარჩენი დეფორმაციის სიგრძე გამოითვლება. გამოთვლილი სიდიდე გადიდება დიაგრამის მასშტაბის პროპორციულად და მიღებული სიგრძის შესაბამისი მონაკვეთი, წაგრძელების ღერძზე,  $O$  წერტილიდან გადაიზომება.  $C'$  წერტილიდან გავლებული  $OA$  ხაზის პარალელური ხაზის გაჭიმვის მრუდთან გადაკვეთის

$P$  წერტილით განისაზღვრება  $P_{0,2}$  დატვირთვა, რომელიც, ნარჩენი დეფორმაციის სიდიდეზე მოცემული დაშვებით, დენადობის ფარდობით ზღვარს შეესაბამება (ასეთი გამოთვლებისას, დიაგრამის მასშტაბი წავგრძელების დერძზე  $\geq 50:1$ ). ტექნიკურ გაზომვებში მიღებულია პროცენტებში გამოსახული, ე.წ.  $\sigma_{0,2}$ , ანუ ის ძაბვა, რომელიც ნიმუშის სიგრძის ან სხვა ზომის 0,2% ნარჩენ დეფორმაციას იწვევს:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \cdot 100\%.$$

ასეთი წესით დენადობის პირობითი ზღვარი განისაზღვრება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც გაჭიმვის მრუდზე დენადობის ბაქანი არ არსებობს. დენადობის ფარდობითი ზღვრის განსაზღვრისას დატვირთვის სიჩქარე 1,0-დან 30,0-მდე მპა წმ<sup>-1</sup>-ის ზღვრებში უნდა იყოს.

ამრიგად, გაჭიმვისას დენადობის ზღვარი ეწოდება იმ ძაბვას, რომლის დროსაც ნიმუშში აღიძვრება ნარჩენი დეფორმაცია და ვრცელდება გაჭიმვის ძალის დროებითი მუდმივობისას მის სამუშაო სიგრძეზე. დენადობის ზღვრის შემდეგ გამჭიმავი ძალა იწვევს მდოვრედ ზრდას.

**2) დრეკად-პლასტიკური CE უბანი.** აქ დატვირთვა უფრო ნაკლები სიმკვეთრით განაგრძობს მატებას, ვიდრე პირველ უბანზე და დეფორმაცია უკვე შეუქცევია, იგი თანაბრად განაწილებული ნიმუშის სიგრძეზე.

გაჭიმვის მრუდის  $D-E$  უბანზე ნიმუში დრეკად-პლასტიკურად დეფორმირდება.  $E$  წერტილში დატვირთვა აღწევს მაქსიმუმს ( $P_m$ -ს). ამ მომენტამდე ცილინდრული ნიმუშის

სამუშაო სიგრძე ინარჩუნებს ღეროს ფორმას. იგი მთელ სიგრძეზე თანაბარი წაგრძელებითა და განიკვეთის ფართობის მუდმივობით ხასიათდება. თუ ჩვენ  $E$  წერტილში ნიმუშს წარმოსახვით განტვირთავთ, მაშინ განტვირთვის  $EE'$  ხაზი  $ON$  ხაზის პარალელური იქნება. რადგან დრეკადი დეფორმაციის მოდული განტვირთვისას მუდმივო რჩება, ამიტომ დეფორმაცია ასე გამოისახება:

$$\Delta l_E = OE'$$

$E$  წერტილის შემდეგ  $EF$  მრუდი დაბლა ეშვება. ნიმუშის შეზღუდულ სიგრძეზე დეფორმაცია იწყებს თავმოყრას. შედეგად, ნიმუში ადგილობრივად შევიწროვდება და წარმოიქმნება, ე.წ., "ყელი". ამ დროს ყელის კვეთში ძაბვა იზრდება, ხოლო დატვირთვის ძალა მცირდება. მაქსიმალური  $P_E$  ძალის შესაბამისი პირობითი ძაბვა აღინიშნება  $\sigma_m$ -ით და მას პრაქტიკაში სიმტკიცის ზღვარს უწოდებენ. რეალურად, პლასტიკურ მასალებში, ის არის ნიმუშის სამუშაო ნაწილის თანაბარი ნარჩენი დეფორმაციის გამომწვევი უდიდესი ძაბვა, რომლის გადაჭარბებისას ნიმუში არათანაბარ დეფორმირებას იწყებს, ჩვეულებრივ, დატვირთვის შემცირებით. იგი გამოისახება ფორმულით:

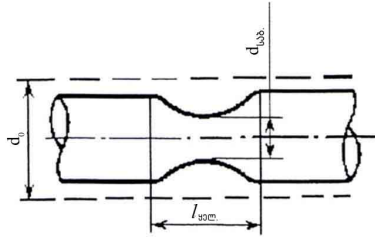
$$\sigma_m = \frac{P_E}{F_0} ,$$

სადაც:  $P_E$  არის გაჭიმვის მრუდის უდიდესი  $P_m$  ორდინატის შესაბამისი გრძივი ძალა;  
 $F_0$ —ნიმუშის განიკვეთის საწყისი ფართობი.

$\sigma_m$ -ის პირობითობა იმაში მდგომარეობს, რომ გაჭიმვის ჭეშმარიტი ძაბვა- $S_E$ ,  $E$  წერტილში, მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე  $\sigma_m$ , რადგან, გაჭიმვისას განიკვეთის ფართობი  $F_E$  მცირდება და  $F_0$ -ზე ნაკლები ხდება.

იმ ლითონებისათვის, რომლებიც ყელის წარმოქმნით ირღვევა,  $\sigma_m$  ახასიათებს ლითონის წინააღმდეგობის უნარს პლასტიკური დეფორმაციისადმი და კავშირი არა აქვს სიმტკიცის ზღვართან გაჭიმვისას. იმ ლითონებისთვის, რომლებიც ირღვევა ყელის წარმოქმნის გარეშე, ე.ი. გაჭიმვის მრუდის აღმაველ  $CE$  მონაკვეთზე,  $\sigma_m$  წარმოადგენს სიმტკიცის ზღვრულ მახასიათებელს მოწყვეტისას (ასეთ მოვლენას თან ახლავს რღვევის რელიეფის კრისტალური აღნაგობა და ამ დროს პლასტიკური დეფორმაცია თითქმის არ ხდება). ნარჩენი პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე, მოწყვეტის გამომწვევი უდიდესი ჭეშმარიტი  $S_E$  ძაბვა შეესაბამება მოწყვეტის ჭეშმარიტ  $S_T$  წინააღმდეგობას;

**3) თავმოყრილი დეფორმაციის  $EF$  უბანი.** პლასტიკური მასალების დიაგრამაზე, ძაბვის მაქსიმუმიდან დაწყებული უფრო მდგრადია ლოკალური დეფორმაცია და ნიმუშის დანარჩენი ნაწილი პრაქტიკულად არ დეფორმირდება.  $\sigma_m$  ძაბვიდან დაწყებული, დეფორმაცია თავს იყრის ნიმუშის ერთ ყველაზე სუსტ უბანზე. ამ უბანზე დატვირთვა მცირდება, ნიმუშის განიკვეთი ადგილობრივად შევიწროვდება და სურ. 35-ის შესაბამისად, ე.წ., “ყელი” ჩნდება.



სურ. 35. ნიმუშის განივკვეთის ადგილობრივი შევიწროება (ყელი)

ამ მომენტიდან დეფორმაციაში სიგრძის მხოლოდ მცირე ნაწილი მონაწილეობს და ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა: მოცულობის მუდმივობა, წაგრძელება, შევიწროება, დეფორმაციის მუშაობა და სხვ. ნიმუშის მხოლოდ მცირე მოცულობის, ყელის, მინიმალური განივკვეთის მომიჯნავე ნაწილებს მიეწერება.

ტექნიკური მასალების უმრავლესობა თანაბრად წაგრძელება პლასტიკური გაჭიმვის მხოლოდ პირველ სტადიაზე. გარკვეული მომენტიდან, რომელიც გაჭიმვის დიაგრამაზე მაქსიმალური ძაბვის შესაბამის მაქსიმალურ თანაბარ წაგრძელებას შეესაბამება, პლასტიკური დეფორმაცია ლოკალიზდება. ამ მომენტიდან ნიმუშის დანარჩენ სიგრძეზე განივკვეთის ფართობი, პრაქტიკულად, უცვლელი რჩება.

ყელის წარმოქმნის მიზეზი შევიწროებული განივკვეთის, მეზობელ შევიწროებულ განივკვეთებთან შედარებით, ნაკლები სიმტკიცეა. იმისათვის, რომ ნიმუში მთელ სიგრძეზე თანაბრად გაიჭიმოს აუცილებელია განივკვეთი, რომელიც შევიწროებას იწყებს, დეფორმაციისას უფრო მტკიცე გახდეს, ვიდრე მეზობელი ნაწილებია. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს: 1. დეფორმაციული განმტკიცება (ფიზიკური); 2. ყელში დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდით გამოწვეული განმტკიცება; 3. გეომეტრიული განმტკიცება. ამ დროს ყელი მოქმედებს როგორც ჩანაჭერი, რომელიც,

პლასტიკურ მასალებში ძაბვის მაქსიმუმის გადალახვის შემდეგ, ნიმუშის შიგნით პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის გაზომვას იწვევს (დაძაბული მდგომარეობის სქემის ცვლილების გამო, ე.ი. მხები ძაბვების ფარდობითი წილი მცირდება).

მრავლობითი სრიალის განვითარების შემდეგად, ყელში მაღალი სიმკვრივის ვაკანსიები და დისლოკაციები ჩნდება. თავის მხრივ, ისინი არამთლიანობების ჩანასახების წყაროდ იქცევიან და მათი შემდგომი გამსხვილება ფორებს წარმოქმნის. ფორების ურთიერთშერწყმა, გაჭიმვის ღერძის განივი მიმართულებით, იწვევს ბზარების ჩასახვას. ბზარების შემდეგი განვითარების შემდეგად, ნიმუშის მთლიანობა ირღვევა. ყელის წარმოქმნის შემდეგ, გაწყვეტის მომენტში,  $P_F$  ძალა, რომელიც  $F$  წერტილის ორდინატს შეესაბამება, რღვევის ნამდვილ ანუ “ჭეშმარიტ”  $S_F$  წინაღობას განსაზღვრავს. რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა არის მაქსიმალური ძაბვა, რომელსაც მასალა უძლებს რღვევის წინა მომენტში. იგი გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$S_F = \frac{P_F}{F_F} ,$$

სადაც  $F_F$  არის ნიმუშის ყელის უმცირესი განივკვეთის ფართობი მოწყვეტის მომენტში.

მოცემულ შემთხვევაში  $S_F$ -ის ბუნება სრულიად განსხვავებულია  $S_T$ -ს ბუნებისგან. რღვევის ჭეშმარიტი  $S_F$  წინაღობა წარმოადგენს უდიდეს საშუალო ნორმალურ ძაბვას ნიმუშის ყელის განივკვეთში, რომელსაც ის უძლებს, ძირითადად, ძვრის (ჭრის) ძაბვების მოქმედებით რღვევისას.

რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე სიმტკიცის ზღვარი, ვინაიდან იგი განისაზღვრება არა საწყისი, არამედ ნიმუშის განიგვეთის საბოლოო, რღვევის მომენტში არსებულ ფაქტობრივ ფართობთან შეფარდებით. ჭეშმარიტი  $S_i$  ძაბვები განისაზღვრება როგორც დატვირთვის ფარდობა, დროის მოცემულ მომენტში, რეალურად არსებულ განიგვეთის ფართობთან:

$$S_i = \frac{P_i}{F_i}$$

გაჭიმვაზე გამოცდისას, ნიმუშის ნარჩენი აბსოლუტური წაგრძელების შეფარდებას საწყის საანგარიშო სიგრძესთან, ეწოდება ნარჩენი ფარდობითი წაგრძელება გაჭიმვისას, რომელიც ჩვეულებრივ, პროცენტებში გამოისახება:

$$\delta_F = \frac{\Delta l_F}{l_0} \cdot 100\%.$$

იგი გაჭიმვის მრუდზე ორ პარალელურ  $OA$  და  $FF'$  ხაზებს შორის მონაკვეთს  $OF'$ -ს შეესაბამება.  $E'F' = \Delta l_{EF}$  მონაკვეთი წარმოადგენს თავმოყრილ დეფორმაციას. იგი მიიღება მაქსიმალური  $P_E$  ძალის მიღწევის შემდეგ. საერთო ნარჩენი წაგრძელება, რღვევის შემდეგ, წარმოადგენს თანაბარი და თავმოყრილი, წაგრძელებების ჯამს. იგი განისაზღვრება ნიმუშის საბოლოო და საწყისი სიგრძეების სხვაობით.

$$\Delta l_F = l_F - l_0$$

$F'F_1$  მონაკვეთი, (სურ. 33) ნიმუშის რღვევის მომენტში დრეკადი მიღევადი წაგრძელებაა და გაჭიმვის მრუდზე  $F$  წერტილიდან აბსცისის ღერძზე  $FF_1$  პერპენდიკულარული ხაზის

დაშვებით შემოსახლვრება. იგი  $\Delta L_E$  და  $\Delta L_{EF}$ -თან შედარებით, ლითონებისთვის, მეტისმეტად მცირე სიდიდეა. ამიტომ ნიმუშის ნარჩენი დეფორმაციის გაზომვისას, ეს სიდიდე, უმეტეს შემთხვევებში, უგულებელყოფილია (პრაქტიკაში  $F'$  და  $F_1$  წერტილები განიხილება როგორც ერთი  $F'$  წერტილი).

თავმოყრილი წაგრძელება, ჩვეულებრივ, ნიმუშის შეხლულული ნაწილის სიგრძეზე (ნიმუშის დიამეტრის დაახლოებით 1,5–2 სიდიდეზე) ვრცელდება. ამ ნაწილის სახლვრებში  $L_{EF}$  წაგრძელება უკიდურესად არათანაბრადაა განაწილებული. იგი უმცირესი  $F_F$  კვეთიდან ორივე მხარეს სიმეტრიულად კონცენტრირდება. ამგვარად, ნარჩენი ფარდობითი წაგრძელების ფორმულიდან გვაქვს:

$$\delta_F = \frac{\Delta L_F}{l_0} = \frac{\Delta L_E}{l_0} + \frac{\Delta L_{EF}}{l_0} .$$

ამ ფორმულაში მეორე შესაკრები აზრს კარგავს, ვინაიდან  $\Delta L_{EF}$  დეფორმაცია მთელ  $l_0$  სიგრძეზე არ ვრცელდება.  $\delta_F$ -ს, მისი არასრულყოფილობის გამო, პლასტიკურობის შესაფასებლად არ იყენებენ, როცა პლასტიკურობის უფრო მიზანშეწონილი შეფასების მიღებაა შესაძლებელი.

ჩვეულებრივ, ფარდობითი წაგრძელების შედარებადი მნიშვნელობების მისაღებად გამოიყენება პროპორციული ნიმუშები. ფარდობითი წაგრძელება დიდადაა დამოკიდებული საანგარიშო სიგრძის სიდიდეზე. ფარდობითი წაგრძელება მით უფრო მეტია, რაც უფრო მოკლეა (მოცემული კვეთის) ნიმუში. გაჭიმვაზე (განსაკუთრებით საარბიტრაჟო) გამოცდებისას, უპირატესად, ხუთჯერადი პროპორციული ნიმუშები გამოიყენება. არაპროპორციული ნიმუშების გამოყენებისას, საანგარიშო სიგრძე, ძირითადად, 100 ან 200 მმ-ია. ასეთ ნიმუშებზე მიღებული წაგრძელების მაჩვენებე-

ლი შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს პროპორციული ნიმუშების გამოცდისას მიღებული მაჩვენებლებისგან.

გაჭიმვაზე გამოცდის პროცესში, წაგრძელების პარალელურად მისი შევიწროებაც, ე.ი. განიკვეთის ფართობის შემცირებაც ხდება. ცილინდრული ნიმუშებისთვის მიღებული აღნიშვნების გამოყენებით გვექნება:

$$\Psi_F = \frac{F_0 - F_F}{F_0} \cdot 100\%.$$

სადაც  $\Psi_F$  არის ნიმუშის გაჭიმვისას განიკვეთის პირობითი ფარდობითი შევიწროება, ჩვეულებრივ, გამოსახული პროცენტებში. ამ განსაზღვრას ხშირად განიკვეთის შევიწროებას ან კუმშვას უწოდებენ.  $\Psi_F$ -ის პირობითობა გამომდინარეობს აბსოლუტური  $F_0 - F_F$  შევიწროების შეფარდებით საწყის  $F_0$ -თან, რადგან განიკვეთის ნამდვილი სიდიდე გაჭიმვის პროცესში იცვლება.  $\Psi_F$  სიდიდე არის ჯამი თანაბარი წაგრძელების უბანზე კვეთის ცვლილებისა და გაწყვეტის ადგილზე, ყელში, ადგილობრივი შევიწროებისა. მრგვალი კვეთის ნიმუშების შემთხვევაში, ფარდობითი შევიწროება განისაზღვრება ყელის ყველაზე წვრილი ადგილის ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულების დიამეტრების გაზომვით. ბრტყელი ნიმუშების შემთხვევაში, მათი წახნაგების შუა ნაწილები უფრო ძლიერ იკუმშება, ვიდრე წიბოები. ამიტომ, შევიწროება განისაზღვრება უმცირესი სისქის და უმცირესი სიგანის გაზომვით, ანუ გაწყვეტის სიბრტყეში ჩახახული სწორკუთხედით.

$\Psi_F$  ( $\delta_F$ -თან ერთად) ლითონის დეფორმირებადობის მეორე მახასიათებლად ითვლება.  $\Psi_F$  არის უდიდესი ფარდობითი შევიწროება ლითონისათვის, რომელიც მიიღება რღვევისას

ყელის უმცირეს კვეთში. იგი ახასიათებს ლითონის უდიდეს პლასტიკურობას ყელში, დაძაბული მდგომარეობისას, რომლის მოცემაც რღვევისას ფარდობით წაგრძელებას არ შეუძლია. ამიტომ, გაჭიმვისას,  $\Psi_F$  ითვლება პლასტიკურობის ყველაზე უფრო მარტივ და არსებით მახასიათებლად. ფარდობითი შევიწროება  $\Psi$  შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს არა მარტო ნიმუშის უმცირესი  $\Psi_F$  განივკვეთისთვის, არამედ, გაჭიმვის ნებისმიერ მომენტში, ნებისმიერი სხვა განივკვეთისათვისაც, ზოგადი ფორმულით:

$$\Psi_i = \frac{F_0 - F_i}{F_0} .$$

კერძოდ,  $E$  წერტილისთვის განივკვეთის უდიდესი თანაბარი შევიწროება  $\Psi_E$ , თუ განივკვეთის ფართობი ამ შემთხვევისთვის იქნება  $F_E$ , განისაზღვრება როგორც:

$$\Psi_E = \frac{F_0 - F_E}{F_0} .$$

უდიდესი თანაბარი შევიწროების  $\Psi_E$ -ს გარდა, ლითონს აქვს თავმოყრილი შევიწროების  $\Psi_{EF}$  მნიშვნელობაც. იგი მიიღება ნიმუშზე, რომელსაც უკვე აქვს  $E$  წერტილის შესაბამისი თანაბარი დეფორმაცია, ანუ  $\delta_E$  ან  $\Psi_E$ . მისი სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Psi_F = \frac{F_E - F_F}{F_E} .$$

ნიმუშის რღვევამდე, მისი დეფორმირების პროცესში, გარკვეული სიდიდის მექანიკური მუშაობა სრულდება. იგი გაჭიმვის მრუდსა და დეფორმაციის ღერძს შორის

$OABCDEF_1O$  ფართობის პროპორციულია და მას ლითონის სიბლანტის მახასიათებელი ეწოდება.

სიმტკიცის თვალსაზრისით, მთელი გაჭიმვის მრუდი შეიძლება წარმოვიდგინოთ  $E$  წერტილით ორ ნაწილად გაყოფილად.  $E$  წერტილი შეესაბამება განვითარების უნარის მქონე ბზარის წარმოქმნის მომენტს. ბზარის შემდგომი ზრდა ნიმუშის დაცალკევებას იწვევს. თუ  $E$  წერტილიდან აბსცისაზე დავუშვებთ ვერტიკალურ  $EE_1$  ხაზს, მაშინ ამ ხაზის მარცხნივ მდებარე ფართობი იმ მუშაობის პროპორციული იქნება, რომელიც ბზარის ჩასახვისთვისაა აუცილებელი, ხოლო მარჯვენა ნაწილი, ნიმუშის მთელ განივკვეთზე, ბზარის გავრცელების მუშაობას შეესაბამება. მთელი მუშაობა კი წარმოადგენს მათ ჯამს.

$E$  წერტილის შემდეგ შესაძლებელია განვითარდეს ლითონის ქცევისათვის პრინციპულად განსხვავებული ორი შემთხვევა. თუ ბზარის ჩასახვის შემდეგ მისი გავრცელება რაღაც მუშაობას საჭიროებს, ასეთ რღვევას ბლანტი რღვევა ეწოდება. იგი განსაზღვრული სახის რღვევის რელიეფით ხასიათდება. ასეთ შემთხვევაში ბზარის გავრცელების მუშაობა  $A \gg 0$ -ზე. თუ  $E$  წერტილში მრუდი მოწყდება, მაშინ ბზარის გავრცელების მუშაობა  $A \approx 0$  და ლითონი მყიფედ ირღვევა. შესაძლებელია შუალედური შემთხვევაც: დასაწყისში ბლანტი და შემდეგ – მყიფე რღვევა.

განხილული მასალა გვიჩვენებს, რომ გაჭიმვაზე ერთდერძა სტატიკური გამოცდისას, განისაზღვრება: ძაბვის ერთეულებში–დრეკადი თვისებები; მცირე პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობის უნარი; მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციებისადმი წინაღობის უნარი; რღვევისადმი წინა-

ლობა; თვისებები, რომლებიც ახასიათებენ პლასტიკურობას პროცენტებში და სტატიკური სიბლანტეს მუშაობის ერთეულებში.

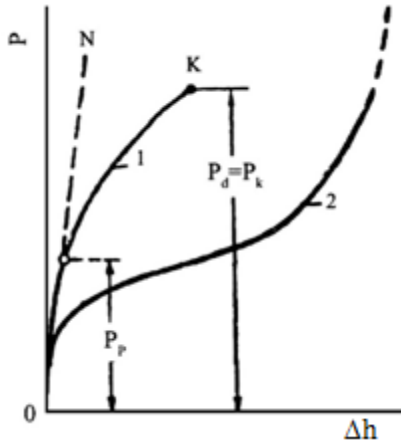
## **5.7 კუმშვაზე სტატიკური გამოცდა, გამოსაცდელი ნიმუშების ფორმა და ზომები**

კუმშვაზე სტატიკური გამოცდა შავი და ფერადი ლითონებისა და შენადნობების მექანიკური თვისებების მახასიათებლების განსაზღვრის ერთ-ერთი ყველაზე რბილი მეთოდია. ტექნიკურად ფასეულ მრავალ მასალას (მაგ., თუჯს და ზოგიერთ სამსხმელო შენადნობს), პლასტიკურობის უკმარისობის ან მოწყვეტის მცირე წინააღმდეგობის გამო, მექანიკური თვისებების დასადგენად დაძაბული მდგომარეობის “რბილი” (ანუ როდესაც განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი  $v=0,25$ -ს სიხისტის მაჩვენებელი  $\alpha=2$ -ს) მეთოდი ესაჭიროება. გამოცდის ასეთ ერთ-ერთ მეთოდს ერთდერძა კუმშვა წარმოადგენს. კუმშვაზე ღერძული გამოცდისას, ნიმუშები მოკლდება, ხოლო მათი განივკვეთები ფართოვდება. თეორიულად კუმშვა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც საწინააღმდეგოდ მიმართული გაჭიმვა. აქედან გამომდინარე, ყველა ის განსაზღვრება, რომელიც ლითონების გაჭიმვაზე გამოცდისთვისაა დამახასიათებელი ამავე ფორმულირებას ინარჩუნებს კუმშვისთვისაც შექცეული მიმართულებით. ე.ი., კუმშვისას, მექანიკური თვისებების იგივე მახასიათებლები იზომება, რომლებიც გაჭიმვისას, ოღონდ შებრუნებული ნიშნით (ნიმუშის დამოკლება, წაგრძელების ნაცვლად და განივკვეთის ფართობის მატება, შემცირების ნაცვლად). შესაბამისად, კუმშვისას, ჭეშმარიტი ძაბვები პირობითი ძაბვების მნიშვნელობებზე ნაკლებია. დრეკადო-

ბის, პროპორციულობის და დენადობის ზღვრები, კუმშვისას, ხშირად ემთხვევა გაჭიმვის მეთოდით მიღებული შესაბამისი მახასიათებლების სიდიდეებს. ეს იმით აიხსნება, რომ მცირე დეფორმაციებისას, ნიმუშის ტორსებზე ხახუნის გავლენა ჯერ კიდევ არ გამოვლინდება. მიუხედავად ამისა, მეთოდიკის სირთულის გამო (ტენზომეტრების სავალდებულო გამოყენება), ეს მახასიათებლები კუმშვაზე გამოცდისას, იშვიათად განისაზღვრება. გარდა ამისა, ნიმუშის კუმშვაზე გამოცდა, გაჭიმვაზე გამოცდისაგან, რიგი თავისებურებით ხასიათდება, კერძოდ: ა) არ ხორციელდება პლასტიკური მასალების რღვევა (გამოცდის პროცესში მასალები იკუმშება, მაგრამ არ ნაწვევრდება. ე.ი., კუმშვისას პლასტიკური მასალის სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრა შეუძლებელია, რადგან უბრალოდ ის არ არსებობს); ბ) ლითონის კუმშვაზე წინაღობა და დეფორმაცია, რომელსაც ცილინდრული ნიმუში იღებს გამოცდისას, დამოკიდებულია  $h_0/d_0$  ფარდობაზე; გ) გამოცდის შედეგზე ძლიერ მოქმედებს ნიმუშის ტორსებზე (რომლებზეც კუმშვის ძალები გადაიცემა) განვითარებული ხახუნი.

პირველი თავისებურება ცხადადაა წარმოდგენილი სურ. 36-ის შესაბამისად, თუჯისა და მოლბობილი სპილენძის კუმშვის მრუდებით.

მე-2 მრუდი, თუჯის კუმშვის (1-ლი) მრუდისგან განსხვავებით, ფაქტობრივად, არა რღვევის შედეგად, არამედ ნებისმიერად წყვეტს სვლას და, თანაც, ნიმუშის დაურღვევლად გაბრტყელების შემდეგ (კუმშვის შესაძლებლობის შემცირების გამო), ცდილობს ორდინატას პარალელური გახდეს. რითაც გამოირიცხება პლასტიკური მასალის სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრის შესაძლებლობა კუმშვისას.



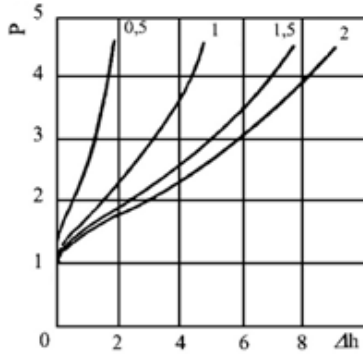
სურ. 36. კუმშვის მრუდების სქემები:

1. თუჯის;
2. მოღობილი სპილენძის

ნიმუშის კუმშვისას რღვევაზე გადასვლა არსებითად სხვაგვარია, ვიდრე გაჭიმვისას. მრავალი მყიფე მასალა, რომელიც გაჭიმვისას მოწყვეტით მყიფედ ირღვევა (თუჯი, ალუმინის სამსხმელო შენადნობები), კუმშვისას მათ ჭრით რღვევა აღენიშნებათ. პლასტიკური მასალების (რბილი ფოლადი, ტყვია და სხვ.) კუმშვისას რღვევა შეუძლებელია. ისინი ბრტყელდებიან და დისკოს ფორმას იღებენ. ამ დროს რღვევის წინააღობისა და პლასტიკურობის სრული გამოვლენა შეუძლებელია.

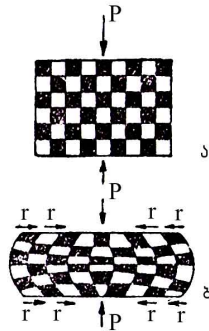
მეორე თავისებურების ახსნას სურ. 37-ის შესაბამისად, ერთი და იმავე მასალის სხვადასხვა  $h_0/d_0$  საწყისი ფარდობის ( $h_0/d_0 = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$ ) კუმშვის დიაგრამები იძლევა.

ერთნაირი ( $\Delta h$ ) სიდიდის კუმშვისას, ძალა ( $P$ ) მით მეტია, რაც უფრო მოკლეა ნიმუში.  $h_0/d_0$  ფარდობის ზრდასთან ერთად,  $P$  ძალის მნიშვნელობები, თანდათან, ერთმანეთს უახლოვდება.



სურ. 37.  $h_0/d_0$  ფარდობის გავლენა წითელი სპილენძის კუმშვის მრუდების სახეზე

მესამე თავისებურების ასხნას იძლევა, სურ. 38-ის შესაბამისად, ფერადი პლასტილის ცილინდრული ნიმუშის პლასტიკური დეფორმაციის პროცესი კუმშვისას. ა. ფორმა შეესაბამება საწყის მდგომარეობას (დეფორმაცია ნულის ტოლია), ხოლო ბ. ფორმა—ნიმუშის სიმაღლის  $1/3$ -ზე კუმშვას. კუმშვისას დამახასიათებელი კანონისებურობა და ცილინდრის გრძივ-დიამეტრულ კვეთში პლასტილის გრძივი და განივი ხაზების



სურ. 38. ცილინდრული ნიმუშის დეფორმაცია კუმშვისას

გამრუდება მოცულობაში, შედეგია არათანაბარი დეფორმაციის. ეს მოვლენა ნიმუშის ტორსებზე ხაზუნის  $r$  ძალების წარმოშობით

აიხსნება. გრძივი კუმშვისას აღიძვრება ხახუნის ძალები, გამო-  
საცდელი წნეხის ფილების მიერ ნიმუშის განივ გაფართოებაზე  
გაწეული წინააღმდეგობით. ისინი ნიმუშის მუშა ნაწილების  
ბოლოებზე განივი დეფორმაციის დამუხრუჭებას იწვევენ. პრაქ-  
ტიკულად დადგენილია, რომ რაც უფრო მოკლეა ნიმუში, მით  
უფრო ძლიერია ხახუნის  $r$  ძალის გავლენა და ლითონის კუმშ-  
ვაზე წინაღობა. კუმშვისას, კუმშვის ძაბვის გაანგარიშება  $\sigma =$   
 $P/F_0$  ფორმულით არანაკლებ პირობითია, ვიდრე ძაბვის გაანგა-  
რიშება გაჭიმვისას ნიმუშის ყელში, რადგან ამ დროსაც განივ-  
კვეთის ფართობი ცვალებადია (მატულობს და ნიმუშის მთელ  
სიმაღლეზე ერთმანეთისგან განსხვავებულია), ხოლო ღერძული  
ძაბვები კვეთებში არათანაბარია.

კუმშვაზე, ძირითადად, მყიფე მასალები (თუჯი, სამსხმელო  
შენადნობები, ბეტონი, ქვა, აგური და სხვ.) გამოიცდება. კუმ-  
შვაზე გამოსაცდელი ოთხი ტიპის ნიმუში არსებობს: 1. ცი-  
ლინდრული, გლუვი ტორსებით; 2. პრიზმული, კვადრატუ-  
ლი კვეთით; 3. პრიზმული, სწორკუთხა კვეთით; 4. ნიმუშე-  
ბი ტორსული ამონაჩარხით.

ლითონების კუმშვაზე გამოსაცდელად, უფრო ხშირად  
ცილინდრული (საწყისი დიამეტრი  $d_0 = 10 - 25$  მმ-ს და  
საწყისი სიმაღლე  $h_0 \approx 3d_0$ -ს, მასალის თვისებებიდან გამომ-  
დინარე, დასაშვებია ფარდობის სხვა მაჩვენებელიც. გრძელი  
ნიმუშების გამოყენება, განივი ღუნვის წარმოქმნის საშიშროების  
გამო, მიზანშეუწონელია) ფორმის ნიმუშები გამოიყენება.  
ნიმუშების ტორსული ზედაპირები გახეხილი და პარალე-  
ლური უნდა იყოს, რადგან გამოცდის შედეგებზე არსებით  
გავლენას ახდენს ტორსებზე ხახუნი.

გამოცდის შედეგების მიხედვით, კუმშვის დიაგრამა აიგება.  
(კოორდინატებში კუმშვის ძალა  $P$ –ნიმუშის აბსოლუტური დამოკ-  
ლება  $\Delta h$  ან პირობითი ძაბვა  $\sigma$ –ფარდობითი დამოკლება  $\varepsilon$ ;

$$\sigma = \frac{P}{F_0},$$

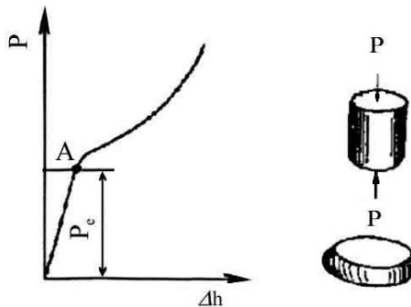
სადაც:  $P$  არის კუმშვის ძალა;  
 $F_0$ –ნიმუშის საწყისი კვეთი.

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0},$$

სადაც:  $h_0$  არის ნიმუშის საწყისი სიმაღლე;  
 $h$ –სიმაღლე დასმის შემდეგ).

კუმშვაზე გამოცდის შედეგად განისაზღვრება არაპლასტიკური მასალების პროპორციულობის, დრეკადობის, დენადობის და სიმტკიცის ზღვრები (პლასტიკური მასალები კუმშვისას დაურღვევლად ბრტყელდება).

კუმშვაზე გამოცდები ტარდება გაჭიმვაზე საცდელ და უნივერსალურ ყველა სისტემის მანქანზე. ცილინდრულ ნიმუშებს (ლითონების შემთხვევაში) ათავსებენ წნეხის ორ პარალელურ ფილას შორის და, თანდათან, უწყვეტად, მზარდი  $P$  ძალით ტვირთავენ. სურ. 39-ის შესაბამისად, კუმშვაზე გამოცდის შედეგების გამოსახვა შესაძლებელია კუმშვის დიაგრამით, რომელიც აიგება კუმშვის ძალა  $P$ –აბსოლუტური დამოკლება  $\Delta h$  კოორდინატებში.



სურ. 39. კუმშვის დიაგრამა და დაბალნახშირბადიანი ფოლადების ნიმუშების რღვევის ხასიათი

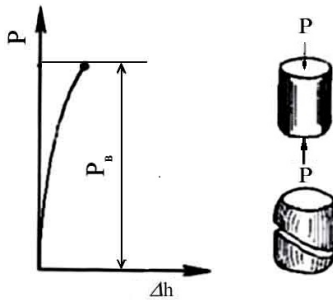
გარეგნულად პლასტიკური მასალის უმეტესობის კუმშვის დიაგრამა ემთხვევა დენადობის ზღვრამდე გაჭიმვის დიაგრამას. დიაგრამის A წერტილი მასალის პროპორციულობის ზღვარს შეესაბამება. მის მომდევნო უბანზე დეფორმაციის უფრო სწრაფი მატება აღინიშნება და დენადობის ბაქანი გამოკვეთილად არ შეინიშნება. ამის გამო, მრავალი მასალისთვის დენადობის ზღვრად ის პირობითი ძაბვა მიიღება, რომლის დროსაც ნარჩენი დეფორმაცია საწყისი სიმაღლის 0,2%-ს შეადგენს. დენადობის ზღვრის განსაზღვრა ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდის ანალოგიურად ხდება:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0},$$

დენადობის ზღვრის შემდეგ ნიმუშის განიკვეთის ფართობის ზრდის შესაბამისად, მრუდი მკვეთრად მაღლა მიიწევს. ნიმუში დეფორმაციის პროცესში, განიკვეთის ფართობის თანდათან მატების გამო, უფრო მეტი და მეტი დატვირთვის ატანისუნარიანი ხდება. ნიმუში კასრისებრ ფორმას იძენს და შემდეგ, რღვევის ნიშნების გამოვლენის გარეშე, შესაძლოა გაბრტყელდეს თხელ ფირფიტამდე. ზოგ შემთხვევაში, მასალის არასაკმარისი პლასტიკურობის გამო, ნიმუშის გვერდით ზედაპირებზე წვრილი ბზარები ჩნდება. კუმშვით გამოცდისას, პლასტიკური მასალის რღვევამდე მიყვანა, პრაქტიკულად, შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევაში ცდა ისე წყდება, რომ უდიდესი მრღვევი დატვირთვის და, შესაბამისად, კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრა შეუძლებელი ხდება. ამის გამო, ფოლადები კუმშვაზე უფრო იშვიათად გამოიცდება, ვიდრე გაჭიმვაზე. ფოლადების კუმშვაზე გამოცდისას, ჩვეულებრივ, მხოლოდ პროპორციულობის ზღვარი განისაზღვრება. პრაქტიკაში კუმშვით გამოცდებს, უპირატესად, ტექნოლოგიური სინჯების გამო-

საცდელად იყენებენ. სინჯების დახმარებით კუმშვაზე განსაზღვრული დეფორმაციისას ბზარების გამოჩენით დგინდება მასალის ვარგისიანობა.

სურ. 40-ის შესაბამისად, მყიფე მასალების კუმშვის დიაგრამას განსხვავებული სახე აქვს.



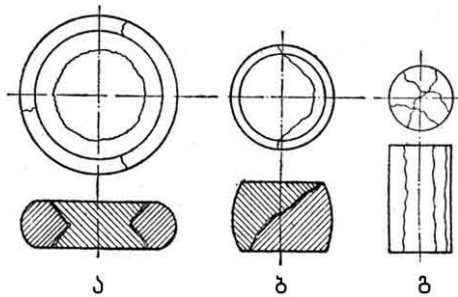
სურ. 40. კუმშვის დიაგრამა და თუჯის ნიმუშების რღვევის ხასიათი

დიაგრამაზე არ არის სწორსაზოვანი უბანი.  $P_{max}$  დატვირთვისას ნიმუში უეცრად ირღვევა. ნიმუშზე, მისი გრძივი ღერძის მიმართ, დაახლოებით  $45^\circ$ -იანი დახრილი კუთხით, მრავალი ბზარი ჩნდება ( $45^\circ$ -ით დახრილ სიბრტყეებში მხები ძაბვები მაქსიმალურია).

რღვევის ასეთი ხასიათი კუმშვისას დახრილ ფართობებზე აღძრული მხები ძაბვების მოქმედებით აიხსნება. ამგვარად, მყიფე მასალების კუმშვაზე და გაჭიმვაზე გამოცდისას მხოლოდ სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრა არის შესაძლებელი. დადგენილია, რომ თუჯის კუმშვისა და გაჭიმვის დიაგრამებს შორის სხვაობა მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ სიმტკიცის ზღვრის შესაბამისი დატვირთვა კუმშვისას 3-5-ჯერ აღემატება სიმტკიცის ზღვრის დატვირთვას გა-

ჭიმვისას. ე.ი. თუჯი კუმშვაზე დატვირთვას უფრო ეწინააღმდეგება, ვიდრე გაჭიმვაზე დატვირთვას.

მეიფე მასალის ნიმუშის დეფორმაციის ხასიათი და მისი რღვევის მიზეზები დიდადაა დამოკიდებული ხახუნის იმ ძალებზე, რომლებიც აღიძვრება გამოცდისას ნიმუშის ტორსებსა და საცდელი მანქანის საყრდენ ფილებს შორის. ნიმუშის ტორსებზე ხახუნი მოცულობით კუმშვას იწვევს. ამგვარად, მცირდება ძაბვის მხები მდგენელი, რაც ჭრით რღვევას ეწინააღმდეგება. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ ნიმუშის ტორსების ხახუნის  $r$  ძალების საპოხით ან სხვა საშუალებებით (ტორსებზე ხახუნის შესამცირებლად, გარდა საპოხისა, იყენებენ ხახუნის კუთხის ტოლი კუთხის მქონე კონუსურ სადგამებს. ნიმუშის დასაცენტრებლად კი ერთ-ერთი საყრდენი სფერული ფორმის მზადდება) შესუსტება იწვევს განივი ძალების მინიმუმამდე შემცირებას. ამის შედეგად, პლასტიკური მასალის ცილინდრულ ნიმუშს გამოცდის მსვლელობის მთელი დროის განმავლობაში შეუძლია ცილინდრული ფორმის შენარჩუნება, ხოლო არაპლასტიკურ და მეიფე მასალებს—გაბრტყელების ძალის მნიშვნელოვანი შემცირება და რღვევის სახის შეცვლა. სურ. 41-ის შესაბამისად, მეიფე მასალები, ტორსებზე საპოხის მოქმედებისას, ა და ბ, ტიპის რღვევის ნაცვლად (სადაც ხდება რღვევა ბზარების წვეროებით ერთმანეთისკენ მიმართული ორი კონუსის მოხახულობის ან ნიმუშის ორი ნახევრის დაცერებულ კონუსისებრ ზედაპირებზე ურთიერთსრიალით), ირღვევა ნიმუშის მთელ სიმაღლეზე, გრძივი ბზარების წარმოქმნით. სურ. 41 გ, ნიმუშის ტორსების პარაფინით პერიოდულად გაპოხვით შეიძლება ხახუნის ძალების სრული გამორიცხვა. ნიმუში კასრის ფორმას აღარ მიიღებს და რღვევა (დაუშვებლად დიდი გამჭიმავი დეფორმაციების გამო) დიამეტრული სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეებზე მოხდება.



სურ. 41. კუმშვისას ლითონის რღვევის სქემები:  
 ა) პლასტიკური მასალების;  
 ბ) მცირე პლასტიკური მასალების;  
 გ) მყიფე მასალების

კუმშვაზე გამოცდის დროს მიღებული მექანიკური თვისებების მახასიათებლების, განმტკიცების მრუდისა და მისი პარამეტრების პრაქტიკაში გამოყენება შეიძლება შემდეგი მიზნებისთვის: ა) მასალების შერჩევისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების დასაბუთებისათვის; ბ) მექანიკური მახასიათებლების ნორმირების სტატისტიკური კონტროლისა და ლითონის ხარისხის შეფასებისათვის; გ) ნაკეთობის ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავებისა და დაპროექტებისათვის; დ) მანქანათა ნაწილების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის.

## 5.8 ბრუნვა

გრეხა ლითონების მექანიკური გამოცდის ერთ-ერთ “რბილ” სახეს მიეკუთვნება. იგი აღიძვრება იმ შემთხვევაში, როდესაც სხეულის განივკვეთს დატვირთვა მოედება წყვილი ძალის (მომენტის) სახით. ამ დროს სხეულის განივკვეთ-

ებში მხოლოდ ერთი შინაგანი ფაქტორი—მგრეხი მომენტია—აღიძვრება. ე.ი. გრეხა დეფორმაციული მდგომარეობის სახეა, რომლის დროსაც ღეროს განივკვეთებში მოქმედებს მხოლოდ მგრეხი მომენტები  $T_{გრეხ}$ .

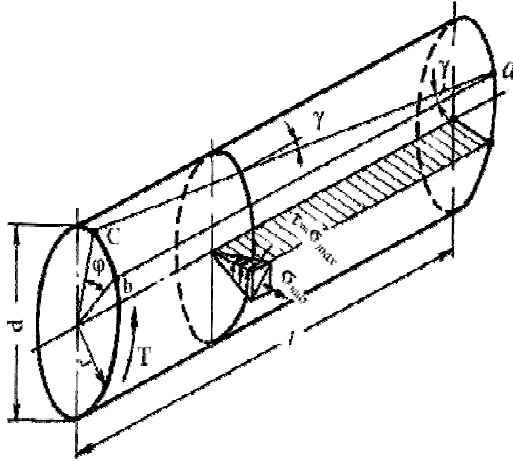
მრავალი ღეროების განივკვეთები გრეხის დროს ბრტყელი რჩება. პრიზმული ღეროს გრეხის დროს, კვეთის წერტილები ღეროს ღერძის გასწვრივ გადაადგილდება, რასაც დეპლანაციას უწოდებენ. თუ სხვადასხვა კვეთში სხვადასხვა დეპლანაციაა, მაშინ ღეროს განივკვეთში, მხებ ძაბვებთან ერთად, ნორმალური ძაბვები წარმოიქმნება. ასეთ გრეხას შეზღუდულ გრეხას უწოდებენ. თავისუფალი გრეხის დროს დეპლანაცია ყველა კვეთში ერთნაირია, განივკვეთში მხოლოდ მხები ძაბვები წარმოიქმნება (სუფთა ძვრა).

გრეხისას, მხებ და ნორმალურ ძაბვებს შორის გაჭიმვისაგან განსხვავებული თანაფარდობა მყარდება. გაჭიმვისას, უდიდესი მხები ძაბვები ნიშუშის ღერძის მიმართ  $45^{\circ}$ -იანი კუთხით დახრილ განივკვეთებში მოქმედებს და მათი სიდიდე ნორმალური ძაბვების ნახევარია.

ცილინდრული ნიშუშის გრეხისას, გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალური განივკვეთების სიბრტყეებსა და, წყვილადობის კანონიდან გამომდინარე, ღეროს რადიალურ კვეთშიც (დაშტრიხული სიბრტყე) უდიდესი მხები ძაბვები მოქმედებს. ე.ი. სურ. 42-ის შესაბამისად, დაძაბული მდგომარეობა ყველა წერტილში სუფთა ძვრას შეესაბამება.

ძაბვების წყვილადობის კანონი ადგენს დამოკიდებულებას ელემენტარული პარალელეპიპედის ურთიერთმართობულ სიბრტყეებზე მოქმედი წყვილი მხები ძაბვის სიდიდესა და მიმართულებას შორის, რომლის მიხედვითაც ორ ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეში მხები ძაბვები სიდიდით ტოლი და ნიშნით საწინააღმდეგოა:

$$\tau_{yx} = -\tau_{xy}; \quad \tau_{zy} = -\tau_{yz}; \quad \tau_{zx} = -\tau_{xz}$$



სურ. 42. მრგვალი განივკვეთის მქონე ნიმუშის გრეხა, რომლის მარჯვენა ბოლო უძრავია, ხოლო მარცხენაზე მოდებულა მომენტი  $T$ :

$\varphi$  არის დაგრეხის კუთხე;  
 $\gamma$ —ფარდობითი ძვრა

უდიდესი ნორმალური ძაბვები მოქმედებს ნიმუშის გრძივი ღერძის მიმართ  $45^\circ$ -იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეებში და რიცხობრივად ტოლია მაქსიმალური მხევი ძაბვებისა. ე.ი. გრეხისას

$$\tau_{max} = \sigma_{max},$$

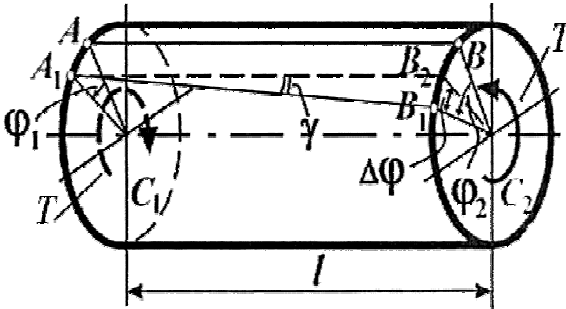
ხოლო სირბილის მაჩვენებელი:

$$m = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} = 1.$$

გრეხა სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტის დეფორმაციის ერთ-ერთი ძირითადი სახეა. გრეხაზე მომუშავე ღე-

როს, ჩვეულებრივ, ლილვს უწოდებენ. ე.ი. ლილვის განივ კვეთში გრეხას იწვევს გარედან წვეილი ძალის სახით მოდებული მომენტი. სურ. 43-ის შესაბამისად, ამ დროს ლილვის ნებისმიერ განივკვეთში მგრეხი მომენტი აღიძვრება:

$$T_{\text{მგრეხ}} = T$$



სურ. 43. ლილვის ერთი ( $C_2$ ) განივკვეთის  $l$  მანძილზე დაშორებული მეორე ( $C_1$ ) განივკვეთის მიმართ მობრუნება ( $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ )

თითოეული კვეთი ლილვის ღერძის მიმართ რომელიმე  $\phi_i$  კუთხით გადაადგილდება. ამ დროს ლილვის სიგრძე და განივკვეთის ზომები, პრაქტიკულად, უცვლელი რჩება.  $\Delta\phi$  არის ლილვის საანგარიშო  $l$  უბნის დაგრეხის (მობრუნების) კუთხე. იგი შეესაბამება ღეროს ერთი განივკვეთის  $l$  მანძილზე დაშორებული მეორე განივკვეთის მიმართ მობრუნებას.

დაგრეხის კუთხეს, ღეროს სიგრძის ერთეულზე, დაგრეხის ფარდობით კუთხეს უწოდებენ. გრეხისას ლილვის დეფორმაციული მახასიათებელი  $\gamma$  კუთხური დეფორმაციაა (ძერის დეფორმაცია). ლილვის საკვლევი უბნისათვის ძერის

მაქსიმალური დეფორმაცია მის ზედაპირზე ხდება (მსახველის მობრუნების კუთხე) და იგი ტოლი ხდება:

$$\gamma = \frac{d}{2l} \Delta\varphi,$$

სადაც:  $d$  არის ლილვის განივკვეთის დიამეტრი;  
 $l$ —ლილვის საანგარიშო სიგრძე.

დრეკად სტადიაზე ძვრისას სამართლიანია ჰუკის კანონი (გავიხსენოთ, რომ ჰუკის კანონი, როგორც წესი, სამართლიანია 0-დან პროპორციულობის ზღვრამდე ძაბვებისას). ამ დროს მხებ ძაბვასა და ძვრის კუთხეს შორის სწორხაზოვანი დამოკიდებულებაა:

$$\tau = G \cdot \gamma,$$

სადაც:  $G$  არის პროპორციულობის კოეფიციენტი და მას მეორე გვარის დრეკადობის კოეფიციენტი ანუ ძვრის მოდული ეწოდება;  
 $\gamma$ —ძვრის კუთხე.

უკვე ნაჩვენები იყო, რომ იზოტროპული მასალებისათვის ძვრის მოდული არის დაკავშირებული მასალის სხვა დრეკად მახასიათებლებთან შემდეგი ფარდობით:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

სადაც:  $E$  არის იუნგის მოდული;  
 $\nu$ —პუასონის კოეფიციენტი.

ჰუკის კანონს გრეხისას, ლილვის უბნისთვის, რომელიც გადაადგილებასა (დაგრეხის კუთხესა) და დატვირთვას

(მომენტი) შორის პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებას გამოსახავს, შემდეგი სახე აქვს:

$$\varphi = \frac{T l}{G J_P} ,$$

სადაც:  $\varphi$  არის დაგრეხის კუთხე რადიანებში;

$T$  – მგრეხი მომენტი, ნმ-ში;

$l$  – ნიმუშის საანგარიშო სიგრძე, მმ-ში;

$G$  – მეორე გვარის დრეკადობის მოდული (ძვრის მოდული), პა-ში;

$J_P$  – ნიმუშის განივკვეთის ინერციის პოლარული მომენტი.

$$J_P = \frac{\pi d^4}{32} .$$

თუ გვეცოდინება ნიმუშზე მოდებული  $T$  მგრეხი მომენტი და  $\varphi$  დაგრეხის კუთხე მაშინ:

$$G = \frac{T l}{J_P \varphi} .$$

ღეროს დრეკადი გრეხისას ძაბვების განაწილება განივკვეთში არათანაბარია. ისინი ხაზობრივად მატულობენ, ცენტრიდან დაშორების შესაბამისად. მგრეხი მომენტები იწვევს მრგვალი კვეთის ღეროებში მხებ ძაბვებს, რომლებიც შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$\tau_P = \frac{T \cdot \rho}{J_P} ,$$

სადაც:  $\tau_P$  არის მხები ძაბვა განივკვეთის ცენტრიდან  $\rho$  მანძილით დაშორებულ წერტილში;

$J_P$ -ნიმუშის განივკვეთის ინერციის პოლარული მომენტი (იმავე წერტილში);  
 $\rho$ -მატერიალური წერტილის ღერძიდან დაშორება.

ე.ი. უდიდესი მხები  $\tau_{max}$  ძაბვა იქნება ღეროს ღერძიდან ყველაზე უფრო დაშორებულ წერტილებში, ანუ ღეროს ზედაპირზე. ამ დროს

$$\rho_{max} = r = \frac{d}{2},$$

ხოლო:

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_P},$$

სადაც:  $W_P$  არის ღეროს წინაღობის პოლარული მომენტი გრეხისას (წინაღობის მომენტი გრეხისას) და ტოლია:

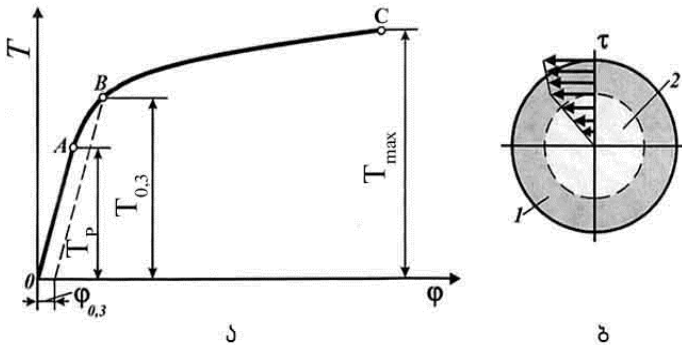
$$W_P = \frac{J_P}{r} = \frac{\pi d^3}{16}.$$

დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში გრეხის დროს მხები ძაბვები, რომლებიც დენადობის ზღვარს ( $\tau_{დენად}$ ) ეთანადება, ვრცელდება ლილვის ზედაპირიდან ღერძისაკენ. ზღვრულ მდგომარეობაში პლასტიკური ზონა ვრცელდება ლილვის ღერძამდე. ამასთან, მრგვალი კვეთისათვის ზღვრული მგრეხი მომენტი განისაზღვრება ტოლობით:

$$T_{ზღვრ} = \frac{2}{3} \tau_{დენად} \pi r^3.$$

პლასტიკური მასალის გრეხა განვიხილოთ დაბალნახშირბადიანი ფოლადის მგრეხი მომენტი  $T$ -ს დაგრეხის  $\varphi$  კუთხეზე დამოკიდებულების (გრეხის დიაგრამა) მაგალითზე.

სურ. 44-ის შესაბამისად, აღვწეროთ დიაგრამის მახასიათებელი უბნები და წერტილები.



სურ. 44. პლასტიკური მასალის გრეხის დიაგრამა (ა) და დეფორმაციის დრეკადპლასტიკური უბნის შესაბამისი მხები ძაბვის ეპიურა (ბ)

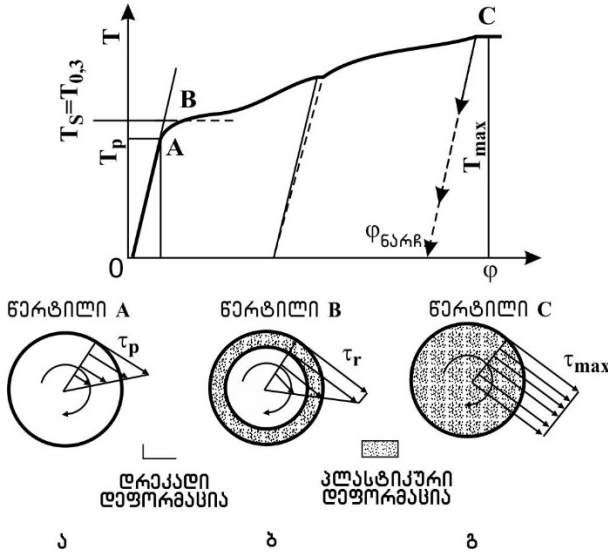
დასაწყისში, დამოკიდებულება დეფორმაციასა და ძაბვას შორის პროპორციულია, ე.ი.  $A$  წერტილის შესაბამისი დატვირთვა წარმოადგენს დატვირთვის იმ ზღვარს, სანამდეც ჰუკის კანონი სამართლიანია. ანუ  $OA$  უბანი ვრცელდება მანამ, სანამ ნიმუში, მასზე მოდებული დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, საწყის მდგომარეობას დაიბრუნებს.

პრაქტიკულად, ნიმუშის დეფორმაცია პროპორციულობის ზღვრებში იმდენად მცირეა, რომ, სპეციალური მგრძნობიარე ხელსაწყოების გარეშე, მისი შემჩნევა შეუძლებელია.  $A$  წერტილი დიაგრამაზე  $T_p$  მომენტს შეესაბამება, რომელზეც დატვირთვის გადამეტება დიაგრამის გამრუდებას იწვევს. ამ დროს ნიმუშში აღძრული ძაბვის სიდიდე პროპორციულობის ზღვარს წარმოადგენს. მრუდხაზოვანი  $ABC$  უბანი მასალაში პლასტიკური დეფორმაციის გაჩენასა და განვითარებას ახასიათებს.  $B$  წერტილი დიაგრამაზე  $T_{0,3}$

მომენტს შეესაბამება. ამ დროს,  $\tau_5$ -ის ტოლი ძაბვისას, ნიმუშის მასალის ზედაპირულ შრეში ვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია. შემდგომი დეფორმირებისას ეს ზონა აღწევს ღრმა შრეებს და პლასტიკური დეფორმირების რგოლისებრ ზონას წარმოქმნის. კვეთის ცენტრალურ ნაწილში ძაბვა იქნება  $\tau_5$ -ზე ნაკლები, ანუ იქ დარჩება დრეკადი ზონა. საბოლოოდ, პლასტიკური ზონა შეავსებს მთელ განივკვეთს. მასალის მზიდი უნარი ამოიწურება და ძაბვა კვეთის ყველა წერტილში  $\tau_5$ -ის ტოლი გახდება. დენადობის ზღვრად, პირობითად, მიღებულია ის ძაბვა, რომელიც ნიმუშში  $\varphi=0,003$  რად. ტოლ კუთხურ დეფორმაციას იწვევს. დიაგრამაზე მრუდხაზოვანი უბანი შეიძლება ძალიან გრძელი იყოს. ამის მიზეზი არა მხოლოდ მასალის პლასტიკურობა, არამედ ნიმუშის განივკვეთში დაძაბული მდგომარეობის არათანაბრობაცაა.

პლასტიკური მასალების განივკვეთში ძაბვების არათანაბარი განაწილება განსაზღვრავს დრეკადი დეფორმირებიდან პლასტიკურზე გადასვლის თავისებურებას. პროპორციულობის ზღვრის მიღწევის შემდეგ, დრეკადი და პლასტიკური დეფორმირება ხდება ერთდროულად. დასაწყისში პლასტიკური დეფორმაცია იწყება ნიმუშის კონტურზე, სადაც უდიდესი მხები ძაბვები მოქმედებს. შემდეგ, დატვირთვის გაზრდისას, პლასტიკური დეფორმაცია თანდათან ნიმუშის ღერძისაკენ ვრცელდება. ნიმუშის ზედაპირზე ადგილი აქვს პლასტიკურ დინებას, სიღრმეში მასალა დეფორმაციას ჯერ კიდევ დრეკადად ეწინააღმდეგება (წერტილი B). მხები ძაბვის შესაბამისი ეპიურა, დეფორმაციის რომელიმე შუალედური მომენტისათვის, მოცემულია სურ. 44 ბ-ზე. ამგვარად, ნიმუშის დატვირთვის ამ ეტაპზე მასალა დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდის: კვეთში შეიძლება გამოიყოს რგოლური პლასტიკური ზონა 1 და "დრეკადი ბირთვი" 2. ამით აიხსნება ის ფაქტიც, რომ გრეხის მრუდზე დენადობის ბაქანი პრაქტიკულად არ აღინიშნება.

გრეხისას პლასტიკური ღეროს დეფორმირების უბნები და ამ უბნებზე ძაბვების განაწილების შესაბამისი სქემები განვიხილოთ სურ. 45-ის მიხედვით.



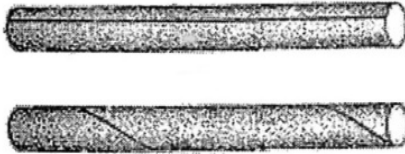
სურ. 45. ღეროს დეფორმირების სქემატური დიაგრამა და ძაბვების განაწილება განივკვეთში გრეხისას.

- ა. დრეკადი დეფორმირება;
- ბ. პლასტიკური დეფორმირება;
- გ. რღვევა

მას შემდეგ რაც პლასტიკური დეფორმაცია ნიმუშის მთელ განივკვეთს მოიცავს (ძაბვების განაწილება ერთგვაროვანი გახდება) იგი დაირღვევა. ამავე დროს შეინიშნება მგრეხი მომენტის ზრდა, ნიმუშის საბოლოო რღვევამდე. როდესაც ნიმუშის მგრეხი მომენტი  $T_{max}$  მნიშვნელობას მიაღწევს (სიმტკიცის ზღვარი), მისი ღერძის პერპენდიკულარულ კვეთ-

ში მასალა ირღვევა, ხოლო ნიმუშის განივკვეთის ზომები უცვლელი რჩება.

ნიმუშის ზედაპირზე დატანილი სწორი გრძივი ნაკაწრი, რღვევის მომენტისათვის ხრახნულ ხაზად გარდაიქმნება სურ. 46.



სურ. 46. ღეროს დეფორმირება:

- ა. ღერო დეფორმირებამდე;
- ბ. დეფორმირების შემდეგ

რღვევის შემდეგ ღეროს ნაწილები, დრეკადი დეფორმაციების გავლენით, მობრუნდება გარკვეული კუთხით, დაგრეხის კუთხის საწინააღმდეგოდ. დიაგრამაზე  $\varphi$ -ის სიდიდე ღეროს დაგრეხის ნარჩენ კუთხეს შეესაბამება (დრეკადი ძალების გავლენით გამოწვეული მობრუნება მოხსნილია). მასალის პლასტიკურობის ხარისხი გრეხისას, დაგრეხის ფარდობითი ნარჩენი  $\varphi_0$  კუთხით ხასიათდება:

$$\varphi_0 = \frac{\varphi}{l},$$

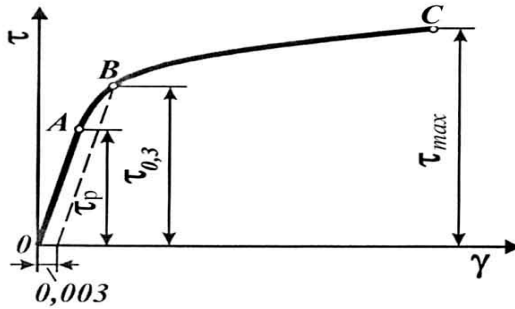
სადაც  $l$  ღეროს საანგარიშო სიგრძეა.

საბოლოოდ, შეიძლება აღინიშნოს, რომ მყიფე და პლასტიკური მასალების რღვევის ხასიათი სხვადასხვაა. პლასტიკური ნიმუში განიცდის განივკვეთზე ჭრას, მყიფე მასალა უფრო ნაკლებ წინააღმდეგობას უწევს გაჭიმვას,

ვიდრე კუმშვას და ხდება მოწყვეტა გამჭიმავი ძაბვების მიმართულებით.

გრეხა, ლითონების პლასტიკურ არეში, მექანიკური გამოცდების ყველაზე ზუსტ მეთოდს წარმოადგენს. ამ დროს ყველაზე პლასტიკურ მასალაშიც კი ნიმუში მთელ სიგრძეზე თანაბრად დეფორმირდება, ხოლო ფორმა უცვლელი რჩება. ნიმუშის გამოცდამდე პირობით დანიშნული დიამეტრი, პლასტიკური დაგრეხის შემდეგაც, პრაქტიკულად, სწორი რჩება. ამდენად, გრეხით გამოცდისას შესაძლებელია, პლასტიკური მასალებისათვის, შედარებით ზუსტად განისაზღვროს ძაბვა და დეფორმაცია. სხვა მეთოდებით გამოცდისას ამ მახასიათებლების საიმედო მონაცემების მიღება შეუძლებელია: გაჭიმვისას ყელის გაჩენა, ღუნვისას რღვევის მიუღწევლობა და კუმშვისას კასრისებრობა, გავლენას ახდენს საბოლოო შედეგებზე. პლასტიკურ არეში ლითონების გამოცდის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მეთოდია ცილინდრული ნიმუშების გამოცდა. უმჯობესია მილისებრი ნიმუშის გამოცდა. იმის გამო, რომ ღეროს ღერძის გასწვრივ მხები ძალები ნულის ტოლია და, შესაბამისად, ნიმუში მთელ განივკვეთში პლასტიკურად არ დეფორმირდება. თხელკედლიანი მილისებრი ნიმუშების გამოცდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მდგრადობის კარგვა მნიშვნელოვანი დეფორმაციისას.

თავისი ფიზიკური არსით, გრეხა არის ძვრა. გრეხის დეფორმაცია ძვრით დეფორმაციის კერძო შემთხვევაა. პლასტიკური მასალის გრეხისა და ძვრის დიაგრამებს პრაქტიკულად ერთნაირი სახე აქვს, სურ. 47.



სურ. 47. პლასტიკური მასალის ძვრის დიაგრამა

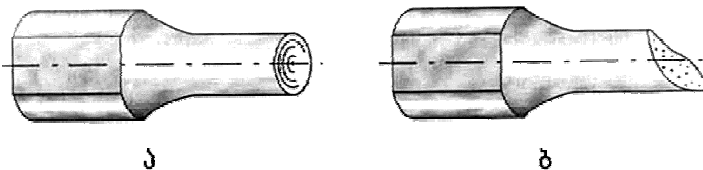
გრესაზე გამოცდით დადგენილი მექანიკური მახასიათებლები განსაზღვრავენ ძვრაზე მისი წინააღმდეგობის უნარს. ძვრა შეინიშნება გაჭიმვისას და კუმშვისას. სუფთა ძვრა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ერთდროული კუმშვა და გაჭიმვა ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით.

ერთდერძა გაჭიმვა (კუმშვა) გართულებულია პლასტიკური დეფორმაციის არათანაბრობით. ამიტომ, მასალების პლასტიკურობის შესწავლის მიზნით, მიზანშეწონილია მრგვალი კვეთის მქონე ცილინდრული ნიმუშების ძვრაზე დატვირთვის გამოყენება. მასალების გრესაზე გამოცდის დადებითი მომენტებია:

1. ნიმუშის მთელ სამუშაო სიგრძეზე ნიმუშის დეფორმაციის იგივობა გამოცდის დაწყებიდან რღვევამდე, ამასთან, ნიმუშის განივკვეთისა და სამუშაო სიგრძის პირველსაწყისი ზომების შენარჩუნება;
2. ლითონების რღვევის სახესა და სიმტკიცის თვისებებს შორის არსებული მკაფიო კავშირი (ადვილი დასადგენია რღვევის რომელ სახეს ჭრით თუ მოწყვეტით რღვევას ჰქონდა გადამწყვეტი მნიშვნელობა გამოცდის უკანასკნელ სტადიაზე).

მასალის პლასტიკური გრეხისას, რღვევის სახე იძლევა იმის საშუალებას რომ დადგინდეს, რა იყო რღვევის მიზეზი: ჭრაზე წინაღობის მნიშვნელობა  $\tau_{\text{კრ}}$  თუ მოწვევტაზე წინაღობა  $\sigma_T$ . გრეხისას მაქსიმალური მხები ძაბვები  $\tau_{\text{max}}$  ნიმუშის ღერძის პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში მოქმედებს, ხოლო უდიდესი ნორმალური ძაბვები— $\sigma_{\text{max}}$   $45^\circ$ -იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეებში. (ზოგჯერ განიხილება გრეხით რღვევის მესამე—“ხისებრი” ანუ “ტკეჩისებრი”—სახე. იგი არალითონური ჩანართებით დაბინძურებული ან ლიკვაციური შენადნობებისათვისაა დამახასიათებელი. ამ დროს გრძივი ღერძის მიმართ ძვრისადმი წინაღობა შემცირებულია).

სურ. 48-ის შესაბამისად, რღვევის ხასიათიდან გამომდინარე, შეიძლება ვიმსჯელოთ იმაზე თუ რომელ ძაბვებს (ნორმალურს თუ მხებს) უფრო ცუდად ეწინააღმდეგება გამოსაცდელი მასალა. ასე მაგალითად, მყიფე მასალა (თუჯი), რომელიც უარესად ეწინააღმდეგება გაჭიმვას, ვიდრე კუმშვას მთავარი გამჭიმავი ძაბვის მოქმედებით, ჩვეულებრივ, ირღვევა ხრახნული ხაზის გასწვრივ. პლასტიკური მასალისაგან (რბილი ფოლადი) დამზადებული ცილინდრული ნიმუში ირღვევა განივკვეთზე, რადგან მისთვის ნორმალური ძაბვები უფრო ნაკლებად საშიშია, ვიდრე მხები ძაბვები.



სურ. 48. რღვევის სახეები გრეხისას:  
 ა. ჭრა;  
 ბ. მოწვევტა

გრეხაზე გამოცდის გამოყენება მიზანშეწონილია:

1. ნაწრობი საკონსტრუქციო და საიარაღო ფოლადების პლასტიკურობის შეფასებისას (რომლებიც გაჭიმვაზე და ღუნვაზე გამოცდისას მყიფედ ირღვეოდნენ);
2. გაჭიმვის დროს ყელის წარმომქმნელი მაღალპლასტიკური ფოლადებისა და შენადნობების პლასტიკურობისა და სიბლანტის შეფასებისას;
3. რღვევის სახეების (მოწყვეტა ან ჭრა) დიფერენცირების აუცილებლობისას;
4. ტექნოლოგიური გამოცდების დროს, წნევით დამუშავებადობის შესაფასებლად და სხვ.

**ნიმუშების გრეხაზე გამოცდა.** ისე როგორც ერთდერძა გაჭიმვაზე გამოცდისას, გრეხაზე ნიმუშების გამოცდაც შესაბამისი სტანდარტებით ხდება. ნიმუშების გრეხაზე გამოცდის თავისებურებების გაცნობამდე, აუცილებელია გრეხისას დრეკადობისა და პლასტიკურობის ზღვრებზე ნარჩენი დეფორმაციების სიდიდეების განსაზღვრის პირობებში გარკვევა.

**ნარჩენი დეფორმაციის დაშვება  $\tau_e$ -სა და  $\tau_s$ -ის განსაზღვრისას.** გრეხის შემთხვევაში, დეფორმაციის დაშვების მცირე სიდიდეებიდან გამომდინარე,

$$g_{max} = \gamma = \frac{\varphi r_0}{l_0}$$

აბ

$$\varphi \approx 1,5 \frac{e_1 \cdot l_0}{r_0},$$

სადაც:  $\varphi$  არის დაშვება დახვევაზე რადიანებში;

$r_0$ —ღეროს რადიუსი მმ-ში;

$l_0$ —ღეროს საანგარიშო სიგრძე მმ-ში.

0,001, 0,005 და ა.შ. დრეკადობის ზღვრებისათვის გაჭიმვისას შესაბამისი დაშვებები ნარჩენ დეფორმაციებზე შეადგენდა საანგარიშო სიგრძის 0,001, 0,005 %-ს და ა.შ. ნათელია, რომ შესაბამისი დაშვებებისათვის ნარჩენ ძვრაზე ( $\epsilon_{\max}$ ) ან ( $\gamma$ ) უნდა გამრავლდეს 1,5-ზე. ამგვარად, დრეკადობის ზემოთ მოყვანილ ზღვრებს გაჭიმვისას, შეესაბამება დრეკადობის ზღვრები გრეხისას: 0.0015 და 0,0075.

ნიმუშების გრეხაზე გამოცდის შედეგებით შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი მექანიკური მახასიათებლები:

1. ძვრის მოღუდი;
2. პროპორციულობის ზღვარი;
3. დენადობის ზღვარი;
4. სიმტკიცის ზღვარი (პირობითი);
5. სიმტკიცის ზღვარი (ჭეშმარიტი);
6. მაქსიმალური ნარჩენი ძვრა;
7. რღვევის ხასიათი.

რღვევაზე საცდელი მანქანები უნდა უზრუნველყოფდეს შემდეგ ზოგად პირობებს:

1. ნიმუშების თავისუფალ ბრუნვას, გამოცდის მთელი პროცესის მიმდინარეობისას (ნიმუშზე რაიმე დამატებითი დატვირთვის გარეშე);
2. მომჭერებში ნიმუშის კარგ დაცენტრებას;
3. სტატიკური დატვირთვის სიმდოვრეს;
4. ნიმუშის ღერძის გასწვრივ ერთ-ერთი მომჭერის თავისუფალ გადაადგილებას;
5. დატვირთვის ზუსტ გაზომვას ( $\pm 1\%$ );
6. დახვევის კუთხის გაზომვის სიზუსტეს ( $\pm 0,5\%$ ).

თანამედროვე მანქანები აღჭურვილია პერსონალური კომპიუტერებით. ისინი მართავენ გამოცდის პროცესს და მანქანიდან იღებენ აუცილებელ მონაცემებს, აგებენ გრეხის დიაგრამას  $T = f(\Delta\varphi)$ , როგორც “მომენტი–დაგრეხის კუთხის” დამოკიდებულებას (აქ დაგრეხის კუთხე განიხილება ნიშუმის სამუშაო სიგრძეზე ანუ მიღებულია  $\varphi \cong \Delta\varphi$ ).

გრეხაზე გამოსაცდელი ნიშუმის გეომეტრიული ფორმა და ზომები სტანდარტებით განისაზღვრება. დასაშვებია პროპორციული ნორმალური, აგრეთვე მილისებრი ნიშუმები. ნიშუმების თავები გამოსაცდელი მანქანის ჩამაგრების თავისებურებებს უნდა ითვალისწინებდეს.

გრეხაზე გამოცდის შედეგებზე მნიშვნელოვან გავლენას ნიშუმის ზედაპირის მდგომარეობა ახდენს. განსაკუთრებით ეს შეინიშნება მაღალმტკიცე მასალების გამოცდისას. ნაკაწრების და მიკროზარების არსებობა ნიშუმის პლასტიკურობის მაჩვენებლებს ამცირებს.

## 5.9 ზუნება

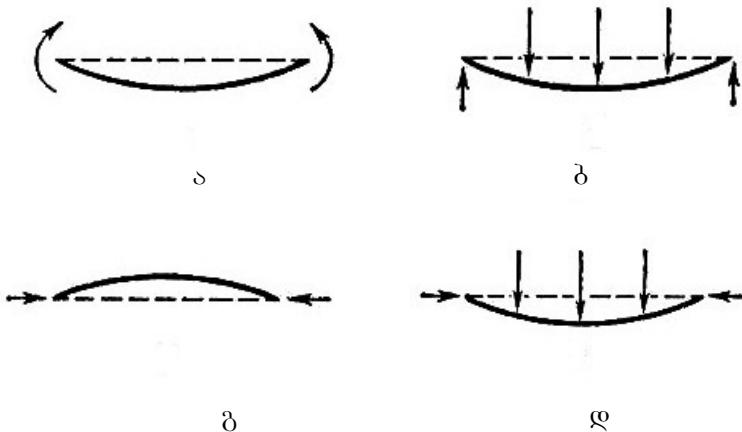
ღუნვაზე გამოცდა არის ლითონური მასალების ტექნოლოგიური გამოცდის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდი. ამ მეთოდით სხვადასხვა სისქის ფურცელი, წნელები, პროფილები და სხმულები გამოიცდება. ტექნოლოგიური გამოცდები საწარმოო ხასიათისაა. მათი მიზანია ამა თუ იმ მახასიათებელი სიდიდის ზუსტი რაოდენობის განსაზღვრის გარეშე, უმოკლეს დროში პასუხი გასცეს საკვლევი მასალის წარმოებაში გამოყენების შესაძლებლობას. ტექნოლოგიური გამოცდებისას, ძირითადად, მასალის დეფორმირების ხარისხი განისაზღვრება. იგი იყოფა

ორ დიდ ჯგუფად: ა) ცხელ და ბ) ცივ გამოცდებად. ლითონური მასალების ღუნვაზე გამოცდის უმნიშვნელოვანესი ამოცანა მდგომარეობს ფურცლოვანი მასალის სიმტკიცესა (ან მის სისქესა) და მისი ღუნვით დეფორმაციის უნარს შორის კავშირის დადგენაში. მასალის სიმტკიცის (ან სისქის) გაზრდისას, მისი ღუნვის უნარი მცირდება, ანუ პირველი ბზარი უფრო ნაკლები კუთხით მოღუნვისას ჩნდება.

ღუნვა გარე ძალების ან ტემპერატურის გავლენით გამოწვეული დეფორმაციის სახეა, რომელიც დეფორმირებადი ობიექტის (ძელის, ღეროს, კოჭის, ფილის, გარსის და სხვ.) ღერძის ან შუალედური სიბრტყის გამრუდებას იწვევს. სწორი ძელის დეფორმირებისას ასხვავებენ:

- ა) მარტივ (ბრტყელ) ღუნვას, რომელსაც ძელის ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში (ძელის გეომეტრიულ და განივკვეთის ინერციის მთავარ ღერძებზე გამავალი სიბრტყეები) მდებარე გარე ძალები იწვევენ;
- ბ) რთულ ღუნვას, რომელიც გამოწვეულია გარე ძალების სხვადასხვა სიბრტყეში განლაგებით;
- გ) ირიბ ღუნვას, რომელიც რთული ღუნვის კერძო შემთხვევაა და დეფორმაციის ისეთ სახეს წარმოადგენს, რომლის დროსაც ძელის გამრუდებას მის ღერძზე გამავალი ის ძალები იწვევენ, რომლებიც მის არცერთ მთავარ სიბრტყეში არ ძევენ.

სურ. 49-ის შესაბამისად, დეფორმირებადი ელემენტის განივკვეთში მოქმედ ძალოვან ფაქტორებზე დამოკიდებულებით ღუნვის შემდეგი სახეები არსებობს: სუფთა (მხოლოდ მღუნავი მომენტები მოქმედებს), სურ. 49 ა; განივი (მღუნავ მომენტებთან ერთად განივი ძალებიც მოქმედებს), სურ. 49 ბ;

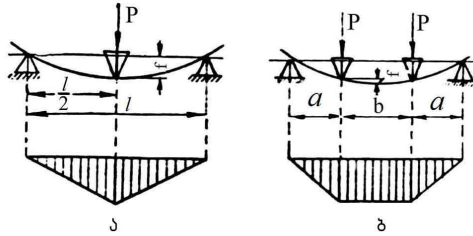


სურ. 49. ღუნვა, ძელის განივკვეთში მოქმედ ძალთა ფაქტორების მიხედვით

საინჟინრო პრაქტიკაში განიხილება ღუნვის განსაკუთრებული სახე-გრძივი ღუნვა. გრძივი ღუნვის დროს ძელის ამოზნექას იწვევს გრძივი მკუმშავი ძალები. სურ. 49გ; ხოლო გრძივ-განივ ღუნვას იწვევს ღერძის გასწვრივ და მის პერპენდიკულარულად ერთდროულად მოქმედი ძალები, სურ. 48 დ.

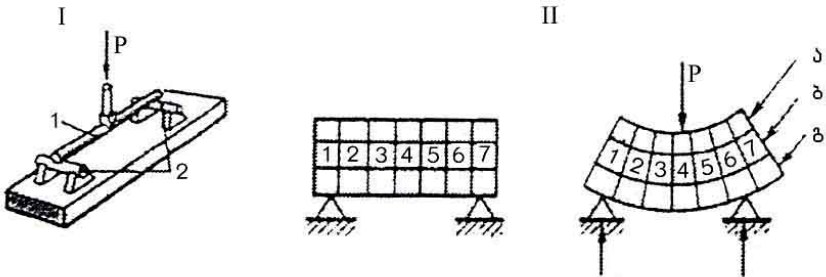
ღუნვაზე გამოცდის არსი მდგომარეობს მრგვალი, კვადრატული, სწორკუთხედის და მრავალკუთხედის ფორმის განივკვეთის ნიმუშების, ძალის მოქმედების მიმართულების შეუცვლელად, მოღუნვის წინასწარ განსაზღვრულ კუთხემდე ღუნვით პლასტიკურ დეფორმაციაში. სურ. 50-ის შესაბამისად, ნიმუშის ღუნვის პროცესში, საყრდენების ღერძები ძალის მოქმედების მიმართულების პერპენდიკულარული უნდა დარჩეს. ღუნვაზე გამოცდა წარმოებს ორ საყრდენზე მდებარე ნიმუშზე თავმოყრილი დატვირთვის მოდებით (სურ. 50ა.), ხოლო იშვიათად-ტოლი სიმეტრიული და-

ტვირთვებით, რომლებიც ნიმუშის განსაზღვრულ უბანზე ქმნიან სუფთა ძვრას. სურ. 50ბ).

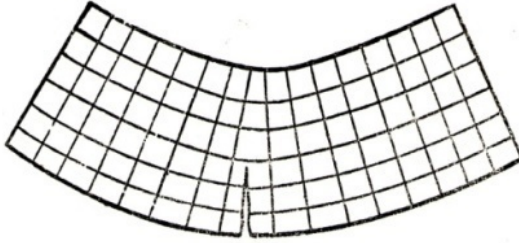


სურ. 50. ღუნვის სქემები:  
 ა. თავმოყრილი ღუნვა;  
 ბ. სუფთა ღუნვა

ღუნვაზე გამოცდისას, უმეტეს შემთხვევაში, ნიმუში ორ საყრდენზე იდება და მის შუა ნაწილზე მოდებენ ძალას. ღუნვაზე მასალის წინააღმდეგობის უნარი ნიმუშის ჩაღუნვის სიდიდით განისაზღვრება. პროცესის ნათლად წარმოდგენის მიზნით დავუშვათ, რომ ძელი შევსებულია მასში ჩალაგებული წარმოსახვითი ბოჭკოებით (სურ. 51-I). ღუნვით დეფორმაციისას ერთი ზონის ბოჭკოები იკუმშება, მეორე—ჭიმება (სურ. 51, II).



სურ. 51. შუა ნაწილში დატვირთული ნიმუშის გამოცდა ღუნვაზე.  
 ა. შეკუმშული შრე;  
 ბ. ნეიტრალური შრე;  
 გ. გაჭიმული შრე



სურ. 52. ბრტყელი ჭრილი პლასტიკური ღუნვისას

ვიწრო ნიმუშის ღუნვისას წარმოიქმნება არაერთგვაროვანი დაძაბული მდგომარეობა. იგი ერთდერძა გაჭიმვიდან ( $\alpha = 0,5$ ) ერთდერძა კუმშვამდე ( $\alpha = 2$ ) იცვლება.

კუმშვისა და გაჭიმვის ზონებს შორის განთავსებულია ნეიტრალური შრე, რომლის ბოჭკოებიც დეფორმაციას არ ექვემდებარება, ანუ მათი სიგრძეები არ იცვლება. სურათებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო შორსაა ბოჭკოები განლაგებული ნეიტრალური შრიდან, მით უფრო მეტად დეფორმირდებიან ისინი (სურ. 51, 52).

ამგვარად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღუნვისას, ძელის განივკვეთში, შინაგანი ძალების მოქმედებით, აღიძვრება როგორც მკუმშავი, ასევე გამჭიმავი ძაბვები, რომელთა სიდიდე დამოკიდებულია განსახილველი წერტილის მდებარეობაზე ძელის განივკვეთში. ნეიტრალურ ღერძზე განთავსებულ წერტილებში ძაბვები ნულის ტოლია. ძელის განივკვეთში ნეიტრალური შრიდან სხვადასხვა მანძილზე განთავსებულ წერტილებში ნორმალური ძაბვები მანძილის პროპორციულად მატულობს და ისინი შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$\sigma = \frac{E \cdot z}{r},$$

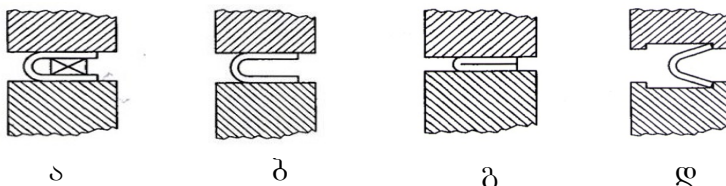
სადაც:  $\sigma$  არის ნორმალური ძაბვა;

$z$ —მანძილი ჩვენთვის საინტერესო ბოჭკოდან  
ნეიტრალურ შრემდე;

$E$ —დრეკადობის მოდული;

$r$ —ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსი.

სურ. 53-ის შესაბამისად, ღუნვის შემთხვევაში, მოცემულ მანძილამდე, ერთმანეთის პარალელური გვერდითი ზედაპირების მისაღებად (ამ მანძილის გასაკონტროლებლად), გვერდებს შორის შესაბამისი სისქის სადეები გამოიყენება (სურ. 53 ა, ბ).  $180^\circ$ -ით ღუნვის შემთხვევაში, ორი გვერდითი ზედაპირი (სტანდარტის მოთხოვნიდან გამომდინარე) შეიძლება ერთმანეთს შეეხოს (სურ. 53 გ).



სურ. 53. ა, ბ, გ—ღუნვაზე გამოცდის მეთოდები და დ—კმაღუნვის სქემა

ღუნვაზე გამოცდის ჩატარების მიზანშეწონილობა, უპირველესად, კონსტრუქციების დეტალების ღუნვით დატვირთვის ფართოდ გავრცელებითაა განპირობებული. ამ მეთოდის დამახასიათებელი თავისებურება ისაა, რომ ღუნვაზე გამოცდისას, პლასტიკური მასალების რღვევის მიღწევა შეუძლებელია (ნიმუშები გამოცდისას, მათი ბოლოების ურთიერთშეხებამდე, დაურღვევლად იღუნება). ამის გამო, ღუნვაზე გამოცდა და რღვევის სტადიის მახასიათებლების (სიმტკიცის ზღვარი

ღუნვისას და მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი) განსაზღვრა, უპირატესად, ისეთი მასალებისთვის გამოიყენება, რომლებიც გაჭიმვისას მყიფე და ნაკლებპლასტიკურ თვისებებს ავლენენ. გაჭიმვაზე ერთდერძა სტატიკური გამოცდისას, ასეთი მასალების მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა გართულებულია იმის გამო, რომ ამ ტიპის მასალები უკიდურესად მგრძობიარეა ნიმუშის ღერძის გაჭიმვის ღერძიდან გადახრისადმი (თანაღერძულობის დარღვევისადმი).

პლასტიკური მასალების ღუნვაზე გამოცდის შედეგების ანალიზის სირთულის მიუხედავად, მას სხვადასხვაგვარი გამოყენება აქვს როგორც პროდუქციის მიღებისას, ხარისხის საკონტროლებლად, ასევე მათი ექსპერიმენტული შესწავლისას. მყიფე და ნაკლებპლასტიკური მასალების შემთხვევაში, ღუნვაზე გამოცდა წარმატებით ცვლის მათთვის ნაკლებინფორმაციულ, გაჭიმვაზე ერთდერძა სტატიკურ გამოცდას. გარდა ამისა, ღუნვაზე სინჯების გამოცდა ემსახურება მასალის პლასტიკურობაზე, ერთგვაროვნობაზე და წნევით ცივი დამუშავებადობის უნარის გამარტივებულ შემოწმებას.

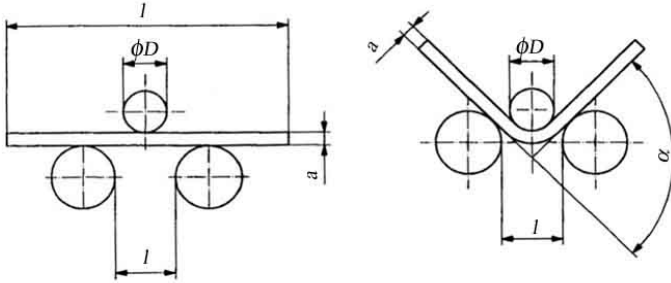
## 5.10. ღუნვაზე გამოცდა

ღუნვაზე გამოცდები წნეხებზე ან უნივერსალურ მანქანებზე ტარდება. სურ. 54-ის შესაბამისად, ღუნვაზე საცდელი უნივერსალური მანქანები ადჭურვილი უნდა იყოს შემდეგი მოწყობილობებით:

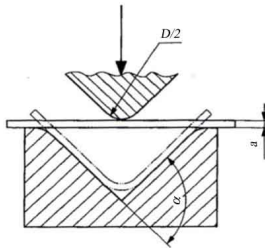
- ა) მღუნავი მოწყობილობა, ორი სპეციალური გასაშლელი საყრდენითა და სამართულით, სურ. 54;
- ბ) მღუნავი მოწყობილობა V-სებრი ამონაღებითა და სამართულით, სურ. 55;

გ) მღუნავი მოწყობილობა გირაგებითა და სამართულით,  
სურ. 56;

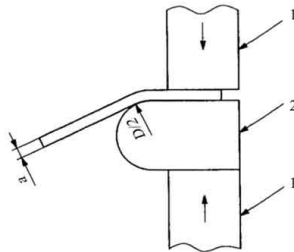
დ) სარეგისტრაციო მოწყობილობა—დიაგრამის აპარატი.



სურ. 54. მღუნავი მოწყობილობა ორი საყრდენითა და სამართულით



სურ. 55. მღუნავი მოწყობილობა V-სებრი ამონაღებითა და სამართულით

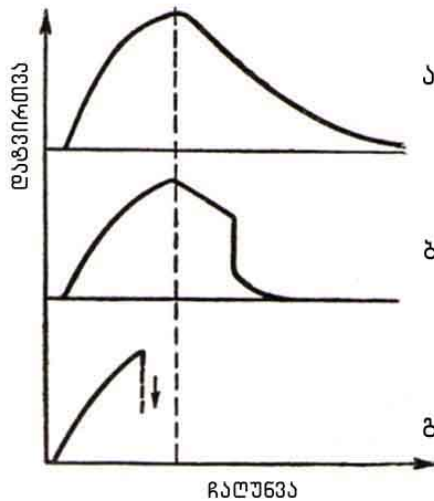


სურ. 56. მღუნავი მოწყობილობა გირაგებითა და სამართულით



$P_p$ ,  $P_e$ ,  $P_s$  და  $P_B$  სიდიდეები, შესაბამისად, ღუნვისას პროპორციულობის, დრეკადობის, დენადობის და მაქსიმალური ძაბვის ზღვრებს შეესაბამება.  $P_s$ -ის განსაზღვრისას,  $ON$ -ის პარალელური  $cg$  ხაზი აბსცისაზე მოჰკვეთს  $fc$  მონაკვეთს, რომელიც ნარჩენი ჩაღუნვის დასაშვებ სიდიდეს შეესაბამება.

მასალის სახეზე დამოკიდებული ღუნვის ტიპური დიაგრამები წარმოდგენილია სურ. 58-ზე. მყიფე მასალების ღუნვისას დატვირთვის მაქსიმუმი, ხშირად, პირველი ბზარის წარმოქმნას ემთხვევა. ზოგჯერ ბზარის წარმოქმნას დიაგრამის ვარდნილ შტოზე მკვეთრი მოწყვეტა ახლავს.



სურ. 58. ღუნვის ტიპური დიაგრამები:  
 ა. პლასტიკური მასალები;  
 ბ. შუალედური შემთხვევები;  
 გ. მყიფე მასალები

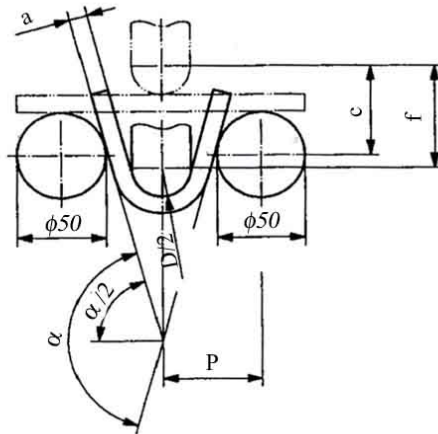
ISO 7438:2005 ლითონური მასალების ღუნვით გამოწვეული პლასტიკური დეფორმაციის ატანის უნარის განსაზღვრის მეთოდს ადგენს.

ლითონური მასალების ღუნვაზე გამოცდის საერთაშორისო სტანდარტი (ISO 7438:2005) შემდეგ სიმბოლოებსა და აღნიშვნებს იყენებს:

ცხრილი 3. ISO 7438:2005-ში გამოყენებული აღნიშვნები და მათი დასახელებები

აღნიშვნა	პარამეტრის დასახელება	განზომილება
<i>a</i>	ნიმუშის სისქე ან დიამეტრი (ან მრავალკუთხედის კვეთის მქონე ნიმუშებისთვის მრავალკუთხედში ჩახაზული წრეხაზის დიამეტრი)	მმ
<i>b</i>	ნიმუშის სიგანე	მმ
<i>L</i>	ნიმუშის სიგრძე	მმ
<i>l</i>	მომღუნავი მოწყობილობის საყრდენებს შორის მანძილი	მმ
<i>D</i>	სამართულის დიამეტრი	მმ
<i>α</i>	მოდუნვის კუთხე	გრადუსი
<i>r</i>	ნიმუშის მოღუნული ნაწილის შიგარადიუსი გამოცდის შემდეგ	მმ
<i>f</i>	სამართულის გადანაცვლება	მმ
<i>c</i>	მანძილი საყრდენისა და სამართულის (მომრგვალებული ნაწილის), ჰორიზონტალურ ღერძებს შორის გამოცდის დაწყებამდე	მმ
<i>p</i>	მანძილი საყრდენისა და სამართულის ვერტიკალურ ღერძებს შორის გამოცდის შემდეგ	მმ

სურ. 59-ზე ნაჩვენებია მღუნავი მოწყობილობა ორი სპეცი-  
ალური გასაშლელი საყრდენითა და სამართულით.

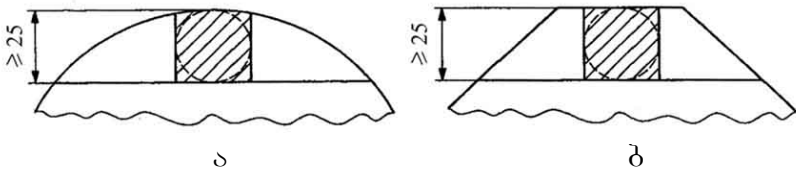


სურ. 59. ღუნვის სქემა და ISO 7438:2005-ში გამოყენებული  
აღნიშვნები

საყრდენების სიგრძე და სიგანე უნდა აღემატებოდეს  
ნიმუშის სიგანეს (დიამეტრს). სამართულის დიამეტრი ლით-  
ონპროდუქციის ნორმატიული დოკუმენტით განისაზღვრება.

იმ შემთხვევაში თუ არ არსებობს მითითება ლითონების ნორმა-  
ტიულ დოკუმენტებში, სამართულის დიამეტრი ნიმუშის ორი სის-  
ქის (რადიუსის) ტოლი აიღება, ხოლო საყრდენების მომრგვა-  
ლების რადიუსი უნდა იყოს არანაკლები ნიმუშის სისქისა (დია-  
მეტრისა). ნიმუშის საყრდენები და სამართული საკმაოდ სალი  
უნდა იყოს. მღუნავი მოწყობილობის სამართულის, დამჭერი  
სამარჯვების, აგრეთვე V-სებრი ამონადებით მღუნავი მოწყობი-  
ლობას მუშა ზედაპირები არ უნდა იყოს მოთელილი. აღნიშნული  
ზედაპირების სისაღე უნდა იყოს  $\geq 50\text{HRC}$ -ზე.

პრაქტიკულად, თუ ლითონპროდუქციის ნორმატიული დოკუმენტი სპეციალურ პირობებს არ აყენებს, მაშინ ღუნვაზე გამოსაცდელი ნიმუშის სიგანე აიღება შემდეგნაირად: ა) როცა ნაკეთობის სიგანე  $\leq 20$  მმ-ზე, ნიმუში ნაკეთობის სიგანის ტოლი აიღება; ბ) 3 მმ-ზე ნაკლები სისქის ნაკეთობებისათვის, როდესაც ნაკეთობის სიგანე  $>20$  მმ-ზე, აიღება  $20 \pm 0,5$  მმ, ხოლო 3 მმ-ზე მეტი სისქის მქონე ნაკეთობებისათვის— $20$ -დან  $50$  მმ-მდე; გ)  $25$  მმ-ზე ნაკლები ფურცლების, ზოლოვანას და ფასონური პროფილებისათვის გამოსაცდელი ნიმუში—ნაკეთობის სისქის ტოლი, ხოლო მეტი სისქის შემთხვევაში, ერთი მხრიდან მექანიკური დამუშავებით სისქე დაიყვანება  $25$ -მმ-მდე; დ) მრგვალი, კვადრატული, სწორკუთხა ან მრავალკუთხედი განიკვეთის მქონე ნიმუშები ნაკეთობის განიკვეთის ტოლი აიღება იმ შემთხვევაში, თუ მრგვალი განიკვეთის ნიმუშის დიამეტრი ან მრავალკუთხედებში ჩახაზული წრის დიამეტრები  $50$  მმ-ს არ აღემატება. წინააღმდეგ შემთხვევებში ხდება მათი შემცირება  $25$ -მმ-მდე, სურ. 60-ზე წარმოდგენილი სქემით. გამოცდისას, ნიმუშების დაუშუშავებელი ზედაპირი გასაჭიმ მხარეს უნდა მოექცეს.



სურ. 60. ნიმუშების ამოჭრის სქემა მრგვალი და მრავალკუთხედში ჩაწერილი დიდი დიამეტრის  $\leq 50$  მმ-მდე ნამზადებიდან:

- ა. მრგვალი ნამზადი;
- ბ. მრავალკუთხა ნამზადი

გამოსაცდელი ნიმუშის საორინტაციო სივრცე განისაზღვრება ფორმულით:

$$L = 2(a + D) + K,$$

სადაც:  $a$  არის ნიმუშის სისქე (დიამეტრი);

$D$  – სამართულის დიამეტრი;

$K$  – კოეფიციენტი (100 – 150მმ).

მექანიკური დამუშავების შემდეგ ზედაპირის სიმქისე არ უნდა აღემატებოდეს 40Rz-ს.

ღუნვით დეფორმაციისას, საყრდენებში ხახუნის ძალების შემცირება მათ შორის მანძილის გაზრდით მიიღწევა. საყრდენებს შორის მანძილის, ნიმუშის განივკვეთის ზომისა და ფორმის თანაფარდობა მნიშვნელოვნად აისახება გამოცდის შედეგებზე.

## 5.11 ღარტყმითი სივლანტა

ლითონური დეტალებისა და კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სხვადასხვა სიჩქარით მიმდინარე დეფორმაციებს. ზოგი დეტალის ან ნაკეთობის დეფორმირება შეიძლება წლების განმავლობაში გრძელდებოდეს, ხოლო ზოგის წამის მცირე ნაწილებში. პლასტიკური დეფორმაცია დეფორმაციის სიჩქარით შეიძლება დახასიათდეს:

$$V_d = \frac{de}{dt},$$

სადაც:  $V_d$  არის დეფორმაციის სიჩქარე;

$e$ –ჰეშმარიტი დეფორმაცია;

$t$ –დრო.

დეფორმაციის სიჩქარის განზომილება  $1/\text{წმ-ია}$ . ზოგადად, დეფორმაციის სიჩქარე  $10^{-10} - 10^5 \text{ წმ}^{-1}$ -მდე ზღვრებში იცვლება (აფეთქების პროცესების გათვალისწინებით). სტატიკური მექანიკური გამოცდებისას, დეფორმაციის სიჩქარე  $10^{-4} - 10^{-2} \text{ წმ}^{-1}$  ზღვრებში იცვლება, ხოლო დინამიკური გამოცდები, ჩვეულებრივ,  $10^{-2} \text{ წმ}^{-1}$  დეფორმაციის სიჩქარით ტარდება.

ლითონების გაჭიმვაზე ან კუმშვაზე გამოცდა სტატიკური-ნელი-თანდათან მზარდი დატვირთვით ხდება. ამ მეთოდებით შეუძლებელია ნაკეთობაზე დინამიკური-დარტყმითი-დატვირთვების გავლენის განსაზღვრა. სტატიკური დატვირთვის სიჩქარეებით მიღებული გამოცდების შედეგები, გაცილებით უფრო დიდი სიჩქარეებით მოქმედი დატვირთვებისადმი მასალების წინააღმდეგობის უნარს არ ასახავენ. დარტყმითი დატვირთვებისას მასალების რღვევაზე მდგრადობა დინამიკური გამოცდებით განისაზღვრება. დინამიკური გამოცდა ისეთი გამოცდაა, რომლის დროსაც დეფორმაციის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება სტატიკური გამოცდის სიჩქარეს (დინამიკური გამოცდები, დაახლოებით,  $10^5$ -ჯერ აღემატება სტატიკური გამოცდების დეფორმაციის სიჩქარეს).

დარტყმითი გამოცდებისას მიღებული ძირითადი მახასიათებელი დარტყმითი სიბლანტეა. ის იმ ენერგიას საზღვრავს, რომელიც ჩანაჭრიანი ნიმუშის დასარღვევადაა საჭირო. დარტყმის ენერგია ჩანაჭრის ირგვლივ რომელიც მოცულობით შთაინთქმება. ეს მოცულობა დამოკიდებულია მასალის სიმტკიცესა და პლასტიკურობაზე. სხვადასხვა ლითონისათვის ის სხვადასხვაა და მისი განსაზღვრა ძნელია. ამიტომ რღვევის ენერგია მიეკუთვნება არა დეფორმირებულ მოცულობას (რაც უფრო სწორია), არამედ

ნიმუშის ჩანაჭერში დარჩენილი განიგვეთის ფართობს (რაც უფრო მოხერხებულია). ამიტომ დარტყმითი სიბლანტის სიდიდე პირობით ხასიათს ატარებს. იგი გათვალისწინებული უნდა იქნეს სხვადასხვა ლითონის ან სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამოცდისას მიღებული მაჩვენებლების შედარების დროს.

არსებობს ისეთი ლითონები და შენადნობები, რომლებსაც გაჭიმვაზე მაღალი პლასტიკურობა ახასიათებს, მაგრამ დარტყმითი დატვირთვისას მყიფე თვისებებს ავლენენ. მუშაობის პროცესში, მრავალი დეტალი და ინსტრუმენტი განიცდის ხანმოკლე დარტყმით დატვირთვებს. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია განისაზღვროს ცალკეული ლითონის წინააღმდეგობის ხარისხი დინამიკური დარტყმითი დატვირთვებისადმი. დარტყმითი სიბლანტის საშუალებით შესაძლებელია მასალის მუშაობის უნარის შეფასება რთული დატვირთვის პირობებში და მყიფე რღვევისადმი მისი მიდრეკილებისა. ისინი დამოკიდებულია დატვირთვის მოდების სიჩქარეზე, დაძაბული მდგომარეობის “სირბილეზე” და ტემპერატურაზე. ამ მიზნით გამოიყენება ჩანაჭრიანი ნიმუშები. ჩანაჭერი ახდენს ძაბვების კონცენტრაციას და ამცირებს ”სირბილის” კოეფიციენტს.

დარტყმითი სიბლანტის განსაზღვრის მეთოდი დაფუძნებულია დარტყმითი სიბლანტისა და ჩანაჭრის რადიუსის ხაზობრივ დამოკიდებულებაზე. დინამიკური გამოცდები ღუნვაზე ლითონის რღვევისადმი მიდრეკილებას ავლენს. დარტყმითი სიბლანტე არის დარტყმითი ღუნვის მექანიკური მახასიათებელი, რომლითაც ქანქარიან ურნალზე ჩანაჭრიანი ნიმუშის რღვევისათვის დახარჯული მუშაობა ფასდება. სიბლანტე სიმყიფის საპირისპირო თვისებაა. იგი წარმოადგენს მასალის უნარს, დარტყმითი ენერგიის

შთანთქმით წინ აღუდგეს მის რღვევას. მაგ., მინა მყიფეა იმის გამო, რომ მას პლასტიკური დეფორმაციით ენერგიის შთანთქმის უნარი არ აქვს. საპირისპიროდ ამისა, ალუმინის ფურცელზე ძალის მკვეთრად მოდებისას დიდი ძაბვები არ აღიძვრება, ვინაიდან მას პლასტიკურად დეფორმირების უნარი აქვს და, შესაბამისად, დარტყმის ენერგიას შთანთქავს. როგორც ზემოთ აღინიშნა, დარტყმითი სიბლანტე პირობითი მახასიათებელია. იგი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნიმუშის ზომებზე, ჩანაჭრის ფორმასა და ზედაპირის მდგომარეობაზე.

დარტყმითი სიბლანტე ინტეგრალური მახასიათებელია. იგი დამოკიდებულია მასალის როგორც სიმტკიცეზე, ისე პლასტიკურობაზე. ამასთან, მისი განსაზღვრისას ერთდროულად იზომება ბზარის ჩასახვაზე და განვითარებაზე დახარჯული მუშაობა.

$$KCU = a_1 + a_2,$$

სადაც:  $KCU$  არის ნიმუშის რღვევაზე დახარჯული სრული მუშაობა,

$a_1$ – ბზარის ჩასახვაზე დახარჯული მუშაობა,

$a_2$ – ბზარის გავრცელებაზე დახარჯული მუშაობა.

ერთმანეთისგან გამოყოფილი დარტყმითი სიბლანტის მდგენელების კვლევებით დადგენილია, რომ ისინი სხვადასხვანაირად არიან დამოკიდებული მასალის სტრუქტურულ მდგომარეობაზე და მრავალ სხვა გარეგან ფაქტორზე. აღსანიშნავია, რომ დარტყმითი დატვირთვისას, ლითონის მყიფე რღვევაზე გადასვლა, ძირითადად, მეორე მდგენელის ქცევით განისაზღვრება. ამდენად, კვლევებისას, მიზანშეწონილია დარტყმითი სიბლანტის მუშაობის დაყოფა მდგენელებად. ასეთი დაყოფის მრავალი მეთოდი არსებობს. მათ შორის ყველაზე დასაბუთებული წინასწარჩასახული დაღ-

ლილობისბზარიანი ნიმუშების გამოცდაა. ასეთი ნიმუშის დარტყმითი სიბლანტე უახლოვდება  $a_2$ -ს, რადგან დარტყმის მუშაობა, პრაქტიკულად, მთლიანად მზა ბზარის გავრცელებაზე იხარჯება. თუ ამ სახით მოპოვებული  $a_2$ -ის სიდიდე გამოაკლდება სტანდარტული ნიმუშების გამოცდისას მიღებულ  $KCU$ -ს მნიშვნელობას, შედეგად მივიღებთ ბზარის ჩასახვაზე დახარჯული  $a_1$ -ის მუშაობის სიდიდეს.

რადგან ნაკეთობაში ყოველთვის არის დეფექტები (მეტალოურგიული ან ტექნოლოგიური წარმოშობის ბზარები), ამიტომ მათი საექსპლუატაციო უნარიანობა უკეთესად შეეფარდება ბზარის გავრცელების  $a_2$ -ის მუშაობას, ვიდრე  $a_1$ -ის ან  $KCU$ -ს მუშაობებს. ამასთან ერთად, ბზარის გავრცელების მუშაობა შეესაბამება ლითონის წინაღობას უკვე დაწყებული რღვევისას და ნაკლებადაა დამოკიდებული ნასერის (ჩანაჭერის) სიმახვილეზე. ბზარის გავრცელების  $a_2$  მუშაობა, თავისი მნიშვნელობით, უახლოვდება მყიფე რღვევის წინაღობის უფრო საიმედო მახასიათებლებს: რღვევის სიბლანტის პარამეტრებს  $K_{IC}$ -ს და  $G_{IC}$ -ს. მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილობა, პირველ რიგში, განისაზღვრება ბზარის გავრცელების მუშაობით. რაც უფრო მეტია  $a_2$ , მით ნაკლებია მყიფე რღვევის შესაძლებლობა. ორი ერთნაირი დარტყმითი სიბლანტის მქონე მასალიდან უფრო საიმედო იქნება ის მასალა, რომლის  $a_2$ -იც მეტი იქნება.

პრაქტიკაში შემდეგი სახის კონცენტრატორებით სარგებლობენ:

$U$ -სებრი კონცენტრატორის რადიუსი  $R = 1$  მმ-ს;

$V$ -სებრი კონცენტრატორის რადიუსი  $R = 0,25$  მმ-ს  
და ჩანაჭრის კუთხე უდრის  $45^\circ$ -ს;

$T$ -დაღლილობის ბზარი.

ჩანაჭრების შესაბამისად, დარტყმითი სიბლანტე აღინიშნება როგორც:  $KCU$ ,  $KCV$  და  $KCT$ . (დინამიკური სიბლანტის დაბალ ან მაღალ ტემპერატურებზე განსაზღვრისას აღნიშვნაში დამატებით შემოაქვთ გამოცდის ტემპერატურა, მაგ.,  $KCU^{-100}$ ). სიდიდე  $KCV$ —საპასუხისმგებლო, ხოლო  $KCT$ —განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო მასალების კონტროლისას გამოიყენება. ტონცენტრატორი წარმოადგენს ნიმუშში წინასწარჩასახულ ბზარს. ასეთ შემთხვევაში, დარტყმის ენერჯია იხარჯება მხოლოდ ბზარის განვითარებაზე (არა მის ჩასახვასა და განვითარებაზე) ამიტომ,  $KCT < (KCU, KCV)$ .

სხვადასხვაგვარად მოდებული დატვირთვის მოქმედებით, ერთი და იგივე მასალა ირღვევა ან ბლანტად, ან მყიფედ. გამოცდისას, მასალის ელემენტარულ მოცულობებზე მოქმედებს როგორც გამჭიმავი, ისე მკუმშავი ძაბვები. ასეთი ძაბვები და ნიმუშის სწრაფი დატვირთვა (ურნალის ვარდნისას) ხელს უწყობს მასალის გამყიფებას. მყიფე რღვევისათვის ხელსაყრელი დაძაბული მდგომარეობა განაპირობებს პირველი ბზარის გაჩენას ჩანაჭრის ფუძესთან. წარმოქმნილი ბზარის წვეროსთან შეიქმნება ანალოგიური დაძაბული მდგომარეობა, ძაბვების ძალიან ძლიერი კონცენტრაციით, რაც ხელს უწყობს ჩასახული ბზარის ნიმუშის სიღრმეში წინსვლას მის სრულ რღვევამდე.

ბზარის გაჩენის შემდეგ წარმოქმნილი დაძაბული მდგომარეობის მახასიათებლები იცვლება. შესაბამისად იცვლება რღვევის პირობებიც. ამ ცვლილებების რაოდენობრივი შეფასება ჯერ ვერ ხერხდება და შედეგებზე მხოლოდ რღვევის რელიეფის სახეების მიხედვით მსჯელობენ. თუ რღვევამდე მასალა მნიშვნელოვანი პლასტიკურობით ხასიათდება, მაშინ მისი რღვევის რელიეფი ბლანტი იქნება. ბლანტი ბზარის წინა ფრონტის განსაზღვრა დარტყმით

სიბლანტეზე გამოცდაში მდგომარეობს. ეს ერთ-ერთი მეთოდია, რომელიც აერთიანებს ღუნვაზე, ჩანაჭრიანი ნიმუშისა და დარტყმითი მოქმედებით გამოცდებს.

ნიმუშის გამოცდის ტემპერატურის დაწვევა განაპირობებს მყიფე რღვევის რელიეფის წარმოქმნას, ხოლო ტემპერატურის აწვევა—ჩვეულებრივ, ბლანტი რღვევის რელიეფისას. ამასთან, მყიფე რღვევაზე დახარჯული მუშაობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ბლანტ რღვევაზე დახარჯული მუშაობა.

გამოცდები გვიჩვენებს, რომ ფოლადები და მრავალი სხვა ლითონი დაბალ ტემპერატურებზე მყიფე თვისებებს ავლენენ, ხოლო მაღალ ტემპერატურებზე—ბლანტ თვისებებს. ბლანტი ქცევიდან მყიფეზე გადასვლა ტემპერატურის ვიწრო დიაპაზონში ხდება, რომლის შუა წერტილსაც ბლანტ-მყიფე გადასვლის ტემპერატურა ეწოდება. ასეთი გადასვლის არსებობა, დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდის გარდა, სხვა გამოცდებითაცაა დადგენილი. გადასვლის გაზომილი ტემპერატურა გამოცდიდან გამოცდამდე იცვლება ჩანაჭრის სიღრმის, ნიმუშის ზომებისა და ფორმის, აგრეთვე დატვირთვის მეთოდისა და დარტყმის სიჩქარეზე დამოკიდებულების მიხედვით.

რადგან მექანიკური გამოცდის არცერთ სახეში სამუშაო პირობების მთელი დიაპაზონი არ აღიწარმოება, დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა ღირებულია თუნდაც იმით, რომ იგი სხვადასხვა მასალის შედარების საშუალებას იძლევა.

დარტყმით ღუნვაზე გამოცდები რეკომენდებულია, ძირითადად, მასალის შედგენილობისა და თერმული დამუშავების რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის. ტარდება სერიული გამოცდები და იგება დარტყმითი სიბლანტის გამოცდის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდები. მათი ანალიზით განისაზღვრება ის ტემპერატურა

რა, რომელიც რღვევაზე დახარჯული მუშაობის მინიმალურ სიდიდეს შეესაბამება. ამ ტემპერატურას სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურა, ანუ ცივმეტეხობის ტემპერატურა ეწოდება. სერიული მრუდებიდან ცივმეტეხობის ტემპერატურასთან ერთად შეიძლება განისაზღვროს გარდამავალი ტემპერატურების ინტერვალის სიგანე და სრულიად ბლანტი და სრულიად მყიფე რღვევების მუშაობის დონეები. მათ ეწოდებათ, შესაბამისად, ცივმეტეხობის ზედა და ქვედა ზღურბლი. გარდამავალი ტემპერატურის მიხედვით განსაზღვრული, მასალისათვის დამახასიათებელი ტემპერატურული მარაგის სიდიდე არის დაბალი ტემპერატურების პირობებში ნაკეთობის ან კონსტრუქციის მუშაობის საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებელი.

ამავე დროს, ეს მეთოდი გვაწვდის ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ რა გავლენას ახდენს დნობა, დამზადების ტექნოლოგია და თერმული დამუშავება მასალის მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილებაზე. შარპის მეთოდით, V-სებრი ჩანაჭრით, ფოლადებისთვის ბლანტი-მყიფე გადასვლის ტემპერატურამ შეიძლება  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ს მიაღწიოს, მაგრამ შესაბამისი მალეგირებელი დანამატებით და თერმული დამუშავებით მისი  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე დაწვეა შესაძლებელი. მყიფე რღვევა მრავალი ავარიის მიზეზი ხდება. მაგ., მილსადენების მოულოდნელი გარღვევა, წნევიანი ჭურჭლებისა და სასაწყობო რეზერვუარების აფეთქებები, ხიდების ჩამოქცევა და სხვ. ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული გამოცდების შედეგად მიღებული ცნობები მნიშვნელოვნად ამცირებს ასეთი ავარიების ალბათობას. მიუხედავად იმისა, რომ სიმტკიცის გაანგარიშებისას დარტყმითი სიბლანტის გათვალისწინება შეუძლებელია, მას მაინც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. დარტყმითი სიბლანტის ტემპერატურისადმი დამოკიდებულებით ფასდება მასალის მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილება. ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში მისი განზომილება გამოიხატება  $\text{ჯ}/\text{მ}^2$ -ით.

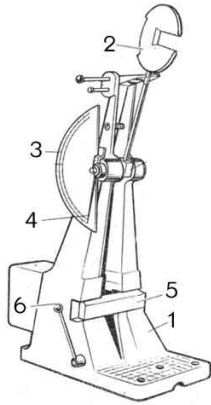
## 5.12 ღარტყმით სიბლანტეზე გამოცდა

ლითონების ღარტყმით სიბლანტეზე გამოცდის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. ერთ-ერთი მათგანი შარპის მეთოდია. ამ მეთოდის გამოყენებისას, ჩანაჭრიან პრიზმულ ნიმუშზე ღარტყმა აწეული ურნალით ხდება. მეთოდი დაფუძნებულია შუა ნაწილზე დატანილი კონცენტრატორიანი ნიმუშის ქანქარიანი ურნალის ერთი ღარტყმით რღვევაზე (სურ. 61).

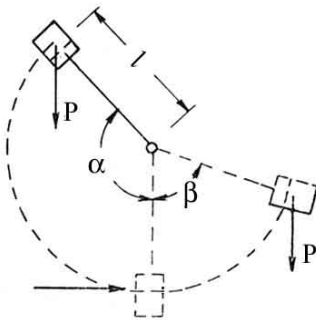
გამოსაცდელი ნიმუში თავსდება ორ საყრდენზე და ურნალის ღარტყმა, ჩანაჭრის მოპირდაპირე მხრიდან, მის შუა ნაწილზე ხდება. ღარტყმის მომენტში ურნალის მოძრაობის სიჩქარე  $4 \div 7$  მ/წმ-ია, რაც, დაახლოებით,  $10^2$  წმ<sup>-1</sup> დეფორმაციის სიჩქარეს შეესაბამება.

გამოსაცდელად, ძირითადად, მენაქესა და შარპის ტიპის ნიმუშები გამოიყენება. ნიმუშები ბოლოებით საყრდენს ეყრდნობა. ქანქარის მხოლოდ ერთი ღარტყმით ხდება ნიმუშის რღვევა ან საყრდენებს შორის გატყორცნა. ნიმუშზე ქანქარის ღარტყმის მუშაობა აისახება სკალაზე, უშუალოდ მუშაობის ერთეულში. ღარტყმის მუშაობიდან გაიანგარიშება ჩანაჭრიანი ნიმუშების ღარტყმითი სიბლანტე. იგი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნიმუშის ფორმაზე. სხვადასხვა ფორმის ნიმუშებიდან განსაზღვრული ღარტყმითი სიბლანტის სიდიდეები ერთობ პირობითია.

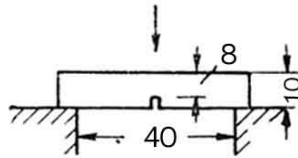
მენაქეს ტიპის ნიმუშები გამოიყენება მყიფე რღვევისადმი მიდრეკილების მქონე ფოლადებისა და სხმულებისათვის. თანამედროვე ურნალებთან შეთავსებული ოსცილოგრაფი ღარტყმის ძალისა და დეფორმაციის სიდიდის დადგენის საშუალებას იძლევა.



ა



ბ



ბ

61. ქანქარიანი ურნალი და მისი მუშაობის სქემა:

- ა) ქანქარიანი ურნალის ზოგადი სახე (1-სადგარი, 2-ურნალი, 3-სკალა, 4-ისარი, 5-ნიმუში, 6-მუხრუჭი);
- ბ) ურნალის მოძრაობის სქემა;
- გ) საყრდენებზე ნიმუშის განთავსების სქემა

ქანქარიანი ურნალი გამოიყენება ნიმუშების დარტყმით ღუნვაზე გამოსაცდელად და, აქედან გამომდინარე, დარტყმითი სიბლანტის განსასაზღვრად. ნიმუშის რღვევაზე დახარჯული მუშაობა იმ მანძილით ისაზღვრება, რომელ-

ზეც გადაიხრება ქანქარა დარტყმის შემდეგ. შემართული ქანქარის პოტენციალური ენერგიის მარაგი განისაზღვრება:

$$K_1 = P(l - l \cos \alpha),$$

სადაც:  $P$  არის ქანქარას მასა;

$l$  — ქანქარას სიგრძე;

$\alpha$  — ქანქარას აწევის კუთხე;

$K_1$  — პოტენციალური ენერგიის მარაგი.

ურნალი ვარდნისას (უკიდურეს ქვედა მდგომარეობაში) დარტყმას ნიმუშზე ახდენს და მის რღვევას იწვევს. ამ დროს იხარჯება მისი კინეტიკური ენერგიის ნაწილი, ხოლო ნარჩენი ენერგიის ხარჯზე აიწევა  $\beta$  კუთხით მოპირდაპირე მხარეს. აწევის დასასრულს, ქანქარას გაჩერების მომენტში (ზედა მკვლარი წერტილი), მისი პოტენციალური ენერგია იქნება:

$$K_2 = P(l - l \cos \beta).$$

ამრიგად, ნიმუშის რღვევაზე დახარჯული მთლიანი მუშაობა  $K$  განისაზღვრება:

$$K = K_1 - K_2 = Pl(\cos \beta - \cos \alpha).$$

დარტყმითი სიბლანტე  $KC$  ჯ/მ<sup>2</sup> წარმოადგენს დარტყმის მუშაობის (კონცენტრატორის ადგილზე) ნიმუშის განივკვეთის საწეის  $F_0$  ფართობთან ფარდობას:

$$KC = \frac{K}{F_0}.$$

### 5.13 ჭრა და ჭრის დეფორმაციები

კონსტრუქციის მრავალი ელემენტი, გაჭიმვის და კუმშვის დეფორმაციების გარდა, ექვემდებარება ძვრის (ჭრის) დეფორმაციასაც. ძვრით დეფორმაცია აღიქვრება მაშინ, როდესაც კონსტრუქციის ელემენტზე მოქმედი გარე ძალები ერთ სიბრტყეში ან ერთმანეთისგან უმნიშვნელოდ დაცილებულ და საპირისპიროდ მიმართულ სიბრტყეებშია განთავსებული. რომელიმე კვეთის გადაადგილებას, საკუთარ სიბრტყეში, მეორის მიმართ ეწოდება ძვრა. ძვრის დეფორმაციის ანალიზისას ასხვავებენ ჭრისა და ჩამოხეთქვის ცნებებს. ტერმინი "ჭრა", უპირატესად, პლასტიკური მასალების ძვრების აღწერისას გამოიყენება, ხოლო "ჩამოხეთქვა"—მყიფე მასალების ძვრების აღწერისას.

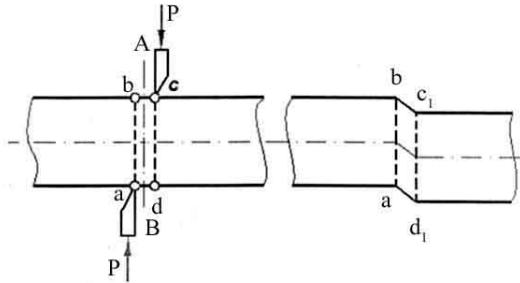
ჭრაზე მომუშავე ელემენტებისა და დეტალების გაანგარიშების მეთოდობა ეფუძნება სუფთა ძვრის თეორიას. სუფთა ძვრა ეწოდება ისეთ ბრტყელ დაძაბულ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ორ ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეში მხოლოდ მხები ძაბვები მოქმედებენ. განსაზღვრული სახით ორიენტირებულ ასეთ სიბრტყეებს ეწოდება სუფთა ძვრის სიბრტყეები. ამ სიბრტყეებისათვის:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \tau,$$

ხოლო მთავარი სიბრტყეები სუფთა ძვრის სიბრტყეებთან  $45^\circ$ -იან კუთხეებს ქმნიან.

დეროზე, მისი დერძის პერპენდიკულარულად მოქმედი ორი ტოლი, ერთმანეთთან ახლოს განლაგებული და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული ორი ტოლი ძალა იწვევს

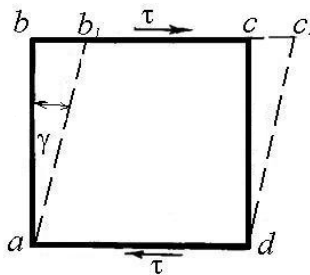
რღვევას. სურ. 62-ის შესაბამისად, ღეროს მარცხენა ნაწილი მარჯვენას რომელიღაც AB სიბრტყეზე გამოეყოფა.



62. ძვრით გამოწვეული რღვევა

ძვრის სიბრტყეზე დეფორმაციის შესწავლის მიზნით, ამ სიბრტყეზე ელემენტარული პარალელუპიპედი გამოიყოფა (სურ. 63).

განვიხილოთ პარალელუპიპედის წახნაგი, როდესაც მის პერპენდიკულარულ წახნაგებზე მოქმედებს მხოლოდ მხები ძაბვები (სუფთა ძვრა). მხები ძაბვების მოქმედებით ჭრისწინა დეფორმაცია იწვევს ელემენტარული პარალელუპიპედის



სურ. 63. ელემენტარული სიბრტყის ძვრა

სწორი კუთხეების გადახრას. სწორკუთხედი  $abcd$ ,  $ab_1c_1d$  პარალელოგრამად გარდაიქმნება.  $bc$  წიბო დაიძვრება და  $b_1c_1$  მდგომარეობაში გადავა.  $bb_1$  მონაკვეთი აბსოლუტური ძვრას შეესაბამება და მისი სიდიდე დამოკიდებულია ორ მოსაზღვრე კვეთს შორის მანძილზე. როგორც 63-ე სურათიდან ჩანს, აბსოლუტური ძვრა დამოკიდებულია  $ab$  წიბოს სიგრძეზე. ამის გამო, პრაქტიკაში, აბსოლუტური ძვრის ნაცვლად, ფარდობითი ძვრა განისაზღვრება. იგი,  $bb_1$  აბსოლუტური ძვრის განსახილველ წახნაგზე,  $ab$  მანძილთან ფარდობის ტოლია.  $abb_1$  სამკუთხედიდან ეს ფარდობა  $\gamma$  კუთხის ტანგენსის ტოლია. ფარდობითი ძვრა ძალიან მცირეა ღრეკად მდგომარეობაში, ძალიან მცირე კუთხეებისათვის კი სამართლიანია ტოლობა:

$$tgy \approx \gamma.$$

ე.ი. დაძვრის ზომას ფარდობითი  $\gamma$  ძვრა, ანუ ორ ახლომდებარე მოსაზღვრე კვეთს შორის აბსოლუტური ძვრის, მათ შორის მანძილზე, ფარდობა წარმოადგენს:

$$tgy = \frac{bb_1}{ab} \approx \gamma.$$

თუ ღრეჩოში ორ გადამჭრელ ძალას შორის გავატარებთ წარმოსახვით კვეთს და გაკვეთილ ღეროს ერთ-ერთ ნაწილს ჩამოვაცლით, მაშინ დარჩენილ ნაწილზე მისი (ძალის) მოქმედება შეიძლება შეიცვალოს შინაგანი ძაბვებით, რომლებიც იმოქმედებენ კვეთის იმავე სიბრტყეში. ე.ი. ძვრა იწვევს მხებ ძაბვებს. ჭრა მასალის რღვევაა, რომელიც მხები ძაბვების მოქმედებით, მასალის ერთი ნაწილის მეორის მიმართ ძვრის დეფორმაციით ხდება. ჭრაზე გამოცდა მასალის ისეთი მექანიკური გამოცდაა, რომელიც ძვრის დე-

ფორმაციით ხდება. ჭრაზე გამოცდა ჭანჭიკების, მოქლონების, სოგმანების, წკირების, შენადული ნაკერების, მანქანათა ნაწილების და მათი შესაბამისი ჭანჭიკური, მოქლონური, სოგმანური, წკირიანი და სხვათა შეერთებების დატვირთვებს აღაწარმოებს. ცნობილია, რომ გაჭიმვაზე სიმტკიცის ზღვარსა და ჭრაზე სიმტკიცის ზღვარს შორის საკმაოდ მდგრადი თანაფარდობა არსებობს. სიმტკიცის ზღვარი, ჭრისას, ნაკლებია სიმტკიცის ზღვარზე, გაჭიმვისას. მაგალითად, ფოლადებისათვის ისინი ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგი თანაფარდობით:

$$\tau = (0,6 - 0,8)\sigma_{max}.$$

ფოლადის ნიმუშის რღვევის ხასიათი ჭრისას, მკვეთრად განსხვავდება გაჭიმვაზე რღვევისაგან. გაჭიმვისას ნიმუშზე ყელი წარმოიქმნება და რღვევის რელიეფს კრისტალური სახე აქვს. ჭრისას მიიღება გლუვი განივკვეთი და მისი ფორმა თითქმის არ იცვლება. ჩვეულებრივ, სუფთა ძვრა იშვიათად გეხვდება, რადგან, როგორც წესი, ჭრას თან ახლავს ღუნვა და თელვა. ჭრისას მხოლოდ მხები ძაბვები აღიძვრება (რადგან ძაბვის ვექტორი განთავსებულია განივკვეთის სიბრტყეში) და დეტალზე ისინი განივკვეთის სიბრტყის სხვადასხვა მხრიდან მოქმედებენ. მხები ძალები თანაბრადაა განაწილებული ჭრის მთელ ფართობზე და ძვრის სიბრტყეში ძევს. აქედან გამომდინარე, სიმტკიცის ზღვარი ჭრისას განისაზღვრება როგორც  $P$  გადამჭრელი ძალის ფარდობა  $F$  ძვრის ფართობთან:

$$\tau = \frac{P}{F}.$$

რეალურად, ჭრა ერთდროულად ორ სიბრტყეში ხდება. აქედან გამომდინარე, ჭრაზე გამოცდისას, სამუშაო სიბრტყე (ძვრის სიბრტყე) ნიმუშის განივკვეთის გაორმაგებული ფართობის ტოლია. ჭრისას მოქმედი ძალების სიბრტყეებით შემოსახულვრული დეფორმირებადი კვეთის ყველა წერტილი თანაბრად გადაინაცვლებს ტოლ მანძილებზე, ანუ მასალა ამ წერტილებში ერთნაირ დეფორმაციას განიცდის. ეს ნიშნავს, რომ კვეთის ყველა წერტილში მოქმედი ძაბვა ერთნაირია. ე.ი. ძაბვის სიდიდე შინაგანი ძალების ტოლქმედი  $P$ -ს ღეროს განივკვეთის გაორმაგებულ  $2F$  ფართობთან ფარდობით განისაზღვრება:

$$\tau = \frac{P}{2F},$$

სადაც:  $\tau$  არის ჭრის ძაბვა;  
 $P$ –ტოლქმედი ძალა;  
 $F$ –ნიმუშის განივკვეთის ფართობი.

ძვრის დეფორმაციისათვის სამართლიანია ჰუკის კანონი: დრეკადობის ზონაში ძაბვები ფარდობითი დეფორმაციის პირდაპირპროპორციულია. ე.ი. ძვრის დროს  $\tau$  და  $\gamma$  ერთმა ნეთთან სწორხაზოვნადაა დამოკიდებული (ისე როგორც გაჭიმვა-კუმშვის დროს  $\sigma$  და  $\epsilon$ ) და ასე გამოისახება:

$$\tau = \gamma G,$$

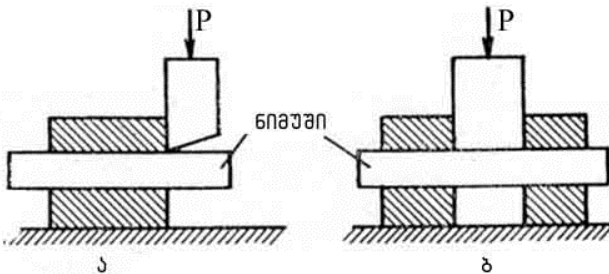
სადაც:  $\tau$  არის მხები ძაბვა;  
 $\gamma$ –ძვრის კუთხე;  
 $G$ – ძვრის მოდული (იგი დამოკიდებულია სხეულის მასალაზე).

რეალურად, სუფთა სახის ძვრის დეფორმაცია გარე ზემოქმედებით გართულებულია, რადგან მას, თითქმის ყოველ-

თვის, თან ახლავს ღუნვის და რომელიმე სხვა სახის დეფორმაცია (მაგ., მოქლონის ძერის დეფორმაციას თან ახლავს მისი ღუნვა და თელვა). აქედან გამომდინარე, ასეთი სახის შეერთების გაანგარიშებისას, გათვალისწინებული უნდა იქნეს თელვის ძაბვებიც. კონსტრუქციებში ჭრაზე მომუშავე ჩვეულებრივი ელემენტები (ჭანჭიკები, მოქლონები, სოგმანები და სხვ.), ერთდროულად, ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებასაც ექვემდებარება. ისინი იმ კვეთებში აღიძვრებიან, რომლებიც ჭრას განიცდის. აქედან გამომდინარე, ასეთი ელემენტების მასალა მუშაობის უფრო რთულ პირობებში იმყოფება, ვიდრე სუფთა ძვრა არის.

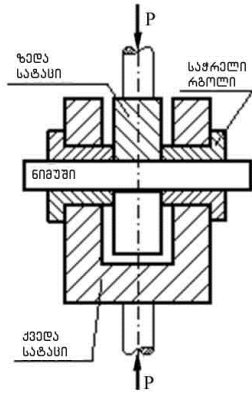
#### 5.14 ჭრაზე გამოცდა

განივი ჭრის დაძაბულ პირობებში, ჭრაზე, ჩვეულებრივ, 25 მმ-მდე დიამეტრის მრგვალი კვეთის ცილინდრული ნიმუში გამოიცდება. ლითონების ჭრაზე გამოცდის უმარტივესი სქემები 64-ე სურათზეა წარმოდგენილი.



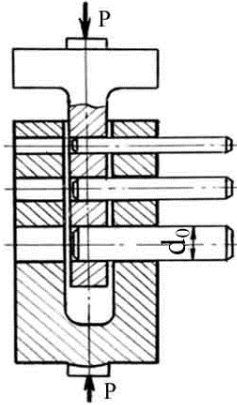
სურ. 64. ჭრაზე გამოცდის სქემები:  
 ა. ერთმხრივი ჭრა;  
 ბ. ორმხრივი ჭრა

ლაბორატორიებში ჭრაზე გამოცდა, ყველაზე ხშირად, სპეციალური სამარჯვების გამოყენებით ხდება. ჭრაზე გამოცდას თან ახლავს ღუნვაც, რომლის მხედველობაში მიღება, ნიმუშის დაძაბული მდგომარეობის შეფასებისას, მეტად რთულია. ისეთი ფაქტორები, როგორცაა სამარჯვის საყრდენი ზედაპირის სიგანე, ნიმუშსა და სამარჯვის დეტალებს შორის ღრეჩოები, გარკვეული ხარისხით აისახება გამოცდის შედეგებზე. სხვადასხვა ლაბორატორიებში ჭრაზე გამოცდის შედეგების შედარებადობის მისაღწევად, სამარჯვებისა და გამოცდის პირობების უნიფიცირება ხდება. ჭრაზე გამოცდის უნიფიკაციისათვის სამარჯვის დეტალების ზომებს ადგენენ. მრგვალი კვეთის ცილინდრული ნიმუშების გამოსაცდელი სამარჯვის ერთ-ერთი კონსტრუქცია წარმოდგენილია 65-ე სურათზე. ამ კონსტრუქციაში ნახვრეტი შეესაბამება გამოსაცდელი ნიმუშის დიამეტრს.



სურ. 65. ნიმუშების ჭრაზე გამოსაცდელი სამარჯვი

სურ. 66-ის შესაბამისად, სხვადასხვა დიამეტრის ნიმუშების გამოსაცდელად სამარჯვებში, ზოგჯერ, სხვადასხვა დიამეტრის რამდენიმე ნახვრეტია გათვალისწინებული.



სურ. 66. ნიმუშების ჭრაზე გამოსაცდელი მრავალნახვრეტიანი სამარჯვი

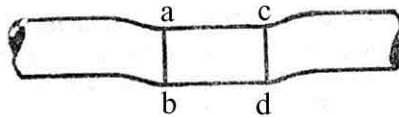
სამარჯვები მრავალი სახისაა. სამარჯვებში ნიმუშების ჭრაზე გამოცდა გამჭიმავი ან მკუმშავი ძალებით გაჭიმვაზე საცდელ ნებისმიერ მანქანაზე შეიძლება. 65 და 66 სურათებზე წარმოდგენილი სამარჯვები, მათში ჩამაგრებული ნიმუშებით, საცდელი მანქანის ფილებს შორის დაიდება და მასზე დატვირთვა მოედება. სატაცებზე, საპირისპიროდ მიმართული ძალების მოქმედებით, ორმხრივი ძვრა ხორციელდება. ჭრაზე გამოცდა დიდ სიზუსტეს მოითხოვს. ნიმუშის ზუსტი დიამეტრი სპეციალური ნაწრთობი საჭრელი საყელურებით (ჭრის რგოლებით) განისაზღვრება. ჭრაზე გამოცდისას სამარჯვის მჭრელი ინსტრუმენტის სისაღე უნდა იყოს  $\geq 59HRC$ -ზე. ნიმუშის ელემენტების თელვის შესამცირებლად (თავიდან ასაცილებლად), სამარჯვის ჭრის რგოლსა და სატაცებს შორის ღრეჩო მინიმალური უნდა იყოს. ჭრაზე გამოცდისას ამ მოწყობილობებმა ღუნვა არ უნდა გამოიწვიოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ღუნვის გამო, ჭრის სიბრტყეში, მხებ დაბევბთან ერთად, ნორმალური დაბევბიც წარმოიქმნება, რომელთა

სიდიდის განსაზღვრა ძნელია. ამის გამო, ჭრის ადგილებში დაძაბული მდგომარეობა, პირობითად, მხეები ძაბვებით ფასდება და მათი კვეთში განაწილება ითვლება თანაბრად.

ორმხრივი ჭრის სქემით გამოცდისას, ნიმუშის შუა და კიდურა ნაწილებს შორის ძვრა ხდება. ნიმუშის დეფორმაცია მის სრულ რღვევამდე გრძელდება. სიმტკიცის ზღვარს ჭრაზე მაშინ აქვს პრაქტიკული ღირებულება, როცა ნიმუშის დატვირთვა უახლოვდება ექსპლუატაციის პირობებს. ჭრაზე გამოცდისას ჩაიწერება გამოცდის დიაგრამა და ფიქსირდება  $d_0$  დიამეტრიან საცდელ ღეროზე, ფაქტობრივად, ჭრამდე მოქმედი მაქსიმალური ძალა  $P_{max}$ . მიღებული შედეგების მიხედვით, ჭრის კვეთებში ჭრაზე წინააღობის ანუ ძვრის ძაბვა  $\tau$  გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\tau = \frac{P_{max}}{2 \cdot \frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{2P_{max}}{\pi d_0^2}.$$

აღნიშნული ფორმულა პირობითია, ვინაიდან ღეროს დაძაბული მდგომარეობა, სინამდვილეში, თეორიულ მოთხოვნებზე გაცილებით რთულია. ამ დროს ღერო, ჭრის გარდა, ერთდროულად, თელვასა და ღუნვასაც განიცდის (სურ. 67).

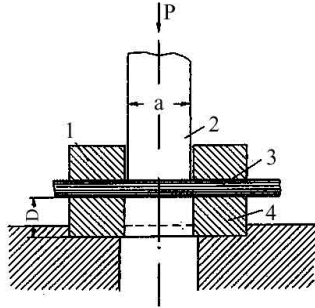


სურ. 67. ორმხრივ ჭრაზე გამოცდის სქემა

ორმაგი ჭრისას მეიფე მასალების ჭრის კვეთებში, ჭრასთან ერთად, სშირად აღინიშნება ბზარები და რღვევა, ხოლო

პლასტიკური მასალის ნიმუშები, ჭრასთან ერთად, თეღვას და პლასტიკურ ღუნვას განიცდიან.

ფურცლების ჭრაზე გამოცდა გამოწნეხით ხდება (სურ. 68). ასეთ შემთხვევებში, ფურცლის ღუნვის თავიდან ასაცილებლად მისაჭერ რგოლებს იყენებენ.



სურ. 68. გამოწნეხაზე გამოცდის სქემა:

1. მისაჭერი რგოლი;
2. პუანსონი;
3. ნიმუში;
4. მატრიცა

### 5.15 მექანიკური თვისებების გამოყენებითი მნიშვნელობა

საინჟინრო პრაქტიკის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს მასალების შერჩევა მანქანებისა და მექანიზმების ექსპლუატაციის კონკრეტული პირობებისთვის. მანქანა-დანადგარების ხანგრძლივი და საიმედო მუშაობისთვის აუცილებელია მათი დეტალებისა და კვანძების დასამზადებლად ისეთი მასალები შეირჩეს, რომლებსაც განსაზღვრული ფიზიკური, ქიმიური, მექანიკური და ტექნოლოგიური თვისებე-

ბი ექნებათ. მექანიკური თვისებების შესაბამისად, კონსტრუქტორი დასაბუთებულად ირჩევს შესაბამის მასალას, რომელიც კონსტრუქციის საიმედოობასა და ხანგამძლეობას მინიმალური მასით უზრუნველყოფს. მასალების არასწორი შერჩევის შედეგს წარმოადგენს მანქანა-მოწყობილობების დაბალი საექსპლუატაციო მედეგობა. ამიტომ, მასალების შერჩევისას, უნდა განისაზღვროს მასალების თვისებების აუცილებელი კომპლექსი, რომელიც, ექსპლუატაციის განსაზღვრულ პირობებში, მაღალ საკონსტრუქციო თვისებებს უზრუნველყოფს. საიმედო და შრომისუნარიანი ტექნიკის შესაქმნელად მასალების შერჩევის საფუძველს წარმოადგენს მათი მექანიკური თვისებების მახასიათებლები, რომლებიც შესაბამისი გამოცდებით განისაზღვრება.

ფაქტობრივი ცნობები საკონსტრუქციო მასალების მექანიკურ მახასიათებლებზე ექსპერიმენტულად განისაზღვრება. ძირითადი მექანიკური თვისებები—სიმტკიცე, სიხისტე, დრეკადობა, სისაღე და სხვა—ცდით დგინდება. ნიმუშების გამოცდისას შეიძლება, აგრეთვე, ტემპერატურის, რადიაქტიური დასხივების, თერმული დამუშავების და სხვა ფაქტორის გავლენის ხარისხის შეფასებაც. რიგ შემთხვევაში ცდისეულად შეისწავლება ცალკეული კონსტრუქცია, მისი კვანძები, მთლიანი ნაგებობა ან მისი მოდელი. ამ კვლევებით საანგარიშო სქემები და ფორმულები მოწმდება. ვლინდება საშიში ზონები ან უბნები და ძაბვების ფაქტობრივი განაწილება საშიშ კვეთებში. საბოლოოდ განისაზღვრება ნაგებობის ან კონსტრუქციის საიმედობის ხარისხი.

მასალის სიმტკიცე კომპლექსური მახასიათებელია. იგი სიმტკიცის, სიხისტის, საიმედოობისა და ხანგამძლეობის კრიტერიუმების შეხამებას გულისხმობს. მასალის სიმტკიცის კრიტერიუმის შერჩევა ხდება მისი მუშაობის პირო-

ბების გათვალისწინებით. სტატიკური დატვირთვებისას, სიმტკიცის კრიტერიუმებია სიმტკიცისა და დენადობის ზღვრები, რომლებიც პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობას ახასიათებენ. რადგან, დეტალების უმრავლესობისთვის, დაუშვებელია ექსპლუატაციის პროცესში პლასტიკური დეფორმაცია, ამიტომ მათი მზიდი უნარის საანგარიშო მახასიათებლად გამოიყენება დენადობის ზღვარი. თუ ექსპლუატაციის პროცესში დეტალი ხანგრძლივ ციკლურ დატვირთვებს განიცდის, მაშინ მისი სიმტკიცის კრიტერიუმად გამძლეობის ზღვარი აიღება და ა.შ.

მექანიკური ძაბვების მოქმედებისას სხეულის ქცევის მახასიათებლები, ზოგადად, მექანიკური თვისებებია. მაგალითად, სიმტკიცე ხასიათდება მექანიკური ძაბვებით, პლასტიკურობა—დეფორმაციებით, დარტყმითი სიბლანტე და დეფორმაციის მუშაობა—მუშაობით, ხანგრძლივი სიმტკიცე—ხანგამძლეობით და სხვა. მექანიკური თვისებები მასალის “სუფთა” მუდმივას არ წარმოადგენს. ისინი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სხეულის ფორმასა და ზომაზე, დატვირთვის მოდების სიჩქარეზე, ზედაპირის მდგომარეობაზე, გარემოზე, გამოცდის ტემპერატურაზე და სხვა მრავალ ფაქტორზე. ზოგიერთი მექანიკური თვისება (განსაკუთრებით რღვევასთან დაკავშირებული) დამოკიდებულია მასალის სტრუქტურაზე. ამიტომ მათ სტრუქტურულად მგრძობიარე თვისებებს უწოდებენ.

კონსტრუქციაში, გამოყენების თვალსაზრისით, სიმტკიცე განიხილება როგორც გამოყენებული მასალის უნარი წინ აღუდგეს რღვევას, რომელსაც გარე ძაბვების ზემოქმედებით აღძრული შიგა ძაბვები იწვევენ. ან კონსტრუქციის უნარი, დაურღვევლად შეასრულოს თავისი დანიშნულება

განსაზღვრული დროით. სიმტკიცე შემდეგნაირად კლასიფიცირდება:

1. სტატიკური-კონსტრუქცია მუდმივადაა დატვირთული;
2. დინამიკური-კონსტრუქცია დინამიკურადაა დატვირთული;
3. დადლილობითი-კონსტრუქცია ციკლურად და ნიშანცვლადი დატვირთვითაა დატვირთული.

კონსტრუქციებისთვის ასხვავებენ საერთო (მთელი კონსტრუქციის უნარი დაურღვევლად გაუძლოს დატვირთვას) და ადგილობრივ სიმტკიცეს (კონსტრუქციის ცალკეული კვანძის, დეტალის და შენაერთის უნარი გაუძლოს განსაზღვრულ დატვირთვას). სიმტკიცეზე ანგარიშისას იყენებენ გაანგარიშებებს დასაშვებ დატვირთვებზე ან დატვირთვის ციკლების დასაშვებ რიცხვებზე. დასაშვებ დატვირთვებზე გაანგარიშების ძირითადი განტოლებებია:

$$\sigma_{max} \leq |\sigma|, \quad \tau_{max} \leq |\tau|,$$

სადაც:  $\sigma_{max}$  და  $\tau_{max}$  არის უდიდესი საანგარიშო ნორმალური და მხები დატვირთვები.

$|\sigma|$  და  $|\tau|$  - დეტალების სიმტკიცისთვის უსაფრთხო, დასაშვები, ნორმალური და მხები დატვირთვებია.

კონსტრუქციის საერთო სიმტკიცეზე მსჯელობა არ შეიძლება მხოლოდ ნიმუშების მექანიკური გამოცდებით. ისინი ვერ ასახავენ იმ მრავალმხრივ ზემოქმედებას, რომელსაც ლითონი განიცდის დეტალების (კონსტრუქციების) დამზადების პროცესსა და მათი შემდგომი ექსპლუატაციისას. მთლიანობაში, კონსტრუქციის სიმტკიცის კრიტერიუმს სას-

ტენდო, ნატურული და საექსპლუატაციო გამოცდები წარმოადგენს. სიმტკიცესა და ხანგამძლეობაზე ასეთი გამოცდებისას ისეთი ფაქტორების გავლენა განისაზღვრება, როგორცაა: ნარჩენი ძაბვების სიდიდე და განაწილება, შენადული ნაკერის დეფექტები და ლითონური ნაკეთობების კონსტრუირებისა და დამზადების ტექნოლოგიის სხვა დეფექტები.

მანქანებისა და აპარატების დაპროექტების სტადიაზე დასაპროექტებელი კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების რღვევის სხვადასხვა ტიპის (დაღლილობით, მყიფე, კვაზისტატიკური, ცოცვადობით, კოროზიით, ექსპლუატაციის პერიოდში ცვეთით და მისთ.) განვითარების შესაძლებლობის (საანგარიშო ან ექსპერიმენტული) შეფასება ხდება. ამასთან, განხილული უნდა იქნეს მოცემული მომენტისთვის ცნობილი, კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობებში შესაძლებელი, რღვევის ყველა მექანიზმი იმ მასალისთვის, რომლისგანაც მზადდება მზიდი ელემენტები.

კონსტრუქციებში გათვალისწინებული უნდა იქნეს მასალის ხანგამძლეობაც, ანუ მისი უნარი უზრუნველყოს დეტალების შრომისუნარიანობა განსაზღვრული დროით. წინააღმდეგობა გაუწიოს დაღლილობის, ცვეთის, ცოცვადობის, კოროზიის, რადიაციული გაფუების და მასალების სხვა პროცესებით განპირობებულ თანდათანობით რღვევას. უმეტეს შემთხვევაში ხანგამძლეობა განისაზღვრება მასალის დაღლილობით რღვევისადმი (ციკლური ხანგამძლეობით) ან ცვეთისადმი (ცვეთამდეგობით) წინააღმდეგობით. მაღალ ტემპერატურაზე მომუშავე დეტალების შრომისუნარიანობა განისაზღვრება ცოცვადობის სინქარით, რომლის შეზღუდვაც მზურვალმტკიცე მასალების გამოყენებით მიიღწევა. მშრალი გაზების ატმოსფეროში ან თხევად ელექტროლიტებში მომუშავე დეტალების ხანგამძლეობა დამოკიდებულია აირული ან ელექტროქიმიური კოროზიისადმი მასალების წინა-

ღობაზე. ასეთ პირობებში შრომისუნარიანობას მხურვალმედვეი და კოროზიამედვეი მასალები ინარჩუნებენ.

მასალის მახასიათებლები გამოვლენილი უნდა იქნეს კონსტრუირების სამეცნიერო-კვლევით სტადიაზე. რღვევის ყოველი მექანიზმი სიმტკიცის განსაზღვრულ კრიტერიუმთანაა დაკავშირებული. ზღვრული მნიშვნელობა კონსტრუქციის მასალის თითოეული კრიტერიუმისთვის ექსპერიმენტულად დგინდება. ამ კრიტერიუმების დასაშვები მნიშვნელობები, როგორც წესი, განისაზღვრება, სიმტკიცის კრიტერიუმის ზღვრული მნიშვნელობის შესაბამისი მარაგის კოეფიციენტზე გაყოფით. მარაგის კოეფიციენტების მნიშვნელობები შეირჩევა დასაპროექტებელი კონსტრუქციის პასუხისმგებლობის ხარისხის, ექსპლუატაციის გამოცდილების, ექსპლუატაციის საანგარიშო დროისა და მისი შესაძლებელი რღვევის შედეგების გათვალისწინებით.

მექანიკური გამოცდების შედეგად შესაძლებელია კონსტრუქციის სიმტკიცის მიახლოებითი განსაზღვრა. ამისათვის, პრაქტიკაში, კონსტრუქციის სიმტკიცის გაანგარიშებისას, გამოიყენება სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი. მისი სიდიდე განისაზღვრება კონსტრუქციის რღვევამდე გამოცდისას ან ექსპერტული შეფასებისას. ძველი მასალის შეცვლა, უკეთესი მექანიკური მახასიათებლების მქონე ახალი მასალით, სიმტკიცის მარაგის პროპორციული შემცირების გარანტიას არ იძლევა. აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ კონსტრუქციის რღვევამდე გამოცდისას ისაზღვრება კონსტრუქციის დატვირთვა რღვევაზე, თუმცა, სინამდვილეში, კონსტრუქციის მტყუნება კონსტრუქციის მასალის დრეკადობის ზღვარზე ხდება, როდესაც იგი პლასტიკურად დეფორმირებას იწყებს. ამდენად, სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი, ასეთი გამოცდების დროსაც, მხოლოდ საორიენტაციოდ ითვლება.

სიმტკიცის მარაგის გამოყენება მუშა კვეთებს ზრდის, ხოლო ზედმეტი მასალის გამოყენება კონსტრუქციას ამძიმებს და აძვი-

რებს. ამავე დროს, არასოდეს არის 100%-იანი გარანტია იმისა, რომ მოცემული კონსტრუქცია გაუძლებს სამუშაო დატვირთვებს მოთხოვნილი დროით. ამიტომ, უფრო საპასუხისმგებლო ნაკეთობების საიმედოობის შესაფასებლად ნატურულ გამოცდებს იყენებენ. ასეთი გამოცდებისას, ნაკეთობა იცდება (ხასიათით და დანიშნულებით) ნაკეთობის საექსპლუატაციო დატვირთვების შესაბამისი დატვირთვით. ანალოგიურად გამოიცდება ცალკეული ნაკეთობაც. დამზადებული პარტიიდან გამოსაცდელად შეირჩევა ნაკეთობის განსაზღვრული რაოდენობა და მათი გამოცდების შედეგები მთელ პარტიაზე ვრცელდება (მსჯელობენ ნაკეთობის მთელი პარტიის შესაძლებლობაზე, შეასრულოს თავისი ფუნქცია).

დეტალზე (კონსტრუქციაზე) მოქმედი ფაქტობრივი დატვირთვები და თვისებები იმ მასალისა, რომლიდანაც ის მზადდება შესაძლოა საანგარიშოდ მიღებული თვისებებიდან მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს. ამავე დროს, დეტალის სიმტკიცის შემცირების ფაქტორები (გადატვირთვები, მასალის არაერთგვაროვნება და ა.შ.) შემთხვევით ხასიათს ატარებენ და წინასწარ მათი გათვალისწინება შეუძლებელია. მიუხედავად ასეთი არასასურველი პირობებისა, დეტალმა, მთლიანობაში, უსაფრთხოდ უნდა იმუშაოს. ამისათვის კი საჭიროა განსაზღვრული სიფრთხილის ზომები წინასწარ იქნეს მიღებული. ამ მიზნით, ძაბვები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანის ან ნებისმიერი სხვა ნაგებობის შეუფერხებელ ექსპლუატაციას, ნაკლები უნდა იყოს იმ ზღვრებზე, რომლებზეც შეიძლება მოხდეს რღვევა ან აღიძრას პლასტიკური დეფორმაცია.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_n}{[n]},$$

სადაც:  $[\sigma]$  არის დასაშვები ძაბვა;

$\sigma_n$ —მასალის ზღვრული ძაბვა;

$[n]$ — სიმტკიცის ზღვრის ნორმატიული კოეფიციენტი (ხშირად უსაფრთხოების კოეფიციენტსაც უწოდებენ).

სტატიკური დატვირთვებისას, მყიფე მასალებისათვის ზღვრულ დაბვად სიმტკიცის ზღვარი მიიღება, ხოლო პლასტიკურებისათვის—დენადობის ზღვარი (დენადობის ზღვრის ტოლი დაბვებისას შეიძლება მასალის მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმირება მოხდეს, რაც დაუშვებელია). ამრიგად, სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის შემოტანა ხდება იმ მიზნით, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს ნაგებობის და მისი ცალკეული ნაწილების უსაფრთხო და საიმედო მუშაობა.

სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობა რღვევის სხვადასხვა მექანიზმისთვის სხვადასხვაა. დასაშვებ დაბვებზე გაანგარიშებისას, ისინი, როგორც წესი, 1,05-დან (საფრენი აპარატების, რომლებიც ადამიანების ტრანსპორტირებისთვის არ არის გათვალისწინებული, ელემენტების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად) 6-მდე (სამგზავრო ლიფტების კონსტრუქციებში გამოყენებული ბაგირების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად) იცვლებიან. დატვირთვის ციკლების მიხედვით გაანგარიშებისას მნიშვნელოვნად უფრო დიდი კოეფიციენტების გამოყენება შეიძლება. ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლო და ენერგოტევადი მანქანებისა და აპარატების გაანგარიშება დარგობრივი ნორმებითა და სტანდარტებით რეგლამენტირდება. ექსპლუატაციის გამოცდილების დაგროვების, კონსტრუქციის ფიზიკური მდგომარეობის კვლევის მეთოდების, სიმტკიცის უზრუნველყოფის მეთოდების განვითარებასა და სრულყოფასთან ერთად, აღნიშნული ნორმები და სტანდარტები პერიოდულად გადაისინჯება.

## **5.16 სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა მმქანიკურ თვისებებზე და ამ თვისებების ურთიერთკავშირი**

ნორმატიულ დოკუმენტებში რეგლამენტირებული არალეგირებული ფოლადების მექანიკური თვისებები (თუ არ არსებ

ბობს სხვა სპეციალური მითითება) ნორმალიზებულ მდგომარეობას მიეკუთვნება. რადგან მიკროსტრუქტურა დამოკიდებულია გაცივების სიჩქარეზე, აუცილებელია, მხედველობაში იქნეს მიღებული ნაკეთობის ზომების ცნობილი გავლენაც. დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრები მასიური ნაკეთობისათვის, მცირე კვეთის მქონე ნაკეთობასთან შედარებით, დაბალი იქნება.

**გაუმჯობესება** თვისებათა ფართო ზღვრებში ცვლილების შესაძლებლობას იძლევა. გაუმჯობესებული ფოლადების მექანიკურ თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნახშირბადის შემცველობა, მალეგირებელი ელემენტები და მათი რაოდენობა, ნაკეთობის ზომები. საერთოდ, გაუმჯობესებულ მდგომარეობას, მაღალ სიმტკიცესთან ერთად, სიბლანტის საუკეთესო მნიშვნელობა ახასიათებს. სიმტკიცის ზღვრის უმცირესი მნიშვნელობა მიიღწევა სუბკრიტიკული ან  $A_{c1}$ -ის მახლობლად ქანქარისებრი მოღობვით.

**ცხელად დეფორმირებული** ფოლადების მექანიკური თვისებები ნორმალიზებული მდგომარეობის მაჩვენებლებს უახლოვდება. რეკრისტალიზაციისას მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის მქონე ფოლადების დენადობის ზღვარი ძლიერ მცირდება.

**ცივად დეფორმირებული** ფოლადების დენადობის და სიმტკიცის ზღვრები იზრდება, თანაც დენადობის ზღვარი სიმტკიცის ზღვარზე მეტი სიდიდით მატულობს. ასე რომ, დეფორმაციის მაღალი ხარისხისას ისინი თითქმის ერთმანეთს ემთხვევა. სიმტკიცის მაჩვენებლების ზრდასთან ერთად, მცირდება ფარდობითი წაგრძელება და ნაკლები ხარისხით—ფარდობითი შევიწროება.

**დენადობის ზღვრის სიმტკიცის ზღვართან ფარდობა.** მოლობობილ არალევირებულ ფოლადებში დენადობის ზღვარი სიმტკიცის ზღვრის, საშუალოდ, 50–60%-ს შეადგენს. ნაგლინ მდგომარეობაში ეს ფარდობა გლინვის დასრულების ტემპერატურაზე და გაცივების პირობებზეა დამოკიდებული. წვრილი ნაგლინი პროფილებისთვის უფრო მაღალია, ვიდრე სქელი ნაგლინებისთვის. არალევირებული გაუმჯობესებული ფოლადებისათვის, როგორც წესი, ეს ფარდობა უფრო მაღალია, ამასთან იგი გაუმჯობესების ხასიათზეა დამოკიდებული. ლევირებულ ფოლადებში დენადობის ზღვრის ფარდობა სიმტკიცის ზღვართან, ჩვეულებრივ, უფრო მაღალია, ვიდრე არალევირებულ ფოლადებში. ფარდობის უმაღლესი მნიშვნელობა გაუმჯობესებულ მდგომარეობაში მიიღება (70 – 80%). აუსტენიტური კლასის ფოლადებში ეს ფარდობა გაცილებით ნაკლებია. ნაწრთობ მდგომარეობაში იგი 40%-ზე ნაკლებია. ციენაჭედ მდგომარეობაში მისი ამაღლება შესაძლებელია 90%-მდე.

**ფარდობითი წაგრძელება** სიმტკიცის ზღვრის საპირისპიროდ იცვლება. თუ სიმტკიცის ზღვარი ლევირების, ცხელი და ცივი დეფორმაციებისა და თერმული დამუშავების შემდეგ იზრდება, ამ დროს, როგორც წესი, წაგრძელება მცირდება. შევიწროების დაბალი მაჩვენებლებისას დარტყმითი სიბლანტეც მცირეა.

**დეფორმაციის მიმართულებები.** ნაგლინიდან და ნაჭედიდან ამოჭრილი განივი ნიმუშების გამოცდისას, გრძივ ნიმუშებთან შედარებით, წაგრძელებისა და შევიწროების უფრო დაბალი მნიშვნელობები მიიღება. ეს განპირობებულია წნევით დამუშავებისას დეფორმაციის მიმართულებით ლიკვაციური უბნების და არალითონური ჩანართების გაჭიმვით, ამასთან ერთად, დეფორმაციის შედეგად მარცვლების გა-

ჭიმვით წარმოქმნილი ბოჭკოვანი სტრუქტურის მოქმედებით. დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრებზე მიმართულებების გავლენა ნაკლებია.

### **დროის გავლენა დეფორმირებული ლითონის თვისებებზე.**

მექანიკური თვისებების კვლევისას ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ფაქტსაც, რომ თუ დენადობის ზღვარზე მაღლა დატვირთულ რბილ ფოლადს დავავარგებთ, მაშინ, გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ, მისი დენადობის და სიმტკიცის ზღვრები ამადლდება. ამასთან, დენადობის ზღვრის მნიშვნელობა წინასწარი დატვირთვის დონეს გადააჭარბებს (დაძველება ციკლედვის შემდეგ). დრეკადობის ზღვარი დასაწყისში მცირდება და შემდეგ ისევ იზრდება. ერთდროულად მცირდება ფარდობითი წაგრძელება და ფარდობითი შევიწროებაც. ფოლადების დაახლოებით 300°C-მდე გახურებით (განმამტკიცებელი, ანუ ხელოვნური მექანიკური დაძველება) ამ პროცესის ხანგრძლივობის შემცირება შესაძლებელია რამდენიმე წუთამდე. ლურჯმეტეხობის არეში (200–300°C) მექანიკური დაძველება დეფორმირების პროცესთან ერთად ხდება.

ცხლადნაგლინ ფოლადებში უშუალოდ გლინვის შემდეგ ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების მნიშვნელობები ძალიან დაბალია. ისინი, ნაკეთობების კვეთის ზომების მიხედვით, ნორმალურ სიდიდემდე მაღლდებიან ერთი კვირიდან ერთ თვემდე დროის განმავლობაში. ზოგჯერ, საწყის სიდიდეებთან შედარებით, მათი მნიშვნელობები 2–3-ჯერ იზრდება. დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრები ამ დროს მნიშვნელოვან ცვლილებებს არ განიცდის. ზომიერ 100–200°C-მდე გახურებით ეს პროცესი შეიძლება მნიშვნელოვნად დაჩქარდეს.

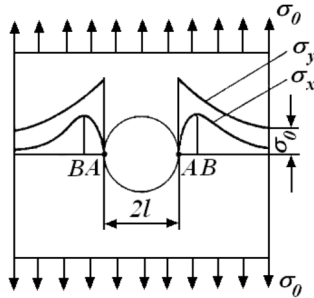
## თაზი VI რღვევის სიზღანტი (ბზარმეფობა)

### 6.1 სიმტკიცისა და რღვევის ზობადი მიმონილვა

**ძაბვების განაწილება დეფექტის კონტურზე.** ადამიანი, თავისი არსებობის მთელ მანძილზე, მუდმივ შეხებაში იყო სიმტკიცისა და რღვევის საკითხებთან. სხვადასხვა ნაგებობის მშენებლობისას უხდებოდა სიმტკიცის პრობლემის გადაწყვეტა. მიუხედავად ამისა, დიდი ხანი არ იყო ახსნილი კითხვა თუ რატომ ირღვეოდა ესა თუ ის ნაგებობა (კონსტრუქცია), გამოყენებული მასალის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვნად ნაკლები დატვირთვებისას. პირველი მეცნიერული კვლევები მხოლოდ აღორძინების ეპოქაში განდა (ლეონარდო და ვინჩი, გალილეო გალილეი-კვლევების შემდგომი განვითარება კი ჰუკის სახელს უკავშირდება). ზღვაოსნობის განვითარებამ და, შესაბამისად, გემების კატასტროფების რაოდენობის ზრდამ მეცნიერება აიძულა ჩაფიქრებოდა საკითხს: რატომ ირღვეოდა გემების კორპუსები, როცა, ძელების სიმტკიცის თეორიიდან გამომდინარე, მათი სიმტკიცე რამდენჯერმე აღემატებოდა გემების კორპუსების რღვევის გამომწვევ დატვირთვებს. ფაქტების ანალიზმა ცხადყო, რომ გემების კორპუსებისათვის უპირატესად საშიში იყო სხვადასხვა ლიუკებისა და ნახვრეტების განთავსების ადგილები. სწორედ მათ ირგვლივ წარმოიქმნებოდა ბზარები. გემთმშენებლებმა დაიწყეს ნახვრეტების გაანგარიშებებში გათვალისწინება და გაამაგრეს ნახვრეტის ნაპირები (გაზარდეს კვეთი ნახვრეტის ირგვლივ), მაგრამ ასეთი მიდგომა საკმარისი არ აღმოჩნდა.

მოცემულ ეტაპზე თეორია ჩამორჩებოდა პრაქტიკას. მან მხოლოდ მე-20 საუკუნის დასაწყისში შეძლო აეხსნა ნახ-

ვრეტების გაელენა სიმტკიცეზე. გერმანელმა მექანიკოსმა გ. კირშიმა მცირე ზომის მრგვალნახვრეტიანი სწორკუთხა ფირფიტების ერთდერძა გაჭიმვაზე გამოცდისას შენიშნა, რომ ძაბვები ნახვრეტის კონტურის ნაპირებზე მნიშვნელოვნად (3-ჯერ) აღემატებოდა ძაბვებს ნახვრეტიდან მოშორებულ წერტილებში. ანუ ძაბვებს იმავე ძალებით დატვირთულ მთლიან ფირფიტაში. სურ. 69.

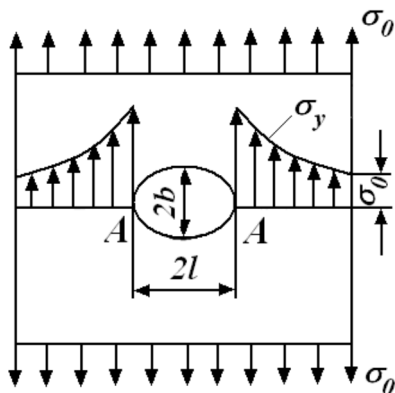


სურ. 69. ძაბვების განაწილების სქემა მცირე ზომის მრგვალი ფორმის ნახვრეტის კონტურზე

გამოდის, რომ იმ დროს დამკვიდრებული საინჟინრო გათვლები თითქმის 3-ჯერ ამცირებდა საშიში ძაბვების რეალურ სიდიდეებს (მცირე ზომის ნახვრეტი თითქმის არ ამცირებდა განიკვეთის ფართობს).

უფრო მოულოდნელი შედეგები იქნა მიღებული შედარებით რთული ამოცანის გადაწყვეტისას—ელიფსის ფორმის ნახვრეტიანი ფირფიტის გამოცდისას, (გ. კოლოსოვი, კ. ინგლისი) სურ. 70.

აღმოჩნდა, რომ იმ შემთხვევაში თუ ელიფსის ნახევარღერძების ფარდობა  $l/b = 3$ -ს, მაშინ ელიფსის წვეროებში ძაბვები იმატებდა 7-ჯერ  $(1 + 2 \frac{l}{b} = 7)$ .



სურ. 70. ელიფსის ფორმის ნახვრეტის წვეროვებზე ძაბვების განაწილების სქემა

დადგენილია, რომ განსაკუთრებით საშიში პიკური ძაბვები დამოკიდებულია ნახვრეტის სიმრუდეზე. იქ, სადაც სიმრუდე მაქსიმალურია ძაბვების სიდიდე მრავალჯერ აღემატება ძაბვების მნიშვნელობას მთლიან ფირფიტაში.

$$\sigma_y = \sigma_0 \left(1 + 2 \frac{l}{b}\right).$$

ჩანაჭრის წვეროში სიმრუდის  $r$  რადიუსის გათვალისწინებით ფორმულა შემდეგ სახეს იღებს:

$$\sigma_y = \sigma_0 \left(1 + 2 \sqrt{\frac{l}{r}}\right).$$

აღმოჩნდა, რომ ძაბვების კონცენტრაციის გამოსახვა ასეთი სახით მისაღებია არა მარტო ელიფსის, არამედ ნებისმიერი ფორმის ნახვრეტისთვისაც, თუ მის კონტურზე სიმრუდის მცირე რადიუსის მქონე წერტილი იქნება. ყველა შემ-

თხვევაში ძაბვების კონცენტრაცია განისაზღვრება ჩანაჭრის სიღრმითა და სიმრუდის რადიუსით მის წვეროში. ამ ფორმულის მიხედვით, ძაბვების მაღალი კონცენტრაცია შეიძლება წარმოიქმნას როგორც ნებისმიერი ზომის ნახვრეტის ნაპირთან, ისე ნაკაწრის წვეროსთანაც.

რეალურ მასალებში აღნიშნული ფორმულით სარგებლობა არ შეიძლება დამატებითი ანალიზის გარეშე, რადგან ძაბვების კონცენტრაციის ზონაში შეუქცევადი პროცესები აქტიურდება (მაგ., პლასტიკურ მასალებში). ხშირად ასეთ ზონებში დაზიანებები თანდათან გროვდება და შემდეგ ბზარებად გარდაიქმნება.

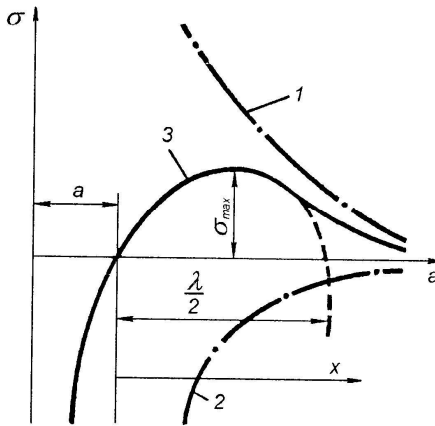
ცხადი გახდა, რომ კონსტრუქციების გაანგარიშებებში აუცილებელი იყო ძაბვების კონცენტრაციის გათვალისწინება. კ. ინგლისმა სიმტკიცეზე გათვლების პრაქტიკაში შემოიტანა ცნება ”ძაბვების კონცენტრაცია”, ანუ რიცხვი, რომელიც მიუთითებდა თუ რამდენჯერ აღემატებოდა ადგილობრივი ძაბვები ნომინალურს. ამ რიცხვს ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი ეწოდა და განისაზღვრა ჩანაჭრის ფორმით და მასალის თვისებებით (ყველაზე საშიში სიტუაცია იქმნება მყიფე მასალების მახვილ ჩანაჭრებთან).

რეალური მასალების სიმტკიცისა და ძაბვების სუფთა მათემატიკური გამოთვლებისას წარმოიშვა წინააღმდეგობა. ერთმანეთს არ ემთხვეოდა გათვლებით მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტით მიღებული ტექნიკური სიმტკიცის მაჩვენებლები. რაოდენობრივად ტექნიკური სიმტკიცე 10–100-ჯერ და მეტჯერ ნაკლები იყო თეორიულზე.

**თეორიული და ტექნიკური სიმტკიცე.** კრისტალური მასალების სიმტკიცის ასამაღლებლად ჩატარებულმა ექსპერი-

მენტულმა კვლევებმა და კონსტრუქციებისა და ნაგებობების საანგარიშო დაბეჭედებზე მნიშვნელოვნად ნაკლები დატვირთვით გამოწვეული რღვევების ანალიზმა აჩვენა, რომ იმ დროისათვის გავრცელებული წარმოდგენა სიმტკიცეზე, როგორც მასალის მუდმივაზე, არასაკმარისი იყო.

საკონსტრუქციო მასალების მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების გზების ძიებისას მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ატომებს შორის მიზიდულობისა და განზიდვის ძალები დამოკიდებული იყო ატომთშორის მანძილებზე. სურ. 71-ის შესაბამისად, ატომების ურთიერთქმედების ძალები დამოკიდებულია მათ შორის მანძილზე.



სურ. 71. ატომების ურთიერთქმედების ძალების დამოკიდებულება ატომთშორის მანძილზე (სქემა)

1. ატომებს შორის მიზიდულობის ძალა;
2. ატომებს შორის განზიდვის ძალა;
3. ატომების ურთიერთქმედების ჯამური ძალა.

$a$  არის ატომებს შორის მანძილი.

$\lambda/2$ —ტალღის ნახევარსიგრძე

ატომებს შორის მცირე მანძილის შემთხვევაში განზიდვის მრუდის დახრილობა მეტია, ვიდრე მიზიდულობისა. ამის გამო, ურთიერთქმედების ჯამური მრუდის დახრილობა დადებითია. მისი მნიშვნელობა ნულის ტოლი გახდება მაშინ, როდესაც ატომთშორის მანძილი  $a$ -ს გაუტოლდება. ამ დროს ორ ატომს შორის შეჭიდულების ძალებით, წონასწორული პირობები იქმნება (ატომებს შორის მიზიდულობას იწვევს სავალენტო ელექტრონების დაბალენერგეტიკული მდგომარეობა, განზიდვის მიზეზი კი მეზობელ ატომებს შორის მანძილის შემცირებისას შევსებული დონეების გადაფარვაა).  $a$  მანძილზე, წონასწორობაში მყოფ ატომებს შორის მანძილის გასაზრდელად, აუცილებელია გამჭიმავი ძაბვის მოდება. თუ ჩავთვლით, რომ ატომებს შორის ურთიერთქმედების ძალა ამ ძაბვის ტოლია, მაშინ იგი, დაახლოებით, შეიძლება მანძილის ჰარმონიული ფუნქციის სახით გამოისახოს:

$$\sigma = \sigma_{max} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right),$$

სადაც  $\sigma_{max}$  არის ატომების შეჭიდულების თეორიული სიმტკიცე.

$\sigma$  ძაბვას და  $x$  გადაადგილებას ფართობის ერთეულზე მოსული მუშაობა შეესაბამება. იგი ტოლია რღვევისას ძაბვის მრუდის  $x = 0$ -დან  $x = \lambda/2$ -მდე მონაკვეთის ზღვრებში არსებული ფართობისა. ამგვარად,

$$A = \int_0^{\lambda/2} \sigma_{max} \sin \frac{2\pi x}{\lambda} dx = \lambda \frac{\sigma_{max}}{\pi}.$$

თუ ახალი ზედაპირის წარმოქმნისას ერთეულ ფართობზე დახარჯულ ენერგიას (დაკავშირებულს მხოლოდ რღვევასთან) აღვნიშნავთ  $\gamma$ -თი, მაშინ:

$$\lambda \frac{\sigma_{max}}{\pi} = 2\gamma.$$

ხაზობრივი დრეკადობის არეში  $x$ -ის მცირე გადაადგილებისას, ამავე განტოლებასთან ერთად, სამართლიანია ჰუკის განტოლებაც, ანუ:

$$\sigma = \frac{Ex}{a},$$

$\sigma/x$  -ის გამორიცხვით მივიღებთ:

$$\sigma_{max} = \frac{\lambda E}{2\pi a},$$

რაც, ახალი ზედაპირის წარმოქმნისას ერთეულ ფართობზე დახარჯული ენერგიის გამოსათვლელ განტოლებასთან კომბინაციით, იძლევა თეორიული სიმტკიცის გამოსახულებას:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{\gamma E}{a}}.$$

მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევებმა პრაქტიკაში დაადასტურა, რომ ექსპერიმენტული კვლევებით განსაზღვრული მასალის სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობა გაცილებით ნაკლებია ვიდრე ატომთშორის კავშირების ენერგიაზე დაფუძნებული თეორიული გათვლებით მიღებული შედეგები. თეორიულ და ტექნიკურ სიმტკიცეებს შორის ასეთი მკვეთრი განსხვავება ახსნილ იქნა ა. იოფეს

მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტით: მან გაზომა სუფრის მარილის კრისტალის სიმტკიცე (რომელიც, როგორც წესი, რამდენიმე მპა-ია) და იგი, რამდენიმე ხნით ცხელ წყალში ჩაძირვის შემდეგ, შეადარა ამავე კრისტალის სიმტკიცეს (წყალში გაიხსნა კრისტალის ზედაპირის გარკვეული სისქე). აღმოჩნდა, რომ კრისტალის სიმტკიცე გაიზარდა 2000 მპა-მდე და მხოლოდ ორჯერ ჩამორჩებოდა მარილის თეორიულ სიმტკიცეს. ცხადია, რომ ცხელ წყალში ზედაპირული შრის გახსნამ გამოიწვია კრისტალის დაკბილულობების, ნაკაწრების, ბზარების და სხვა უფრო წვრილმანი ზედაპირული დეფექტებისაგან განთავისუფლება.

გამოითქვა მოსაზრება, რომ მასალის სტრუქტურის სრულყოფილება გამოიწვევდა ტექნიკური სიმტკიცის მაჩვენებლების თეორიულ მნიშვნელობასთან მიახლოებას. ასეთი შეხედულება განმტკიცდა ლითონური მასალების უდევექტო ძაფისებრი მონოკრისტალების მიღების შემდეგ, რომელთა სიმტკიცე 10000 მპა-ს უდრის (აღსანიშნავია, რომ საკონსტრუქციო ფოლადების სიმტკიცე 300 – 800 მპა-ს ზღვრებშია). კრისტალური მასალების დეფექტური სტრუქტურის ”გამოსწორება” რამდენიმე რიგით ამაღლებს ტექნიკურ სიმტკიცეს და აახლოებს თეორიულთან ( $\sigma_T \cong 0,1E$ ). თანამედროვე მეცნიერება ასკვნის, რომ თეორიულ და რეალურ სიმტკიცეს შორის სხვაობა შემდეგი ფაქტორებით აიხსნება: ა) მასალის კრისტალურ გისოსში ატომების რეგულირებული განლაგებებიდან გადახრით, ანუ მასალის სტრუქტურის დეფექტურობით; ბ) მასალის მთლიანობის ტექნოლოგიური დარღვევებით—ბზარებით.

**პოლიკრისტალური სხეულის დეფექტები.** პრაქტიკაში გამოყენებული ლითონებისა და შენადნობებისაგან ნებისმიერი ტექნოლოგიით დამუშავებულ ნაკეთობაში არის ისეთი

არასრულყოფილობები, როგორცაა: ვაკანსიებისა და კვანძთშორისი ატომების დიდი რაოდენობა, დისლოკაციების მაღალი საწყისი სიმკვრივე, სხვადასხვა ზომის, გეომეტრიული ფორმისა და ორიენტაციის მიკრობზარები, ჩანართები და დამზადების დეფექტები. ეს მასალები წარმოადგენენ მოწესრიგებულ ან მოუწესრიგებელ მყარ ხსნარებს და შედგებიან ოთხი ძირითადი გეომეტრიული ფორმის არასრულყოფილობებისაგან: 1. წერტილოვანი (ნულგანზომილებიანი—ვაკანსიები და კვანძთშორისი ატომები); 2. ხაზოვანი (ერთგანზომილებიანი—წერტილოვანი დეფექტების ჯაჭვი, სხვადასხვა ტიპის დისლოკაციები); 3. ზედაპირული (ორგანზომილებიანი—ატომების წყობის დეფექტები, მარცვლის, ბლოკების, ორეულების საზღვრები და ა.შ.) და 4. მოცულობითი (სამგანზომილებიანი—ფორები, ჩანართები, გამონაყოფები და მსგავსი წარმონაქმნები, რომელთა ზომებიც ატომთშორის მანძილს მრავალჯერ აღემატება).

ლითონებში ყოველთვის არსებობს ძაბვების კონცენტრატორები—სტრუქტურის არაერთგვაროვნება (მინარეები, განმამტკიცებელი ფაზები) და დეფექტები (შინაგანი და ზედაპირული ბზარები). უნდა აღინიშნოს, რომ ძაბვების კონცენტრაციის მიზეზი, მიკროსკოპულ დეფექტებთან ერთად, არის მაკროსკოპული შინაგანი მთლიანობების წყვეტა, ანუ სიცარიელები, ნაკეთობის კონსტრუქციული თავისებურებები: მახვილი კუთხეები, დიდი ზომის ჩანაჭრები, კვეთის მკვეთრი ცვლილებები და სხვა. ამრიგად, რეალური მასალების რღვევაში დიდ როლს ესა თუ ის დეფექტი თამაშობს. მათ შორის განსაკუთრებული ადგილი მიკრობზარებს უჭირავს. მცირე დატვირთვებისას ისინი გავრცელების ტენდენციას არ ავლენენ და, ამდენად, საფრთხესაც არ წარმოადგენენ. მაგრამ დროთა განმავლობაში ხდება მიკრობზარების შერწყმა და ბზარის ჩასახვა. სანამ ბზარი ნელა ვითარდება

ნაკეთობა შრომისუნარიანია. რაც უფრო ნელა ვითარდება, ბზარი, მით მეტია კონსტრუქციული სიმტკიცე. დიდი დატვირთვებისას, ზოგი მიკრობზარის წვეროში, გამჭიმავი ძაბვა აჭარბებს კრიტიკული ძაბვის სიდიდეს, რაც იწვევს ბზარის გავრცელებას. არამდგრადი-სწრაფი ზრდის უნარის მქონე მაგისტრალური ბზარის წარმოქმნის შედეგად, კონსტრუქცია ირღვევა კატასტროფულად.

**ბზარებისა და რღვევის სახეები.** ნაჩვენები იყო, რომ მექანიკური დატვირთვის მოქმედებით, მყარი სხეულის რღვევის პროცესი იყოფა: ბზარის კრიტიკულ სიდიდემდე გავრცელების და კრიტიკულის შემდგომ პერიოდებად (კრიტიკულამდე ბზარის გავრცელების პერიოდი წარმოადგენს კონსტრუქტორებისათვის ე.წ. "უსაფრთხო დაზიანების" პერიოდს). ზოგადად რღვევა შედგება სამი სტადიისაგან ესენია: ა) ბზარის ინიცირება; ბ) ბზარის სტაბილური ზრდა; გ) ბზარის არასტაბილური ზრდა ანუ რღვევა. ყველა მასალაში სამივე სტადია არ რეალიზდება. მყიფე მასალებში შიგა (მარცვლის საზღვრები და სხვ.) და გარე (ნაკაწრები და სხვ.) დეფექტები ითვლება ჩანასახ ბზარებად. ასეთ შემთხვევაში პირველი ორი სტადია შეიძლება გამოირიცხოს. ნაკლებად მყიფე მასალებში ბზარების არასტაბილურ გავრცელებას წინ უსწრებს მათი ინიცირება და სტაბილური ზრდა. მაგრამ თუ ბზარის ინიცირება და სტაბილური ზრდა ყოველთვის არ ხდება, არასტაბილური ზრდა მუდამ რღვევის დამამთავრებელი სტადიაა. ამრიგად მისი განვითარების მექანიზმი განისაზღვრება რღვევის პირველი ორი სტადიის არსებობით ან არარსებობით.

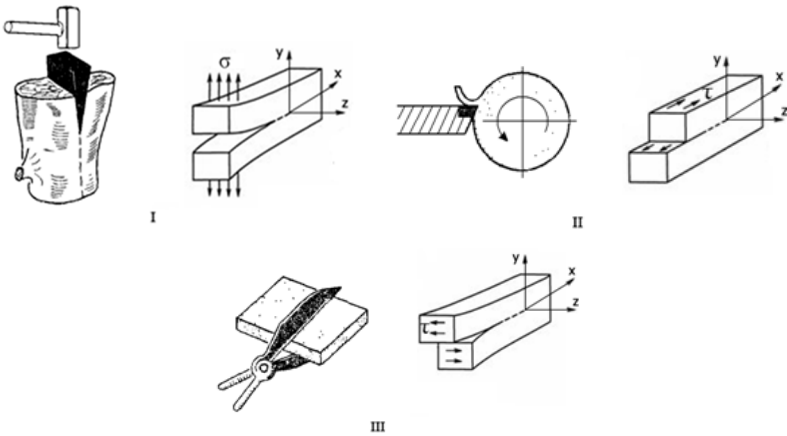
ბზარის გავრცელების სიჩქარის მიხედვით, ასხვაგვარად მყიფე და ბლანტ რღვევებს. მყიფე რღვევისას ბზარის გავრცელების სიჩქარე მასალაში ბგერის გავრცელების  $0,4 \div 0,5$

სიდიდეს (1000 მ/წმ-ს) აღწევს, ხოლო ბლანტი რღვევის სიჩქარე  $100 \div 1000$ -ჯერ ნაკლებს. ბლანტი რღვევისას საჭიროა მნიშვნელოვნად მეტი ენერგია, რადგან დეფორმაციის არე მოიცავს ბზარის საზღვრებიდან მოშორებულ ლითონის მოცულობას. მეიფე რღვევისას დეფორმაცია ლოკალიზებულია მცირე არეში, ბზარის წვეროსთან, და მის წასანაცვლებლად საჭიროა ბევრად ნაკლები ენერგია. ამრიგად, გავრცელების სიჩქარის მიხედვით, ბზარები შეიძლება იყოს ბლანტი ან მეიფე.

პოლიკრისტალურ სხეულებში მარცვალზე გამავალი ბზარით გამოწვეულ რღვევას ეწოდება მარცვალშიგა (ტრანსკრისტალური) რღვევა, ხოლო მარცვლის საზღვარზე გამავალი ბზარით გამოწვეულ რღვევას—მარცვალთშორისი (მარცვალთსასაზღვრო, ინტერკრისტალური) რღვევა. პრაქტიკაში უფრო შერეული ხასიათის რღვევა გვხვდება. რღვევის ზედაპირის მიკროსკოპული ორიენტირების მიხედვით ასხვავებენ მოწყვეტით და ძვრით რღვევებს.

**რღვევის დეფორმაციის მოდელები.** ბზარიანი სხეულის სიმტკიცეზე გაანგარიშების ამოსავალ წერტილად მასზე მოდებული დატვირთვით აღძრული ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილების კვლევა მიიჩნევა. რღვევის მექანიზმი დაკავშირებულია მიკროპლასტიკურ დეფორმაციებთან, რომლებიც ვითარდებიან ძაბვების კონცენტრაციის სიახლოვეს და დროთა განმავლობაში იწვევენ ბზარის ჩასახვას. სურ. 72-ის შესაბამისად, ბზარის კონტურის ნებისმიერი წერტილის მიდამოში ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილება შეიძლება წარმოვიდგინოთ სამი კერძო შემთხვევით: I. ნორმალური მოწყვეტით, II. განივი და III. გრძივი ძვრით. I დაკავშირებულია ნორმალური ძაბვების მოქმედებით წარმოქმნილი ბზარის ზედაპირების წანაც-

ვლებასთან. ამ დროს ბზარის მოპირდაპირე ნაპირები, ბზარის ზედაპირის პერპენდიკულარულად, ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით გადაადგილდება; II. მხები ძაბვებისას განივი "ძვრის" ტიპის ბზარი წარმოიქმნება. ამ დროს ბზარის ნაპირები, ბზარის სიბრტყეში მისი ფრონტალური ხაზის პერპენდიკულარული მიმართულებით ერთმანეთზე სრიალებენ; III. მხები ძაბვებისას გრძივი "ძვრის" ტიპის ბზარი წარმოიქმნება. ამ დროს ბზარის ერთი ზედაპირი სრიალებს მეორეზე ბზარის ფრონტის პარალელურად და ბზარის ნაპირები ბზარის სიბრტყეში მისი ფრონტალური ხაზის პარალელურად გადაადგილდება (შემდეგ ტექსტსა და ფორმულებში  $K$ -ს ინდექსები I, II და III ბზარის წანაცვლების სახეებს აღნიშნავენ).



სურ. 72. ბზარის წანაცვლების სახეები:

- I. "მოწვევტა";
- II. განივი "ძვრა";
- III. გრძივი "ძვრა"

ზოგადად ბზარი ამ სამი ტიპით შეიძლება აღიწეროს. ყველაზე ხშირად ტექნიკაში I ტიპის ბზარი გვხვდება, რადგან კონსტრუქციის ელემენტების დიდი უმრავლესობა იმ შემთხვევაში ირღვევა,

როდესაც ბზარის ნაპირები ბზარის სიბრტყის პერპენდიკულარულია. ბზარის სხვა სახის წანაცვლებისას იცვლება ძაბვის კუთხური დამოკიდებულება და შესაბამის ფორმულებში იქნება  $K_{II}$  ან  $K_{III}$ . მათგან ყველაზე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს წანაცვლების I სახეს. ამიტომ II და III სახე არ განიხილება.

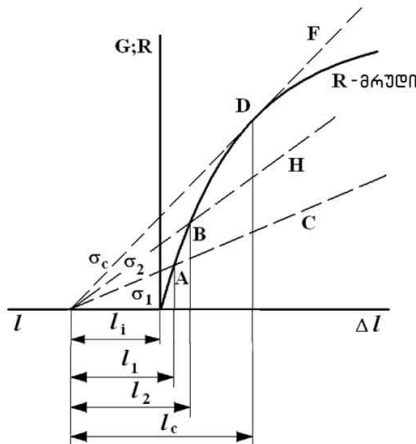
**ბზარის ზრდის წინაღობა ( $R$  მრუდი).**  $R$  მრუდი არის გრაფიკულად გამოსახული ბზარის გასაზრდელად აუცილებელი ენერჯიის დამოკიდებულება ბზარის სიგრძესთან. ბლანტი მასალებისათვის იგი მზარდი ბზარის წვეროსთან ახალი პლასტიკური ზონის წარმოსაქმნელად და მიკროსიცარიელების ჩასახვა-ზრდა-შერწყმის პროცესებისათვის აუცილებელი ენერჯიების ჯამისაგან შედგება. უკანასკნელი შესაკრები, პლასტიკური ზონის შემცველ ენერჯიასთან შედარებით, ძალიან მცირე სიდიდისაა და, შესაბამისად,  $R$  მრუდის საწყისად კოორდინატთა სათავეს–0 წერტილს–იდებენ. ე.ი. ნულოვანი ძაბვისას პლასტიკურობის ზონა ნულის ტოლია. ან კიდევ ენერგეტიკული კრიტერიუმში სრულდება ნულისგან განსხვავებული ნებისმიერი ძაბვისას. ამ დროს ძაბვა და პლასტიკური დეფორმაცია არასაკმარისია და ბზარი არ იზრდება. ე.ი. ბზარის გასაზრდელად ენერგეტიკული კრიტერიუმში აუცილებელი, მაგრამ არასაკმარისი კრიტერიუმია. ბზარის წვერო გასახსნელად ჯერ კიდევ არ არის მზად, ვინაიდან ძაბვა და დეფორმაცია საკმარისი სიდიდის არ არის ბზარის წარმოქმნა-ზრდისათვის. იმ მომენტში, როდესაც ასეთი სიტუაცია იქმნება ბზარის წვეროსთან, შეიქმნება პლასტიკურობის საკმარისი ზონა და ბზარი გაიზრდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ბზარის ზრდისას გამოიყოფა ენერჯიის ის რაოდენობა, რომელიც საკმარისი იქნება ბზარის ახალ წვეროსთან პლასტიკურობის ზონის წარმოსაქმნელად.

ბზარის სტაბილური ზრდისას ენერჯიის გამოყოფის სიჩქარე და ბზარის ზრდისადმი წინაღობის ენერჯია უნდა იყოს ტოლი (ნაკლებობისას ბზარი შეწყვეტს ზრდას, ხოლო მეტობისას არასტაბილურად განვითარდება). ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისას ენერჯიის გამოყოფის სიჩქარე განისაზღვრება როგორც:

$$G = \frac{\pi \sigma^2 l}{E} = R,$$

რადგან ბზარის ზრდისას იზრდება როგორც  $\sigma$ , ასევე  $l$ -იც გამოდის, რომ  $G$  იზრდება არა  $l$ -ის პროპორციულად, არამედ უფრო სწრაფად. სურ. 73-ის შესაბამისად, სქემიდან ჩანს, რომ როცა  $l_i$  ზომის შესაბამისი ბზარი  $\sigma_1$  სიდიდის დაბვითაა დატვირთული ბზარის სიგრძე ხდება  $l_1$ .

$$l_1 = l_i + \Delta l$$

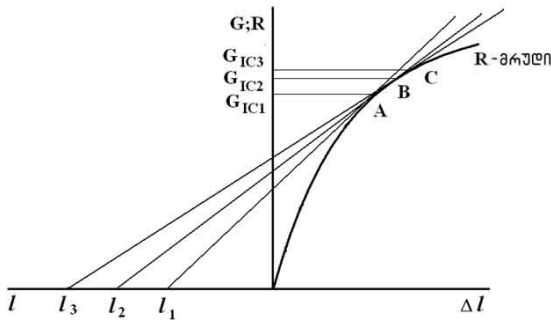


სურ. 73. ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობის R-მრუდი (სქემა)

ამ დროს გამოყოფილი ენერგია  $A$  წერტილის ორდინატს შესაბამისია. მუდმივი ძაბვის დროს ბზარის სიგრძის მატებისას,  $G$  გაიზრდება  $AC$  ხაზის შესაბამისად. ძაბვის  $\sigma_2$  მნიშვნელობამდე მომატება გამოიწვევს ბზარის სიგრძის ზრდას და იგი გახდება:

$$l_2 = l_i + \Delta l_2.$$

მუდმივი  $\sigma_2$  ძაბვის პირობებში, ბზარის სიგრძის ზრდისას,  $G$  იცვლება  $BH$  ხაზის შესაბამისად და ა.შ. კრიტიკული  $\sigma_c$  ძაბვისას ბზარის სიგრძე  $l_c$ -ს ტოლი, ხოლო  $G$  და  $R$  სიდიდეები  $D$  წერტილის შესაბამისი ხდება. ბზარის ზრდა  $\sigma_c$ -ის მუდმივობისას  $G$  იზრდება  $DF$  ხაზის შესაბამისად და ეს ხაზი  $D$  წერტილის შემდეგ მრუდზე მაღლა იქნება. ე.ი.  $D$  წერტილიდან  $G$  მეტი იქნება  $R$ -ზე და რღვევა იწყება. მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ  $R$  მრუდი ინვარიანტულია (სურ. 74).

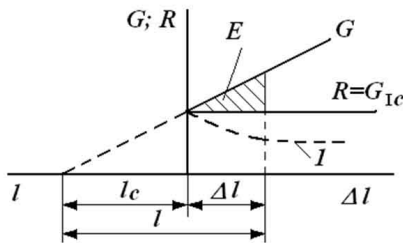


სურ. 74. ინვარიანტული  $R$ -მრუდი (სქემა)

ე.ი. იგი არ არის დამოკიდებული ბზარის საწყის სიგრძეზე. ეს კი ნიშნავს, რომ ნებისმიერი სიგრძის ბზარისათვის სრულდება რღვევის პირობა ამ მრუდისა და ენერგიის გამოყოფის სინქარის შეხების წერტილში.

**ბზარის გავრცელების სიჩქარე.** რღვევის წინმსწრები არასტაბილურობა აღიძვრება მაშინ, როდესაც ბზარის გაფართოების შემთხვევაში დრეკადი დეფორმაციების  $G$ -ს ინტენსიურობა მუდმივად აღემატება ბზარის ზრდის  $R$  წინაღობას.  $G$ -სა და  $R$ -ს შორის სხვაობა შეესაბამება ენერჯიის იმ რაოდენობას, რომელიც შეიძლება გადავიდეს კინეტიკურ ენერჯიაში; ამრიგად, ეს სიდიდე განსაზღვრავს ბზარის გავრცელების სიჩქარეს საკვლევ არეში.

მას შემდეგ რაც ბზარის ზომა  $\Delta l$  სიდიდით გაიზრდება, ენერჯიის საერთო რაოდენობა, რომელსაც შეუძლია გადავიდეს კინეტიკურ ენერჯიაში, განისაზღვრება  $\Delta l$  მონაკვეთზე ( $G-R$ ) სხვაობის ინტეგრალით. გრაფიკულად ამ ინტეგრალის სიდიდე ნაჩვენებია სურ. 75-ზე დაშტრიხული  $E$  არით.

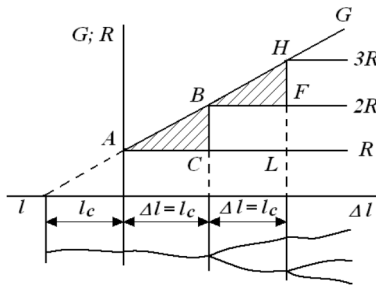


სურ. 75. კინეტიკური ენერჯიის გრაფიკული სქემა

გრაფიკზე სქემა ნაჩვენებია შემდეგი დაშვებებით: 1. ბზარი ვრცელდება მუდმივი ძაბვისას; 2. დეფორმაციის დრეკადი ენერჯიის გამოყოფა დამოკიდებული არ არის ბზარის გავრცელების სიჩქარეზე; 3. ბზარის ზრდის წინაღობა მუდმივია. აღსანიშნავია, რომ დეფორმირების სიჩქარეზე დამოკიდებული მასალების  $R$  მრუდი კლებადობით ხასიათდება (75 სურათზე წყვეტილი ხაზი 1).

მეიფე ლითონებში ბზარის რღვევის კრიტიკულ სტადიამდე დაახლოებით 1 მმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს. კრიტიკული ზომის მიღწევის შემდეგ 1/1000 წმ-ში, მისი გავრცელების სიჩქარე იზრდება 10 000 კმ/სთ-მდე. მაშასადამე, აჩქარების სიდიდე ბზარის აჩქარების ეტაპზე შეადგენს  $10^8$  მ/წმ<sup>2</sup>-ს.

**ბზარის განტოტება** (ბიფურკაცია). განვიხილოთ მარტივი შემთხვევა. დაუშვათ  $R$  მუდმივია და ბზარის გავრცელება ხდება მუდმივი ძაბვისას. ანუ ენერგიის გამოყოფის ინტენსიურობა ხაზობრივად და დამოკიდებული ბზარის ზომაზე (სურ. 76).



სურ. 76. ბზარის განტოტების სქემა

იმ დროს როდესაც ბზარის ზომა ორჯერ აღემატება საწყის ზომას, რომლის დროსაც იგი არასტაბილური ხდება (A) (ანუ, როდესაც  $\Delta l = l_c$ -ს) მაშინ ენერგიის გამოყოფის ინტენსიურობა ორჯერ აღემატება (B) ბზარის ზრდის  $R$  წინააღობას. ე.ი. ამ დროს თავისუფლდება ორი ბზარის გავრცელებისათვის საკმარისი ენერგია და შედეგად იქმნება ბზარის განტოტების შესაძლებლობის პირობა.

ბზარის  $l = 3l_c$  ზომამდე გაზრდისას ( $\Delta l = 2l_c$ ) ენერგიის გამოყოფის ინტენსიურობა  $G = 3R$ -ის ტოლი გახდება. ეს კი

ნიშნავს, რომ შესაძლებელია სამი ბზარის ერთდროულად გავრცელება, ანუ მრავალჯერადი განტოტება. ამრიგად, სქემის თანახმად, ბზარის განტოტება იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა ფარდობა  $\frac{l}{l_c} = 2, 3, 4$ -ს და ა.შ. გამოთვლებით დადგენილია, რომ ბზარის განტოტებისათვის აუცილებელი ბზარის გავრცელების მინიმალური სიხარე შეადგენს 0,19v-ს (პირველი ტოტი (შტო) ჩნდება, როდესაც  $\frac{l_c}{l} = 0,5$ -ს).

განტოტების პროცესი გავლენას ახდენს ბზარის გავრცელების სიხარეზე. განტოტების მომენტში კინეტიკური ენერჯის ზრდა მკვეთრად მცირდება და ნაცვლად *AHL* ფართობისა, *ABC* და *BHF* სამკუთხედების ფართობების შესაბამისი ხდება. ეს ნიშნავს, რომ გაორებული ბზარები მოძრაობს უფრო ნელა, ვიდრე ერთეული (ცალფა) ბზარი.

## 6.2 რღვევის მექანიზმა

**ზოგადი მიმოხილვა.** დატვირთვებზე მყარი სხეულის რეაქცია ვლინდება დეფორმაციით ან რღვევით. რღვევის პროცესების კვლევით შესაძლებელი გახდა მასალის სიმტკიცეზე გაანგარიშებები, რომელთა მათემატიკურმა განზოგადოებებმა ამ მეცნიერების ახალი მიმართულება—რღვევის მექანიკა—წარმოშვა, რომელიც იკვლევს: სხეულის ნაწილაკებს შორის შეჭიდულობის კარგვის მაკროპროცესებს, მასალის თვისებებს, მასზე მოქმედი ძაბვების დონეს, როდენობრივ კავშირს ნიმუშში ბზარის არსებობასა და ბზარის გავრცელების მექანიზმს შორის. ეს კვლევები ნაწილობრივ უკავშირდება რღვევის პროცესების მაკრომექანიზმების შესწავლას, ნაწილობრივ კი, რღვევის კრიტერიუმების და-

საბუთებებს მაკროდონეზე. რღვევის მექანიკის უმთავრესი მიზანი მრღვევი დატვირთვის (გამჭიმავი, მკუმშავი ან ძვრის ძაბვები) პარამეტრის დადგენა და იმ ძაბვების სიდიდის წინასწარმეტყველებაა, რომელსაც შეიძლება კონსტრუქციამ დაურღვევლად გაუძლოს.

პრაქტიკულმა აუცილებლობამ ბიძგი მისცა კონსტრუქციების გაანგარიშების მეცნიერული მეთოდების შემუშავებას. კონსტრუირებისას უნდა გაეთვალისწინებინათ: მყიფე ბზარის განვითარებისადმი მასალის წინაღობის უნარი; კავშირი ძაბვების დასაშვებ სიდიდესა და საწყის მასალაში არსებული ბზარების (ან ბზარისმაგვარი დეფექტების) ზომებს შორის. რღვევის მექანიკას ლაბორატორიული კვლევის ისეთი დასაბუთებული მეთოდიკა უნდა შეემუშავებინა, რომლის ბაზაზეც მიღებულ შედეგებს გადაიტანდნენ დასაპროექტებელ კონსტრუქციებში.

ავარიათა მიზეზების ანალიზის შედეგებმა მიანიშნა მეცნიერებს, რომ ტრადიციული, დრეკადი ან პლასტიკური მდგომარეობების მიხედვით ნაგებობების სიმტკიცის შეფასება არასაკმარისი იყო და გასათვალისწინებელია ის განსაკუთრებული დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, რომელიც სხეულის დეფორმირების პროცესში ბზარის წვეროს სიახლოვეს ხდება. ბზარის განვითარების კანონზომიერების კვლევისას დადგინდა, რომ მასალაში არსებული არასრულყოფილებანი დიდ გავლენას ახდენდნენ ნაკეთობის სიმტკიცეზე, კერძოდ, ბზარის განვითარების პროცესზე მასში. ბზარები განვითარებას დადლილობით, პლასტიკურ და მყიფე რღვევამდე გაცილებით ადრე იწყებდნენ და ამასთან მათი განვითარების პროცესს რღვევისწინა პერიოდში დიდი დრო ეჭირა. დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ბზარის გავრცელება რთული პროცესია და მისი კანონ-

ზომიერებების ცოდნას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ამასთან რღვევის ხანგრძლივობა, ანუ სრულ რღვევამდე ნაკეთობის "სიცოცხლის" უდიდესი ნაწილი (90% და მეტი), ბზარის ზრდის პერიოდზე მოდის და ნაკეთობის ექსპლუატაციისას მთავარი ადგილი მასში არსებული მიკრობზარების არა რაოდენობას, არამედ მათი განვითარების ტემპს უჭირავს.

მასალის რომელიმე წერტილის (ან მთლიანად სხეულის) მზიდი უნარის ამოწურვის მომენტის დასადგენად საჭიროა ე.წ. სიმტკიცის კრიტერიუმების განსაზღვრა. მასალის კრიტერიუმების ფორმულირებისას აუცილებელია, ექსპერიმენტულად, სტანდარტული მეთოდებით, განისაზღვროს ისეთი მუდმივები, როგორცაა დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრები, მასალის რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა და სხვ. ბზარის გავრცელების დასაწყისის კრიტერიუმი (ანუ რღვევის კრიტერიუმი), რღვევის მექანიკის საფუძველს წარმოადგენს, მაგრამ იგი არ გამომდინარეობს უწყვეტი სხეულის წონასწორობისა და მოძრაობის მექანიკის განტოლებებიდან.

რღვევის მექანიკის მიზანია შექმნას დეფორმაციისა და რღვევის თეორია, სტრუქტურის დეფექტურობისა და სამუშაო გარემოს ზემოქმედების გათვალისწინებით. მე-20 საუკუნის დასაწყისში ჩამოყალიბებული კლასიკური მიდგომა მასალების და კონსტრუქციების სიმტკიცის შეფასებისადმი, გამომდინარეობდა უწყვეტი არის თვისებებიდან. ამ მიდგომით დეფორმირებადი სხეული შეიძლება იყოს უწყვეტი ან, როცა მასალის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა მიაღწევს რომელიღაც კრიტიკულ მნიშვნელობას (როცა გამჭიმავი ძაბვა მიაღწევს სიმტკიცის ზღვარს დეფორმირებადი მყარი სხეულის რომელიმე წერტილში), მყისიერად გადავიდეს უწყვეტიდან დარღვეულ მდგომარეობაში.

მე-20 საუკუნის 40-იან წლებამდე მანქანათა დეტალების ან კონსტრუქციის ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მასალაში დეფექტების არსებობას არ ითვალისწინებდნენ. ითვლებოდა, რომ ძაბვების ზღვრული მნიშვნელობის მიღწევის შემთხვევაში, კონსტრუქცია მყისიერად ირღვევა, ანუ ბზარის განვითარების პროცესი მხედველობაში არ მიიღებოდა (კლასიკური მიდგომა). მოგვიანებით კლასიკური მიდგომა შეიცვალა ე.წ. არაკლასიკური მიდგომით, რომელიც თვლის, რომ დეფორმირებადი სხეულის ელემენტის უწყვეტი მდგომარეობიდან დარღვეულ მდგომარეობაში გადასვლას თან ახლავს შუალედური პროცესი რაც დეფექტებიანი (მიკრობზარებიანი) სხეულის სიმტკიცის ამოცანის გადაწყვეტისას აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული. სამოქალაქო და სამრეწველო ობიექტების კატასტროფულ რღვევათა მიზეზების კვლევების საფუძველზე მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ რღვევა ყველა შემთხვევაში შეუმჩნეველი ნარჩენი დეფორმაციით ხდებოდა და რღვევის წინ ბზარის მიმდებარე არე განსაკუთრებულ მდგომარეობაში იმყოფებოდა. იქ მასალა დეფორმირდებოდა დრეკადობის ზღვარზე მაღლა. ამავე არეში ადგილი ჰქონდა პლასტიკურ დინებას, გარემოსთან ურთიერთქმედებას, დიფუზიურ პროცესებს, მასალის დაზიანებას და მასალის ლოკალური რღვევის გამომწვევ სხვა მოვლენებს.

ამგვარად, მასალის რღვევის არაკლასიკური სქემა ითვალისწინებს მდგომარეობის აღრიცხვას მახვილწვეროებიანი დეფექტების სიახლოვეს. აქედან გამომდინარე, მყარი სხეულის სიმტკიცის შეფასებისას აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული მისი ლოკალური ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, მაგ., უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს ბზარის გავრცელებას (ბზარმდეგობა). რადგან ბზარის წვეროში მასალის ქცევის საკონტროლო მახასიათებლებია ენერ-

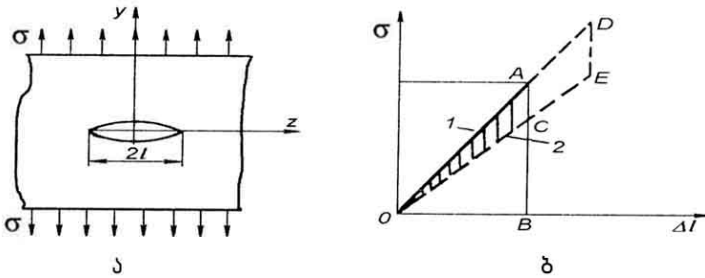
გია, ძაბვები და დეფორმაციები, შესაბამისად, რღვევის მექანიკის ყველა კრიტერიუმში იყოფა ენერგეტიკულ, ძალოვან და დეფორმაციულ კრიტერიუმად.

ბზარის გავრცელების დასაწყისის კრიტერიუმები შეიძლება განისაზღვროს როგორც ენერგეტიკული, ისე ძალოვანი მოსაზრებებით. 1920 წელს აღან არნოლდ გრიფითმა განსაზღვრა ენერგეტიკული კრიტერიუმი, ხოლო ჯორჯ რენკინ ირვინმა 1957 წელს მოახდინა ძალოვანი კრიტერიუმის ფორმულირება. მანვე აჩვენა ამ კრიტერიუმების ეკვივალენტობა. ძალოვანი მიდგომის რეალიზაციამ ხელი შეუწყო საკმაოდ მკაცრი და დასრულებული რღვევის ხაზოვანი მექანიკის ჩამოყალიბებას.

**რღვევის ენერგია და გრიფითის ენერგეტიკული კრიტერიუმი.** რღვევის მექანიკის ამოსავალი არის ა. გრიფითის თეორია. მან დაადგინა: თუ ერთეული სისქის ფირფიტაზე გამჭიმავი  $\sigma$  ძაბვის მოქმედებისას განვითარდება გაჭიმვის ღერძის პერპენდიკულარულად  $l$  სიგრძის ბზარი, მაშინ ფირფიტის დრეკადი ენერგია შემცირდება და იმავდროულად შესრულდება მუშაობა რღვევის თავისუფალი ზედაპირების (ბზარის კედლების) წარმოსაქმნელად. ფირფიტის ენერგიის ჯამური ცვლილება დამოკიდებულია სხვადასხვანიშნის მქონე ორი მდგენელის თანაფარდობაზე. ამ თეორიის მიხედვით, მყიფე მასალების რღვევა განპირობებულია სხეულში არსებული ბზარებით ან ბზარისმაგვარი დეფექტებით, რომელთა გავრცელება იწვევს რღვევას.

მეცნიერებისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს ბზარის წვეროს მომიჯნავე არე იწვევს. ხაზოვან მექანიკაში განიხილება ნულოვანი სისქის ბზარიანი, ძაბვებისაგან თავისუფალი ზედაპირის მქონე იდეალურად დრეკადი სხეულის მოდელის რღვევა. გრიფი-

თის მიხედვით, მიეფე რღვევის პროცესში ენერჯიის როლი მდგომარეობს შემდეგში: ბზარის წვეროსთან მხოლოდ ძაბვების კონცენტრაციას სხეულის რღვევა არ შეუძლია. თუ ბზარის წვეროსთან მიწოდებული არ იქნება საკმარისი ენერჯია, რღვევა შეწყდება. ენერჯიის ბალანსში გარკვევის მიზნით, განვიხილოთ უძრავად დამაგრებული ერთეული სისქის უსასრულო ფირფიტა,  $2l$  სიგრძის I ტიპის ცენტრალური განივი ბზარით და  $\sigma$  დრეკადი ძაბვით, სურ. 77 ა.



სურ. 77. გრფითის კრიტერიუმი უძრავი მომჭერებისას:

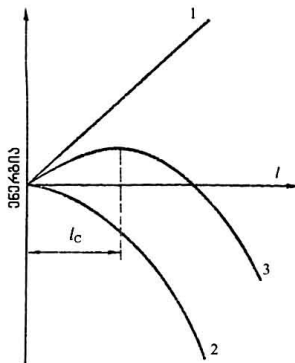
- ა. ბზარიანი ფირფიტა უძრავი ბოლოებით;
- ბ. დრეკადი დეფორმაციების ენერჯია ( $l$  არის  $l$  და  $2-l + dl$  სიგრძის ბზარები)

ფირფიტაზე მოდებული დატვირთვის შესაბამისი "დატვირთვა-დეფორმაციის" დიაგრამა ნაჩვენებია 77-ე ბ სურათზე. ფირფიტაში დაგროვებული დრეკადი ენერჯია წარმოდგენილია  $OAB$  ფართობით. ბზარის  $dl$  სიდიდით გავრცელებისას ფირფიტის სიხისტე მცირდება (ხაზი  $OC$ ); რადგან ფირფიტის ნაპირები დამაგრებულია უძრავად, დატვირთვა და, შესაბამისად, ფირფიტაში დაგროვებული დრეკადი ენერჯია მცირდება  $OCB$  სიდიდემდე; ბზარის  $l$ -დან  $l+dl$ -მდე გავრცელება იწვევს  $OAC$  სამკუთხედის ფართობის შესაბამისი დრეკადი ენერჯიის განთავისუფლებას. ბზარის სიგრძის შემდგომი ზრდისას დრეკადი ენერჯია  $ODE$  სამკუთხედის ფართობის შესაბამისი ხდება.

თერმოდინამიკური გათვლებით გრიფითმა აჩვენა: არ შეიძლება ბზარი გაიზარდოს არასტაბილურად (კატასტროფულად) მანამ, სანამ მყარ სხეულში დაგროვებული და ბზარის ზრდისას განთავისუფლებული დრეკადი ენერგია არ გახდება (რღვევაზე დახარჯულ დამატებით ენერგიასთან ერთად) მყარი სხეულის თერმოდინამიკური ზედაპირული  $\gamma$  ენერგიის ტოლი ან მასზე მეტი (სურ. 78). ანუ სანამ შემდეგი პირობა არ იქნება შესრულებული:

$$\gamma \leq \frac{dU}{dl}$$

სადაც  $\frac{dU}{dl}$  არის დრეკადი ენერგია გამოთავისუფლებული ბზარის ზრდით ახალი ზედაპირის წარმოქმნისას.



სურ. 78. რღვევის ენერგიის ცვლილება ბზარის ზრდისას:

1. ახალი ზედაპირის წარმოქმნის ენერგია;
2. განთავისუფლებული დრეკადი ენერგია;
3. ენერგიის ცვლილება

სიმტკიცის დონესა და დეფექტის ზომას შორის ანალიზური შეფასების ექსპერიმენტულმა შემოწმებამ, მყოფე მასალებისათვის, დამაკმაყოფილებელი შესაბამისობა აჩვენა.

გრიფითი ცდიდა მინის კოლბებს, რომელთა ზედაპირზეც აღმასის ინსტრუმენტით წინასწარ დაჰქონდა სხვადასხვა სიგრძის ნაკაწრები. მან შენიშნა, რომ კოლბებში განვითარებული წნევისას, წნევისა (ძაბვის) და ნაკაწრის ნახევარსიგრძის განსაზღვრული თანაფარდობის დროს კოლბები ირღვეოდა. მინის ტექნიკური სიმტკიცის განსაზღვრისას გრიფითი იკვლევდა ბზარისმაგვარი კონცენტრატორიანი მყოფე სხეულის მზიდ უნარსაც. კვლევებით დადგინდა, რომ ბზარის სპონტანური განვითარება იწყება მაშინ, როცა დრეკადი ენერჯის განთავისუფლების სიჩქარე გადააჭარბებს ახალი გამყოფი ზედაპირის წარმოსაქმნელად აუცილებელი ზედაპირული ენერჯის ნაზრდს. ამდენად, კანონზომიერი აღმოჩნდა მყოფე სხეულების მოწყვეტით რღვევის საანგარიშო მახასიათებლად კუთრი ზედაპირული ენერჯის გამოყენება. მაგრამ გრიფითის მიხედვით გაანგარიშებებმა, რომლებშიც გამოყენებული იყო ზედაპირის ჭეშმარიტი ენერჯის ზომა, პოლიკრისტალური მასალების (უპირველესად ლითონებისა და შენადნობების) ექსპერიმენტულ შედეგებთან შესაბამისობა აჩვენეს.

კვლევებით ნაჩვენები იყო, რომ ნიმუშების გამოცდით მიღებული სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობა (რომლის მიღწევისას მასალა ირღვევა) მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ატომთშორისი კავშირების ენერჯიაზე დაფუძნებული თეორიული გათვლებით მიღებული შედეგები. ეს განსხვავება აიხსნება იმ ძალიან მცირე, მიკროსკოპული, ბზარებით (დრეკად მდგომარეობაში ისინი განაპირობებენ ძაბვების მაღალ კონცენტრაციას), რომლებიც ყოველთვის არსებობენ მასალის ზედაპირსა და მოცულობაში. ასეთი სიცარიედეები იწვევს სიმტკიცის მაჩვენებლების შემცირებას. მოდებული ძაბვა ძლიერდება ან კონცენტრირდება ბზარის წვეროზე, ამასთან, ძაბვის კონცენტრაციის ხარისხი დამოკიდებულია

ბზარის ორიენტაციასა და მის გეომეტრიულ ფორმაზე. მაგ., თუ სიბრტყეზე სიცარიელის წარმომქმნელი ელიფსის ფორმის ბზარი ორიენტირებულია გამჭიმავი დატვირთვის პერპენდიკულარულად, მაშინ ბზარის წვეროზე აღძრული მაქსიმალური ძაბვა  $\sigma_{max}$  შემდეგი გამოსახულებით განისაზღვრება:

$$\sigma_{max} = 2\sigma_0 \sqrt{\frac{l}{r}} ,$$

სადაც:  $\sigma_0$  არის ნომინალური გამჭიმავი ძაბვა;

$l$ —ბზარის ზედაპირის სიგრძე ან ბზარის სიგრძის ნახევარი;

$r$ —სიმრუდის რადიუსი ბზარის წვეროსთან.

სიმრუდის მცირე რადიუსის მქონე გრძელი ბზარებისათვის  $\sqrt{l/r}$  გამოსახულების ფაქტორი ხდება მნიშვნელოვანი. ასეთ შემთხვევაში  $\sigma_{max}$  ბევრად აღემატება  $\sigma_0$ -ს.  $\sigma_{max}/\sigma_0$  ფარდობას ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი ეწოდება, აღინიშნება  $K$ -თი და განისაზღვრება ფორმულით:

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} = 2\sqrt{\frac{l}{r}} .$$

ფიზიკური მნიშვნელობით ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი არის ძაბვების ზრდის ზომა ბზარის წვეროსთან ძაბვის ნომინალურ მნიშვნელობასთან შედარებით.

მეიფე მასალებში ძაბვების კონცენტრაციის ეფექტი უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე პლასტიკურში. პლასტიკურ მასალაში, როდესაც მაქსიმალური ძაბვა დენადობის ზღვრის მნიშვნელობას გადააჭარბებს, მასალა იწყებს პლასტიკუ-

რად დეფორმირებას. ამ დროს რღვევის მექანიზმი უკავშირდება ძაბვების კონცენტრატორების სიახლოვეს განვითარებულ მიკროპლასტიკურ დეფორმაციებს. ისინი იწვევენ ძაბვების თანაბარ განაწილებას და მაქსიმალური ძაბვების სიდიდის შემცირებას მოსალოდნელ თეორიულ მნიშვნელობასთან შედარებით. მყიფე მასალებში ძაბვების ასეთი გადანაწილება არ ხდება ბზარის ირგვლივ და შინაგანი მთლიანობების წყვეტის ადგილებში. ამ დროს მაქსიმალური ძაბვა მასალაში შეესაბამება თავის თეორიულ მნიშვნელობას.

გაჭიმვაზე  $\sigma$  ძაბვის მოქმედებისას,  $2l$  სიგრძის მოწყვეტის ბზარიანი იდეალური მოდელის ბრტყელი დეფორმაციის ამოცანის განხილვის დროს, გრიფითმა განსაზღვრა მყიფე მასალებში ბზარის ზრდისას განთავისუფლებული დრეკადი ენერჯია:

$$\gamma = \frac{\pi\sigma^2 l}{2E},$$

სადაც  $E$  არის მასალის დრეკადობის მოდული.

ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ბზარის გასავრცელებლად აუცილებელი კრიტიკული ძაბვა (გრიფითის კრიტიკური) მყიფე მასალებში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}}.$$

ყველა მყიფე მასალაში არის ზომით, გეომეტრიული ფორმითა და ორიენტაციით ერთმანეთისგან განსხვავებული მრავალი სიცარიელე და ბზარი. როცა ამ ბზარებიდან

ერთ-ერთის წვეროში გამჭიმავი ძაბვის სიდიდე გადააჭარბებს კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობას, ბზარი არასტაბილურად ვითარდება და სხეული კატასტროფულად ირღვევა.

დადგენილია, რომ ბზარის რომელიღაც კრიტიკული  $l_c$  ზომიდან დაწყებული, დრეკადი ენერგიის მარაგის შემცირება გადაფარავს ზედაპირული ენერგიის მატებას. ეს კი ნიშნავს, რომ ბზარის კრიტიკული სიგრძის ზრდა, ბზარის განვითარების არამდგრად სტადიაზე, დეფორმაციის ენერგიის მარაგის ხარჯზე მიმდინარეობს და არ ითხოვს გამჭიმავი ძალის მატებას. ბზარის კრიტიკული  $l_c$  სიგრძე და მისი შესაბამისი გამჭიმავი ძაბვა  $\sigma$  ერთმანეთთან დაკავშირებულია ზემოთ ნაჩვენები გრიფითის კრიტერიუმით:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\gamma_s E}{\pi l_c}},$$

სადაც:  $\gamma_s$  არის ხვედრითი ზედაპირული ენერგია;

$E$ —იუნგის მოდული.

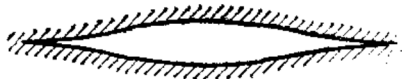
ეს კრიტერიუმი გვიჩვენებს, რომ რაც მეტია მოქმედი ძაბვა, მით უფრო მოკლე ბზარებს შეუძლია გავრცელდეს კატასტროფულად (ზვავისებრად). ძაბვის კრიტიკულ მნიშვნელობას მყიფე სიმპტიკის ზღვარს უწოდებენ და იგი აღინიშნება  $\sigma_f$ —ით. გრიფითის კრიტერიუმიდან:

$$l_c \approx 1,5 \frac{\gamma_s E}{\sigma_f^2}.$$

პრაქტიკულად, აბსოლუტურად მყიფე რღვევა შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე, გრიფითის კრიტერიუმით განსაზღვრული შედეგები მნიშვნელოვნად მცირეა მოწყვეტით რღვევის წინააღობის სიდიდეზე. ეს ფაქტი შემდეგნაირად აიხსნება: ბზარის გავრცელების ფრონტზე ადგილი აქვს გარკვეული სიდიდის პლასტიკურ დეფორმაციას, რომელიც აღიძვრება მას შემდეგ რაც მზარდი

ძაბვა მიადწევს მასალის დენადობის ზღვარს. მყიფე რღვევის წინმსწრები პლასტიკური დეფორმაციის პროცესის ენერგოტევადობა, როგორც წესი, მზარდი ბზარის ზედაპირული ენერგიის ნაზრდზე ბევრად უფრო მეტია. ამდენად, მიზანშეწონილია, წინა გამოსახულებაში  $\gamma_s$ -ის ნაცვლად კუთრი ზედაპირული ენერგიისა და პლასტიკური დეფორმაციის კუთრი ენერგიის ჯამის ( $\gamma_s + \gamma_p$ ) გამოყენება.

**კვაზიმყიფე რღვევა.** ითვლებოდა, რომ გრიფითის თეორია მხოლოდ მყიფე მასალების რღვევის პირობებს ასახავდა. ლითონების რღვევას კი ყოველვის თან ახლდა რღვევის-წინა პლასტიკური დეფორმაცია და მათი რღვევა მყიფე რღვევის პირობებიდან განსხვავდებოდა. ოროვანმა დაადგინა, რომ პლასტიკური დეფორმაცია თავს იყრიდა ბზარის ზედაპირის (კონტურის) ვიწრო შრეში, (სურ. 79).



სურ. 79. დეფორმირებული შრე ბზარის კონტურთან (დაშტრისული ნაწილი)

რღვევის მექანიკაში ასეთ რღვევას კვაზიმყიფე რღვევა ეწოდება. ოროვანმა და ირვინმა გრიფითის რღვევის სქემაში ზედაპირული  $\gamma$  ენერგიის ცნება გააფართოვეს. მას რღვევის ახალი ზედაპირის წარმოქმნაში პლასტიკური მუშაობის წილი დაუმატეს და სრული ზედაპირული ენერგია წარმოადგინეს როგორც:

$$\gamma + \gamma_p,$$

სადაც  $\gamma_p$  არის რღვევის ერთეული ზედაპირის წარმოქმნაზე დახარჯული პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობა. იგი

შეუქცევია და მხოლოდ ბზარის ზრდაზე იხარჯება. რღვევის პროცესების კვლევისას მხედველობაშია მისაღები ის ფაქტი, რომ პლასტიკური მასალებისათვის  $\gamma_P \gg \gamma$ -ზე. მაგალითად ფოლადებისათვის  $\gamma_P \approx 10^3 \gamma$ . ასეთი მნიშვნელოვანი სიდიდის პლასტიკური მუშაობა განაპირობებს ლითონების მაღალ წინაღობას მყიფე რღვევისადმი. დეფორმაციის მუშაობის გათვალისწინებით გრიფითის ფორმულა პლასტიკური მასალებისათვის ჩაიწერება როგორც:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E(\gamma + \gamma_P)}{\pi l}}.$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ:

$$\sigma_c \sqrt{\pi l} = \sqrt{2E (\gamma + \gamma_P)} = const.$$

ოროვანისა და ირვინის კვაზიმყიფე რღვევის კონცეფცია საშუალებას იძლევა მყიფე მასალების რღვევის გრიფითის სქემიდან გადავიდეთ რეალური მასალების რღვევის სქემაზე.

**რღვევის ძალოვანი პარამეტრები.** მყიფე რღვევისადმი გრიფითის მაღალეფექტური ენერგეტიკული მიდგომა, ბზარის მიდამოში წარმოქმნილი დაძაბული ველის ანალიზს არ ითვალისწინებდა (მასალაში გარკვეული ზომის დეფექტების არსებობისას გრიფითის თეორია, რღვევის პროცესში და რღვევამდე, სუფთა დრეკად ქცევებს ვარაუდობს). გრიფითის თეორიის განვითარება და შევსება, ლითონების რღვევაში პლასტიკური დეფორმაციის გარდუვალი მონაწილეობის ასახვით, ირვინისა და ოროვანის კვლევებით დაიწყო. მათ, მრავალი კატასტროფული ავარიის ანალიზისას მყიფე რღვევის ფიზიკური წარმოდგენების დამუშავებასთან ერ-

თად მნიშვნელოვანი ყურადღება მიაქციეს რღვევის მექანიკის კვლევებსაც. ასე გაჩნდა რღვევის ფორმალური თეორია. იგი ცნობილია როგორც დრეკადი ხაზობრივი რღვევის მექანიკა ან მარტივად ხაზობრივი რღვევის მექანიკა. ეს თეორია რღვევის სიბლანტის მაჩვენებლების უფრო სრული და თეორიულად დასაბუთებული განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

ლითონების რღვევაში პლასტიკური დეფორმაციის ასახვა შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ რაც ირვინმა, ბზარის წვეროსთან დაძაბულობის ველის ანალიზის საფუძველზე, გრიფითის ენერგეტიკული ბალანსის კონცეფცია "ძალოვან" კონცეფციად გარდაქმნა. ირვინმა შემოიტანა ბზარის სიგრძის ერთეულზე (1 სმ-ზე) წანაცვლების ძალის ცნება, რომელიც ბზარის წვეროსთან დაძაბულობის ველის ენერჯიის კარგვის ინტენსიურობის ეკვივალენტურია. ამ ძალას რღვევის მექანიკაში, გრიფითის საპატივცემულოდ (მისი გვარის პირველი ასოს მიხედვით),  $G$ -თი აღნიშნავენ. იგი შინაარსობრივად ბზარის გაერცვლების მუშაობის ანალოგიურია. გაანგარიშებებით  $G$ -სთვის მიღებულია შემდეგი თანაფარდობა:

$$G = \frac{\pi \sigma^2 l}{E}$$

სადაც:  $\sigma$  არის გარედან მოღებული ძაბვა;

$l$ —ბზარის სიგრძე;

$E$ —დრეკადობის ნორმალური მოდული.

ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ  $G$  კრიტიკულ მნიშვნელობას მაშინ მიაღწევს, როდესაც  $l\sigma^2$ -ის ნამრავლი კრიტიკული მნიშვნელობის ტოლი გახდება ( $\pi/E$  მუდმივი სიდი-

დეა). ამგვარად,  $G$  კრიტერიუმი ერთმანეთთან მოდებულ ძაბვასა და დეფექტის სიგრძეს აკავშირებს (მასალის საიმედოობა მათზეა დამოკიდებული).

ამ პარამეტრის ფიზიკური აზრი არის ის მუშაობა, რომელიც იხარჯება (სიგრძის ერთეულზე) ბზარის მიერ რღვევის ახალი ზედაპირის წარმოქმნაზე. ლითონებში:

$$G = 2(\gamma_S + \gamma_P) = 2\gamma_P,$$

სადაც:  $\gamma_S$  არის კუთრი ზედაპირული ენერგია;

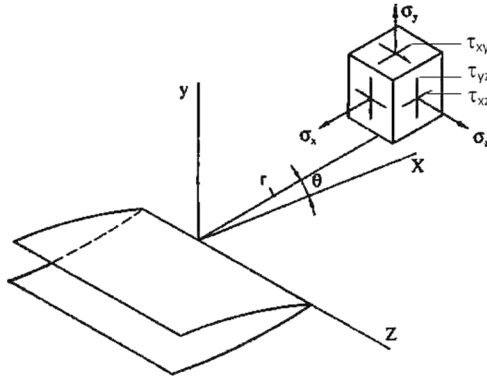
$\gamma_P$  – პლასტიკური დეფორმაციის კუთრი ენერგია.

დადგენილია, რომ ეს გამოსახულება არის იმ დრეკადი ენერგიის პირველი რიგის წარმოებული, რომელიც გამოიყოფა ბზარის გახსნისას მთელ სიგრძეზე.

$G$  კრიტერიუმის მათემატიკური ინტერპრეტაცია არის  $K$  პარამეტრი. რღვევის სიბლანტე ფასდება  $K$  პარამეტრით. მას ძაბვების ინტენსიურობის კოეფიციენტს (ინგლ. Stress Intensity factor) უწოდებენ და ახასიათებს ბზარის წვეროში გამჭიმავი ძაბვების ლოკალურ მატებას. იგი გამოიყენება რღვევის ხაზობრივ მექანიკაში, ბზარის წვეროსთან ძაბვებით წარმოქმნილი დაძაბულობის ველების აღსაწერად (სურ. 80).

აღსანიშნავია, რომ ამგვარი დრეკადი ამოცანის გადაწყვეტის მათემატიკური აპარატი დიდი ხნით ადრე იყო დამუშავებული ნ.ი. მუსხელიშვილისა და გ.ვ. კოლოსოვის მიერ. დაძაბული ველის აღწერისას ნაჩვენებები იქნა, რომ ბზარის წვეროში დაძაბულობის ველს  $1/\sqrt{r}$ -დან სახის სინგულარობა აქვს, სადაც  $r$  არის მანძილი ბზარის წვეროდან იმ წერტილამდე, რომელშიც ძაბვა განისაზღვრება. ე.ი., სხვა-

გვარად,  $K$  არის დაძაბულობის სინგულარობის ზომა ბზარის მიდამოში.



სურ. 80. ბზარის ფრონტისწინა დაძაბულობის ველის მდგენელუბის გამოსათვლელი აღნიშვნების სისტემა

$K$ -ს განსაზღვრის აუცილებლობა გამოიწვია ბზარებიან სხეულში ძაბვების შესახებ ამოცანის განხილვამ.  $K$ -ს განზომილება SI სისტემაში არის პა<sup>1/2</sup>.  $G$ -სთან შედარებით, მისი განსაზღვრა ექსპერიმენტულად და სიმტკიცეზე გაანგარიშებებში გამოყენება, უფრო მოსახერხებელია.

$$G = \frac{K^2}{E}$$

ა6

$$K = \sqrt{GE} = \sigma\sqrt{\pi l}.$$

ეს პარამეტრი ახასიათებს ბზარის წვეროსთან გამჭიმავი ძაბვის მატებას და რიცხობრივად იმ ძაბვის ტოლია, რომელიც ბზარის წვეროდან მისი გავრცელების მიმართულებით,  $\pi/2$  მმ-ის მანძილზე მოქმედებს.

თუ ბზარებიან ორ სხეულს ერთნაირი მნიშვნელობის  $K$  აქვს, მაშინ ბზარების არეში მათი დაძაბულობის ველებიც ერთნაირი იქნება. ირვინმა ივარაუდა, რომ ბზარების გავრცელების დასაწყისი შეიძლება ფორმულირდეს როგორც ბზარების კრიტიკული მნიშვნელობის მიღწევის პირობები. ამით მან მყიფე რღვევის ძალოვანი კრიტერიუმის ფორმულირება მოახდინა. ახალი კონცეფციის მიხედვით: მასალაში არასტაბილური რღვევა იწყება მაშინ, როდესაც ბზარის წვეროსთან ძაბვის კრიტიკული ინტენსიურობა მიიღწევა (იგი დრეკადობის ხაზობრივი თეორიით გამოითვლება).

ბზარის წვეროსთან დაძაბულობის ველის კომპონენტები ვესტერგარდის განტოლებებით გამოითვლება:

$$\sigma_x = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right);$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right);$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2},$$

სადაც:  $r$  არის მანძილი ბზარის წვეროდან იმ წერტილამდე, რომელშიც ძაბვა განისაზღვრება;

$\theta$ —კუთხე, ბზარის გავრცელების სიბრტყეში მდებარე  $x$  დერძსა და  $\vec{r}$  რადიუს-ვექტორს შორის.

განტოლებები გვიჩვენებს, რომ მოცემული დატვირთვისას  $K$  პარამეტრის ერთნაირი მნიშვნელობები იძლევა ერთნაირ დაძაბულ ველს. ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული  $r$ -ის და  $\theta$ -ის კოორდინატებზე იგი წარმოადგენს მხოლოდ, მოდებული ძაბვისა და ბზარის გეომეტრიის ფუნქციას. ამდენად,  $K$  კოეფიციენტი სრულად განსაზღვრავს ველის დაძაბუ-

ლებას ბზარის წვეროსთან. მისი განზომილებაა ნ/მმ<sup>3/2</sup>. ნიმუშზე დატვირთვის პირობების აღსანიშნავად  $K$  –ს ინდექსები მიეწერება მარჯვნივ ქვევით ( $K_I, K_{II}, K_{III}$ ).

დაძაბული მდგომარეობების შესაბამისად, ირვინის მიხედვით,  $K$ -სა და  $G$ -ს შორის შემდეგი კავშირი არსებობს:

ა) ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის

$$K^2 = EG,$$

ბ) ბრტყელი დეფორმირებული მდგომარეობისათვის

$$K^2 = \frac{EG}{1-\nu^2},$$

სადაც  $\nu$  არის პუასონის კოეფიციენტი.

$K$ -ს სიდიდე გაანგარიშებებში მარტივი გამოსაყენებელია. თუ ცნობილი იქნება დატვირთული სხეულის ზომები, ბზარის სიგრძე, ფორმა და მოდებული ძაბვა, მისი განსაზღვრა დრეკადობის თეორიით ადვილია. მიღებული შედეგები საინჟინრო გაანგარიშებებში რღვევის სიბლანტის რაოდენობრივ საზომად გამოიყენება. მისი საშუალებით იმ ძაბვების სიდიდეების გამოთვლა არის შესაძლებელი, რომლის დროსაც, ბზარის არასტაბილური გავრცელების შედეგად, კატასტროფული რღვევა ხდება.

მეიფე მასალებისათვის რღვევის სიბლანტის დასახასიათებლად გამოყენებულ სხვადასხვა მაჩვენებლებს შორის თეორიულად მკაფიო კავშირია დადგენილი, ხოლო დრეკად-პლასტიკური და პლასტიკური მასალებისათვის ასეთი გამაერთიანებელი თეორია ჯერ არ არსებობს. ამიტომ, რღვევის სიბლანტე განიხილება როგორც თვისებათა ერთ-

თობლიობა და არა ერთი თვისება. რღვევის სიბლანტის ყველა მაჩვენებლისათვის საერთო ის არის, რომ ისინი აფასებენ მუშაობას, რომელიც მასალის რღვევაზე დაიხარჯა.

**პლასტიკური ზონა ბზარის წვეროსთან.** ბზარის გავრცელების დრეკადი ამოცანის განხილვისას ნაჩვენები იყო რომ ბზარის წვეროს მიდამოში ძაბვები სინგულარულია. პრაქტიკაში გამოყენებულ მასალებს, კერძოდ, ლითონებს აქვთ დენადობის ზღვარი. ამ ზღვრის ზემოთ ძაბვები იწვევენ მასალის დეფორმაციას. ე.ი., ბზარის წვეროს მიდამოში მასალები დეფორმირდებიან და, აქედან გამომდინარე, ძაბვები არ შეიძლება სინგულარული იყოს. ამ არეს, ბზარის წვეროსთან, ბზარის პლასტიკურ ზონას უწოდებენ. ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის ბზარის პლასტიკური ზონის სიდიდე უხეში შეფასებით განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij} ,$$

სადაც

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi l}.$$

ეს დამოკიდებულება არის დრეკადი ამოცანის გადაწყვეტა და იგი ბზარის წვეროში ძაბვების უსასრულობაში გადასვლას არ კრძალავს. სინამდვილეში ეს არ მოხდება, რადგან ბზარის წვეროსთან აღძრული პლასტიკური დეფორმაციები ზღუდავენ ძაბვებს. ბზარის წვეროსთან პლასტიკურობის ზონის სიდიდის შესაფასებლად საჭიროა განისაზღვროს ბზარის წვეროდან ის  $r_p$  მანძილი, რომელზეც დრეკადი  $\sigma_e$  ძაბვა დენადობის  $\sigma_s$  ზღვარს აღემატება. ვეგარდის განტოლებაში  $\sigma_e = \sigma_s$  ჩასმით  $\theta = 0$  კუთხისათვის გვექნება:

$$\sigma_e = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r_P}} = \sigma_s,$$

აბ

$$r_P = \frac{K_I^2}{2\pi\sigma_s} = \frac{\sigma^2 l}{2\sigma_s}.$$

სინამდვილეში ბზარის მიდამოში პლასტიკურობის ზონა რამდენადმე მეტია. ირვინმა აჩვენა, რომ პლასტიკურობის არსებობისას ბზარის ქცევა მის ფიზიკურ სიგრძეზე მეტი სიგრძის ბზარის ქცევას შეესაბამება. ბზარის წვეროს მიდამოში, დრეკად შემთხვევასთან შედარებით, პლასტიკური დეფორმაციების შედეგად, გადაადგილება მეტია, ხოლო სიხისტე ნაკლები. სხვაგვარად, ფირფიტის ქცევა შეესაბამება ბზარიანი ფირფიტის ქცევას. ასეთ შემთხვევაში ბზარის ეფექტური სიგრძე შეადგენს:

$$E_P = l + \delta,$$

სადაც:  $l$  არის ბზარის ფიზიკური ზომა;

$\delta$ —შესწორება.

$\delta$ -ს გამოსახვა  $\delta = r_P$ -ს სახითაა მიღებული, ე.ი., პლასტიკურობის ზონის ზომა ორჯერ აღემატება  $r_P$ -ის პირველად შეფასებას. ძაბვების ინტენსიურობის კოეფიციენტითა და მასალის თვისებებით სრულად კონტროლდება პლასტიკური ზონის სიდიდე და მასში პლასტიკური დეფორმაციების ინტენსიურობა. ძაბვების ინტენსიურობის გამოთვლისას საჭიროა ბზარის ზომა ხელოვნურად (ფიქტიურად) გაიზარდოს პლასტიკური ზონის სიდიდის ნახევრით.

ირვინის შემოტანილი შესწორება ავართოებს ხაზობრივი რღვევის მექანიკის სამართლიანობის არეს (მრღვევი ძაბვების მიხედვით არე მათი მატების, ხოლო ბზარების კრიტიკული

სივრცის მიხედვით მისი შემცირების მიმართულებით). ბრტყელი დეფორმაციისას პლასტიკური შესწორებების შეტანა (მათი სიმცირის გამო) არ ხდება. პლასტიკურობის ზონის ფორმაზე უფრო ზუსტი წარმოდგენის მიღება შესაძლებელია როდესაც დენადობის პირობა განიხილება ნულისაგან განსხვავებული  $\theta$  კუთხეებისათვის (ჩვენ აქ მათ არ განვიხილავთ).

***J* ინტეგრალი.** რღვევის მექანიკაში დადგენილია, რომ პლასტიკურობის ზონა ბზარის წვეროსთან (თუ, სიმცირის გამო, უგულვებელყოფილი არ არის) ენერჯის გამოყოფის ინტენსიურობაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს. *G*-ს სიდიდეზე პლასტიკური დეფორმაციის გავლენის მნიშვნელობის დასადგენად, საჭიროა ბზარის წვეროსთან წარმოქმნილი დაძაბულობის ველის დრეკად-პლასტიკური ამოცანის ამოხსნა. გარდა ამისა, არსებობს ირიბი მეთოდიც, რომელიც *J* ინტეგრალით განისაზღვრება (განვიხილავთ *J* ინტეგრალის მხოლოდ აღწერილობას).

*J* ინტეგრალის ძირითადი დამახასიათებელი თავისებურებაა დაძაბულ მყარ სხეულში გარკვეული ჩაკეტილი არის ფორმისა და ზომისაგან მისი სიდიდის დამოუკიდებლობა. ეს ზონა შეიძლება იყოს პლასტიკურ ზონაში, გადაკვეთოს იგი ან იყოს მისი საზღვრების გარეთ. ყველა შემთხვევისათვის *J* ინტეგრალის სიდიდე ერთი და იგივეა. დრეკადი შემთხვევისათვის *J* ინტეგრალის ამოხსნით დამტკიცებულია, რომ

$$J = G,$$

ე.ი., დრეკადი შემთხვევისათვის *J* ინტეგრალი ენერჯის გამოყოფის ინტენსიურობის ეკვივალენტურია. ნაჩვენებია, რომ

$$J = - \frac{\partial P}{\partial t},$$

სადაც  $P$  არის პოტენციალური ენერგია.

დრეკად შემთხვევაში უკანასკნელი განტოლებები ეკვივალენტურია. ანუ  $J$  ინტეგრალი არის ბზარის გავრცელების შედეგად ენერგიის გამოყოფის განზოგადებული ფუნქცია. ეს ფუნქცია სამართლიანია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ბზარის წვეროს სიახლოვეს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაცია ხდება.  $J$  ინტეგრალის ინტეგრირების გზაზე დამოუკიდებლობა იძლევა შესაძლებლობას შედარებით მარტივად განისაზღვროს ენერგიების გამოყოფა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ბზარის წვეროსთან პლასტიკურობის დიდი ზონაა. სავარაუდოა, რომ არსებობს  $J$  ინტეგრალის კრიტიკული  $J_{IC}$ -ს მნიშვნელობაც, რომლის მიღწევისას ბზარი ზრდას იწყებს. ასეთი მდგომარეობის შექმნა შესაძლებელია დრეკადი შემთხვევებისათვისაც. გამოდის, რომ

$$J_{IC} = G_{IC}.$$

უკანასკნელი ტოლობა მიუთითებს, რომ ბზარის ზრდის პროცესი, რომელიც დიდ პლასტიკურ დეფორმაციებთანაა დაკავშირებული, შეიძლება განისაზღვროს  $J_{IC}$ -თი, თუ გვეცოდინება  $G_{IC}$ -ს მნიშვნელობა ისეთი შემთხვევისათვის, როდესაც უგულვებელყოფილია პლასტიკური დეფორმაცია და პირიქით.

$J$  ინტეგრალის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული პლასტიკური დეფორმაციების შემოსაზღვრულობა. ეს საშუალებას იძლევა  $J_{IC}$

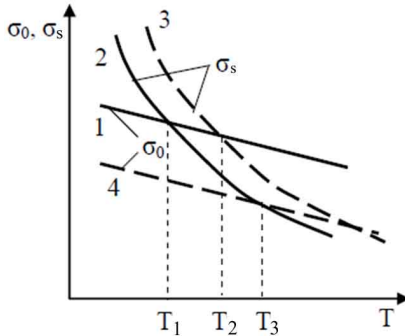
(შესაბამისად  $G_{IC}$ ) განისაზღვროს მცირე ზომის ნიმუშებზე (ანუ ბრტყელი დეფორმაციებისას). ბზარის ნელი ზრდისას მის წვეროსთან მასალის განტვირთვა ხდება. უკანასკნელ დრომდე  $J$  ინტეგრალის ინტეგრირების გზაზე დამოუკიდებლობა პლასტიკური დეფორმაციის თეორიით მტკიცდებოდა, რომელიც მასალის განტვირთვას არ ითვალისწინებს. აღსანიშნავია, რომ რღვევის კრიტერიუმი  $J$  ინტეგრალზე დაფუძნებული მეთოდით მხოლოდ ბზარის ჩასახვისას განისაზღვრება და ბზარის სტაბილური ზრდისათვის მისი გამოყენების მეთოდით არ არსებობს.

### 6.3 რღვევის სიბლანტი

რღვევის სიბლანტე განსაზღვრავს მასალის ბზარმდებობას ანუ გარკვეული ზომის ბზარებიანი მასალის უნარს დაურღვევლად იმუშაოს კონსტრუქციაში. ნებისმიერი ლითონური მასალისათვის მყოფე რღვევა შეინიშნება გამოცდის ან ექსპლუატაციის განსაზღვრულ პირობებში. მყოფე რღვევისადმი მიდრეკილება ძლიერად დამოკიდებული მასალის ექსპლუატაციის ტემპერატურაზე. ნაჩვენები იყო ტექნიკური მასალების რღვევის ბლანტ-მყოფე გადასვლის ტემპერატურული ინტერვალი და მისი შესაბამისი ბლანტ-მყოფე გადასვლის შუა ტემპერატურა. ბლანტი რღვევიდან მყოფე რღვევაზე გადასვლის ტემპერატურული ფაქტორის გავლენის შესასწავლად განვიხილოთ ამ გადასვლის სქემა. იგი მოწყვეტის წინააღობასა და დენადობის ზღვრის ტემპერატურული დამოკიდებულების სხვადასხვაობას ეფუძნება. სურ. 81 შესაბამისად, (მრუდი 1), მოწყვეტის წინააღობა  $\sigma_0$ , რომელიც მყოფე რღვევის წინააღობას ახასიათებს, მცირედაა დამოკიდებული ტემპერატურის ზრდაზე.

ამის საპირისპიროდ პლასტიკური დეფორმაციის დასაწყებად აუცილებელი ძაბვა, ანუ დენადობის ზღვარი  $\sigma_s$ , ძლიერ მცირდება ტემპერატურის მატებასთან ერთად (მრუდი 2). 1 და 2 მრუდების

გადაკვეთის ტემპერატურა შეესაბამება ბლანტმიოფე გადასვლის ანუ სიმყიფის ზღურბლის  $T_1$  ტემპერატურას. ამ ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურებზე  $\sigma_s < \sigma_0$  დატვირთვისას ჯერ დე-



სურ. 81. ბლანტ-მიოფე გადასვლის სქემა

ნადობის ზღვარი მიიღწევა და რღვევას წინუსწრებს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაცია.  $T_1$  ტემპერატურაზე ნაკლებ ტემპერატურებზე  $\sigma_s > \sigma_0$ , ე.ი. დატვირთვისას, ჯერ მიიღწევა მოწყვეტაზე წინაღობის სიდიდე და ხდება მყიფე რღვევა. ნაკეთობის (განსაკუთრებით ჩრდილოეთ რაიონებში) ექსპლუატაციისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს ტემპერატურის შემცირებისას გამყიფება.

დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდისას დენადობის ზღვარი მატულობს (მრუდი 3), ხოლო მოწყვეტაზე წინაღობა, პრაქტიკულად, უცვლელი რჩება (მრუდი 1). 1 და 3 მრუდების გადაკვეთა უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ხდება ( $T_2 > T_1$ ). ე.ი. დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდისას მყიფე რღვევის ტემპერატურული არე ფართოვდება და, მაგალითად, ჩვეულებრივ პირობებში, პლასტიკური მასალა ოთახის ტემპერატურაზე მყიფე ხდება.

მოწყვეტის წინაღობის შემცირების ნებისმიერი ფაქტორი ბლანტ-მიოფე გადასვლის ტემპერატურას ზრდის. 2 და 4 მრუდები იკვე-

თება  $T_3$  ტემპერატურაზე ( $T_3 > T_1$ ). ასეთი პირობა შეიძლება შექმნას მაგ., მარცვალთშორის კავშირის შესუსტების გამოშვები მინარევი ატომების მარცვლის საზღვრებზე სეგრეგაციამ.

რღვევის სახეზე უდიდეს გავლენას დაძაბული მდგომარეობის სქემა ახდენს. პლასტიკურობის გამოვლენას ხელს უწყობს მკუმშავი ძაბვები. ისინი მასალაში არსებული მიკრობზარების გაშლას ეწინააღმდეგებიან. ბლანტი რღვევისას ყველაზე არახელსაყრელი დატვირთვის ყველაზე "ხისტი" სქემა-სამღერძა (მოცულობითი) გაჭიმვაა. ის აღიძვრება მახვილი ჩანაჭრის წვეროს სიახლოვეს, სადაც ძაბვები კონცენტრირდება. ამის გამო, ზედაპირული ჩანაჭრები, ამონაჩარხები და ნაკაწრები ხელს უწყობენ მყიფე რღვევას. პლასტიკური დეფორმაციისათვის ხელსაყრელია ყველაზე "რბილი" სქემა-სამღერძა კუმშვა. ყოველმხრივი თანაბარი კუმშვისას შესაძლებელია მხოლოდ დრეკადი დეფორმაცია, რღვევა კი საერთოდ არ ხდება.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საკმაოდ მაღალ (ოთახის და უფრო მაღალ) ტემპერატურებზე მიმდინარე მყიფე რღვევა. ლითონებსა და შენადნობებს, რომელთა ბლანტ-მყიფე გადასვლის ტემპერატურა აღემატება ოთახის ტემპერატურას, ცივმეტყხს უწოდებენ.

გრიფითის მიხედვით, ძაბვის სიდიდე, რომლის დროსაც ვრცელდება ბზარი, როგორც მყიფე ბზარი, არის დრეკადობის მოდული  $E$  -ს, ბზარის კედლების ზედაპირული  $\gamma_s$  ენერჯიის, პლასტიკური დეფორმაციის  $\gamma_p$  მუშაობისა და ბზარის  $l$  სიგრძის ფუნქცია. დრეკადობის მოდული მასალის მუდმივაა. მისი ცვლილება შესაძლებელია მხოლოდ მნიშვნელოვანი ლევირებით. ასევე ძნელად რეგულირდება  $\gamma_s$  ზედაპირული ენერჯიაც. ფაქტორები (ძირითადად ლევირება), რომლებიც ზრდიან  $\gamma_s$ -ის მნიშვნელობას, ხშირად ამწელებენ პლასტიკურ დეფორმაციას და ამცირებენ  $\gamma_p$ -ს. ამრიგად, მრღვევ ძაბვებზე, ჩვეულებრივ, დარჩენილი ორი ( $\gamma_p$  და  $l$ ) პარამეტრით ზემოქმედებენ.

მეიფე რღვევის ძირითადი საშიშროება იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ვრცელდება შედარებით მცირე ძაბვებისას. გრიფითის კრიტიკუმი და მეიფე მდგომარეობიდან პლასტიკურში გადასვლის ტემპერატურის განმსაზღვრელი ფაქტორების საფუძველზე, ზოგადი სახით, ფორმულირებულია ცივმეტეხობასთან ბრძოლის პრინციპული მიმართულებები ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის. ისინი შეიძლება გამოვლინდეს: ქიმიური შედგენილობის ცვლილებით (მინარეგებისაგან გაწმენდა, ლევირება), დნობის, კრისტალიზაციის, წნევით დამუშავების, თერმული დამუშავების, შეცხობის და სტრუქტურაზე ზემოქმედების სხვა რეჟიმებით.

ირვინმა კვაზიმეიფე რღვევის მექანიკაში ძაბვების ინტენსიურობის კრიტიკულ კოეფიციენტ  $K_c$ -ს ცნება შემოიტანა. მან დაადგინა, რომ ბზარი არასტაბილურ (თვითნებურ) ზრდას იწყებს მას შემდეგ, რაც რღვევის დროს განთავისუფლებული დრეკადი კუთრი ენერგია მიაღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას. რღვევის მექანიკის პრინციპები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ის კრიტიკული ძაბვა, რომლის დროსაც შესაძლებელი იქნება ბზარის ზრდა. იგი გამოისახება ფორმულით:

$$K_c = Y \sigma_c \sqrt{\pi l},$$

სადაც:  $Y$  არის უგანზომილებო სიდიდე. იგი დამოკიდებულია ბზარისა და ნიმუშის ზომებზე, მათ გეომეტრიულ ფორმებსა და დატვირთვის მოდების სახეზე. უგანზომილებო  $Y$  მამრავლები რღვევის მექანიკაში "Y ტარირების" დასახელებითაა ცნობილი. ისინი დამოკიდებულია ბზარის სიგრძის სხეულის ზომასთან ფარდობაზე, მაგ.,  $b$  კვეთის სისქეზე, ე.ი.  $\lambda = l/b$  რიცხვზე. ეს დამოკიდებულება წარმოდგენილია ცხრილის სახით ან მიახლოებითი ფორმულით, ხშირად მრავალწევრითაც:

$$Y(\lambda) = c_0 + c_1 \lambda + c_2 \lambda + c_3 \lambda + \dots$$

თუ კონსტრუქტორი ცნობარიდან შესაბამის  $Y$  ტარირებას შეარჩევს, მაშინ მისი ამოცანა-კონსტრუქციის გაანგარიშება რღვევა-ზე-მარტივდება.

ბრტყელი ნიმუშისათვის, რომელშიც ბზარის სიგრძე ნიმუშის სიგანეზე გაცილებით ნაკლებია, ამ კოეფიციენტის სიდიდე ახლოსაა 1-თან. უსასრულო სიგანის ფირფიტაში ვიწრო ბზარის არსებობისას  $Y=1$ -ს. ხოლო, თუ ნახევრად-უსასრულო სიგანის ფირფიტას აქვს ნაპირიდან  $l$  სიგრძის ბზარი, მაშინ  $Y=1,1$ .

$K_C$  პარამეტრის განზომილება არის  $\text{პა}\cdot\text{მ}^{1/2}$ . შედარებით თხელი ნიმუშებისათვის  $K_C$ -ს მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნიმუშის სისქეზე. თუ ნიმუშის სისქე მრავალჯერ მეტია, ბზარის ზომაზე, მაშინ  $K_C$ -ს მნიშვნელობა სისქისგან დამოუკიდებელი ხდება. ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ბრტყელ დეფორმაციებს.

როდესაც თხელ ფირფიტაში ბზარის წვეროსთან ძაბვა  $\sigma_z$  არ არსებობს ( $\sigma_z = 0$ -ს), რეალიზდება ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობა (სურ. 80). ფირფიტის სისქის გაზრდისას ( $z$  -დერძის მიმართულებით), წარმოიქმნება გამჭიმავი მესამე ძაბვა:

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$

და შეიქმნება ისეთი ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობა, როდესაც  $z$  დერძის მიმართულებით წანაცვლება შეუძლებელი გახდება. კვლევებით დადგენილია, რომ რაც მეტია ნიმუშის სისქე, მით ნაკლებია პლასტიკური დეფორმაციის ზონა და უფრო სწრაფია მყიფე რღვევის პროცესი (მოწყვეტა). ე.ი., ნიმუშის ბზარის წვერო უფრო ახლოსაა ბრტყელ დაძაბულ მდგომარეობასთან, ვიდრე ბრტყელ დეფორმირებულ მდგომარეობასთან.

ბრტყელი დეფორმაცია ისეთი პროცესია, როდესაც დატვირთვისას არ ხდება ნიმუშის ფრონტალური და უკანა წახნაგების პერპენდიკულარული მიმართულებით დეფორმირება. ასეთი სქელი ნიმუშების ბრტყელი დეფორმირებისას  $K_C$ -ს ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი ეწოდება. იგი აღინიშნება  $K_{IC}$ -ით და მისი სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$K_{IC} = Y \sigma \sqrt{\pi l}.$$

ამრიგად,  $K_{IC}$  (ბრტყელი დეფორმირებული მდგომარეობისათვის), ისე როგორც  $K_C$  (ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის), არის საზომი ბზარის წარმოქმნის შემდეგ მასალის მყიფე რღვევისადმი წინააღმდეგობის. მათ უწოდებენ რღვევის სიბლანტეს. პრაქტიკულად,  $K_{IC}$  პარამეტრით განისაზღვრება დეფექტის სიგრძეზე დამოკიდებულებული მრღვევი ძაბვები და პირიქით: თუ გვეცოდინება მუშა ძაბვები, შეიძლება ვივარაუდოთ ბზარების სიგრძე დეტალში, რომლის მიღწევისას მოხდება რღვევა.

მყიფე მასალებში მზარდი ბზარის წინ პლასტიკური დეფორმაცია ვერ განვითარდება. ამიტომ მათ  $K_{IC}$ -ს დაბალი მაჩვენებლები აქვს და რღვევა კატასტროფის რეჟიმში ხდება. პლასტიკური მასალები კი  $K_{IC}$ -ს მაღალი მნიშვნელობებით ხასიათდებიან. მცირე სიდიდის რღვევის სიბლანტის მქონე მასალებისათვის დასაშვებია მცირე სიგრძის ბზარები. ცხადია, რომ უდიდესი რღვევის სიბლანტის მქონე მასალას უდიდესი ნარჩენი სიმტკიცე აქვს.

ბრტყელი დეფორმაციებისას რღვევის სიბლანტე მასალის ფუნდამენტურ თვისებებს მიეკუთვნება. ის დამოკიდებულია

ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა: მასალის მიკროსტრუქტურა, ტემპერატურა, დეფორმაციის სიჩქარე ( $K_{IC}$  გარემოს მხოლოდ მოცემულ ტემპერატურაზე ან მოცემული სიჩქარით დეფორმირების შესაბამისი თვისებებით განისაზღვრება).  $K_{IC}$ -ს სიდიდე მცირდება დეფორმაციის სიჩქარის მატებისას და ტემპერატურის დაწვევისას. დენადობის ზღვრის ზრდა  $K_{IC}$ -ს შემცირებას იწვევს, ხოლო მარცვლის დაწვერილმანებით, როგორც წესი,  $K_{IC}$  იზრდება.

#### 6.4 ბზარმდებობაზე გამოცლა

ამ გამოცდებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ნიმუშის ყველა ზომის, ჩანაჭრისა და ბზარის თანაფარდობას, რადგან მათ ბზარის წვეროსთან უნდა შექმნან ბრტყელი დეფორმაციის, ხოლო მისგან-მოშორებით დრეკად-დაძაბული მდგომარეობის პირობები. მხოლოდ ასეთ შემთხვევაშია შესაძლებელი რღვევის სიბლანტე  $K_{IC}$ -ს განსაზღვრა. ძირითადი მოთხოვნა წაყენება ნიმუშის სისქე  $B$ -ს, იგი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას:

$$B \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2,$$

სადაც  $\sigma_{0,2}$  არის მასალის დენადობის პირობითი ზღვარი გაჭიმვისას, გამოცდის იმავე პირობებში (ტემპერატურა, სიჩქარე).

პრაქტიკაში მრავალი ლითონური ნაკეთობისა და ნახევარფაბრიკატის (პირველ რიგში, ფურცლების) ზომები არ აკმაყოფილებს.  $K_{IC}$ -ს კორექტული განსაზღვრისა პირობებს (მაღალმტკიცე ფოლადებისათვისაც კი). ასეთ შემთხვევებში იზომება  $K_C$  რღვევის სიბლანტე ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის. ეს რღვევის სიბლანტის ნაკლებად მკაცრი მახასიათებელია, რადგან მისი სიდიდე ნიმუშის გეომეტრიაზე დამოკიდებული.

იმ პლასტიკური მასალებისათვის, რომელთა ბზარის გავრცელების წინააღობის განსასაზღვრად ვერ ხერხდება  $K_{IC}$  -სა  $K_C$ -ს შეფასება, იყენებენ ე.წ. ბზარის კრიტიკული გახსნის  $\delta_C$  –ს მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ბზარის არამდგრადი ზრდა იწყება.  $\delta_C$  განიხილება, როგორც რღვევის დეფორმაციული კრიტერიუმი. ისე, როგორც  $K_C$ , ისიც დამოკიდებულია ნიმუშის სისქეზე. ისეთი შემთხვევებისას, როდესაც რღვევას თან ახლავს პლასტიკური დეფორმაცია, რღვევის წინააღობის მახასიათებლად შემოტანილია  $J$  ინტეგრალი. იგი ახასიათებს ბზარის წვეროსთან ენერჯის ნაკადის ინტენსიურობას ბზარის ზრდის საწყისი მომენტისათვის.  $J$  ინტეგრალი ნაკლებადაა დამოკიდებული ნიმუშის ფორმაზე. იგი განისაზღვრება ღუნვაზე გამოცდისას ან ნიმუშის გარეცენტრული გაჭიმვისას ჩაწერილი "გაჭიმვა-გადაადგილების" დიაგრამით. (რღვევის მექანიკაში გამოყენებული ზოგიერთი სიმბოლო და განზომილება მცემულია მე-4 ცხრილში).

ცხრილი 4. რღვევის მექანიკაში გამოყენებული ზოგიერთი ტერმინი და მათი განზომილება.

სიმბოლო	დასახელება	განზომილება
$K$	ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი	$მპა\cdot m^{1/2}$
$K_C$	ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი	" – "
$K_I$	ინტენსიურობის კოეფიციენტი მოწყვეტით რღვევისას (დეფორმაციის I მოდელი)	" – "
$K_{IC}$	ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი (დეფორმაციის I მოდელი)	" – "
$K_{II}$	ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი (დეფორმაციის II მოდელი).	" – "
$K_{IIC}$	ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი (დეფორმაციის II მოდელი)	" – "

ცხრილი 4. გაგრძელება

$K_{III}$	ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი (დეფორმაციის III მოდელი)	” – ”
$K_{IIIc}$	კრიტიკული ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი (დეფორმაციის III მოდელი).	” – ”
$K^*$	ძაბვის ინტენსიურობის პირობითი კოეფიციენტი	” – ”
$K_c^*$	ძაბვის ინტენსიურობის პირობითი კრიტიკული კოეფიციენტი	” – ”
$K_Q$	ძაბვის ინტენსიურობის საანგარიშო კოეფიციენტი	” – ”
$K_{QT}$	ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი მოცემული სისქის ან დიამეტრის ნიმუშისათვის	” – ”
$\delta_c$	ბზარის წვეროს გახსნა მაქსიმალური $P_c$ დატვირთვისას	მ
$J$	ჯი ინტეგრალი	$10^6$ ჯ/მ <sup>2</sup>
$J_i$	ჯი ინტეგრალის საანგარიშო სიდიდე	” – ”
$J_c (J_{Ic})$	კრიტიკული ჯი ინტეგრალი	” – ”

ლითონის რღვევის პროცესებზე თანამედროვე ფიზიკური და მექანიკური წარმოდგენების მცოდნე მკითხველისათვის რთული არ იქნება მასალის ბზარმდგომის განსაზღვრის ნებისმიერი სტანდარტის მიხედვით. ექსპერიმენტულად რღვევის სიბლანტეზე ნიმუშები გამოიცდება როგორც ერთჯერადი, ხანმოკლე სტატიკური, ისე ხანგრძლივი სტატიკური და ციკლური დატვირთვებით, ღერძული და გარე-ღერძული გაჭიმვებით და სამწერტილიანი ღუნვით.

რღვევის სიბლანტის მახასიათებლების ანუ ბზარმდგომის განსაზღვრა წინასწარ (ციკლური დატვირთვით, კონს-

ტრუქციული კონცენტრატორის მიდამოში) რეგლამენტირებული სიგრძის დაღლილობის ბზარდატანილ ნიმუშებზე ხდება. ნიმუში გაიჭიმება და გამოცდისას ჩაიწერება დიაგრამა "დატვირთვა-წანაცვლება" ( $P - V$ ) ან "დატვირთვა-ჩაღუნვა" ( $P - f$ ). ამ დროს იზომება ძალა და ნიმუშის წახნაგზე ჩანაჭრის გახსნის ზომა. მაქსიმალური ძალა გაწვევებისას გამოიყენება ბზარმედგობის განსაზღვრისათვის.

გამოცდების შედეგების მიხედვით შემდეგი ძირითადი მახასიათებლები გამოითვლება:

1. ძალოვანი-ძაბვის ინტენსიურობის  $K$ -ს ან  $K_I$ -ის კრიტიკული კოეფიციენტები:  $K_{IC}, K_C^*, K_{QT}, K_C$ ;
2. დეფორმაციული-ბზარის გაშლა წვეროში  $\delta_C$ ;
3. ენერგეტიკული -  $J$  ინტეგრალის კრიტიკული მნიშვნელობა  $J_C$  ან  $J_{IC}$ .

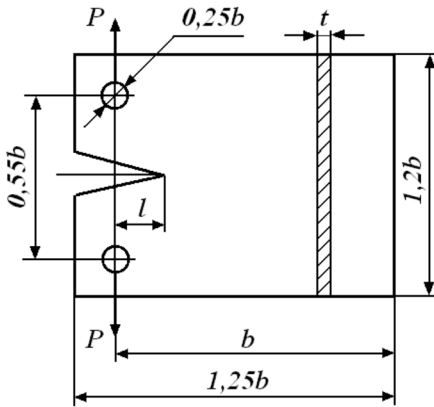
ლითონების ბზარმედგობა ფასდება ერთი ან რამდენიმე ძალოვანი, დეფორმაციული და ენერგეტიკული სიდიდით:  $K_{IC}, K_C^*, K_C, K_{QT}, \delta_C, J_C, (J_{IC})$ . თუ სრულდება ბზარმედგობის მახასიათებლების განსაზღვრის კორექტულობის პირობები, მაშინ ძირითადი არის  $K_{IC}$  სიდიდე. იმ შემთხვევებში, როდესაც  $K_{IC}, K_C, K_{QT}$  სიდიდეების კორექტულობის პირობები არ სრულდება, ლითონის ბზარმედგობის შეფასება ხდება  $K_C^*, \delta_C, J_C, (J_{IC})$  სიდიდეებით.

დამუშავებულია რეკომენდაციები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შეირჩეს გამოსაცდელი მასალის შესაბამისი ნიმუშების კონფიგურაცია და ზომები. მიღებულია აგრეთვე რღვევის სიბლანტის განსაზღვრის ანალიზური გამოსახულებები. იხ. ცხრილი №5.

ბზარმედგობის ექსპერიმენტული განსაზღვრისას გამოიყენება სტანდარტული ნიმუშები. მათ ნიმუშის დატვირთვისას

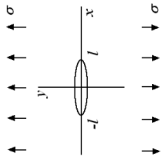
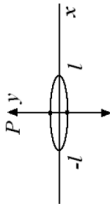
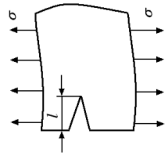
აღძრული ძაბვების ნაკადის პერპენდიკულარულად ორიენტირებული ბასრი ჩანაჭერი ან მკვეთრი ამონაჩარხი უნდა ჰქონდეთ. ნიმუში წინასწარ ციკლურად ისე იტვირთება, რომ კონსტრუქციული კონცენტრატორის მიდამოში განვითარდეს რეგლამენტირებული სივრცის ბზარი. ამ დროს ჩანაჭრის "ბუნებრივი" სიმახვილე ისეთსავე ადგილობრივ შეშფოთებას იწვევს, როგორსაც ბზარი კონსტრუქციაში.

მაგალითისათვის სტანდარტული ნიმუშების ნაირსახეობიდან, სურ. 82-ის შესაბამისად, განვიხილოთ ე.წ. კომპაქტური ნიმუშის გამოცდა ბზარმედევობაზე.

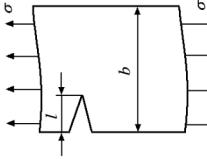
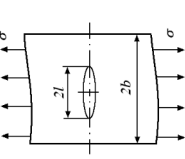
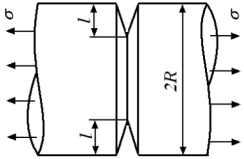


სურ. 82. "კომპაქტური ნიმუში"

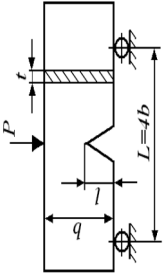
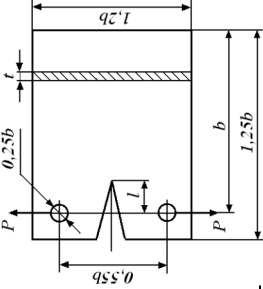
ცხრილი №5. დაბეჭდვის ინტენსიურობის კოეფიციენტის განსაზღვრის სქემები, დატვირთვის პირობები და დაბეჭდვის ინტენსიურობის საანგარიშო ფორმულები

სქემის №	ნიმუშის ჩანახტვის ფორმა და დატვირთვის სქემა	დატვირთვის პირობები	ფორმულა დაბეჭდვის ინტენსიურობის კოეფიციენტისათვის
1		უსასრულო ბზარიანი სიბრტყე, გაჭიმვა ბზარის პერპენდიკულარულად	$K = \sigma \sqrt{\pi l}$
2		უსასრულო ბზარიანი სიბრტყე, გაჭიმვა თავმოყრილი ძალებით	$K = \frac{P}{\sqrt{\pi l}}$
3		ნახევარსიბრტყე კიდურა განივი ბზარით, გაჭიმვა ბზარის პერპენდიკულარულად	$K = 1.12 \sigma \sqrt{\pi l} = 1.99 \sigma \sqrt{l}$

ცხრილი №5-ის გაგრძელება

4		<p>ზოდოვანა კიდურა განივი ბზართი, დერძული გაჭიმვა</p>	$K = \sigma \sqrt{lY(\lambda)},$ $\lambda = \frac{l}{b} \quad (\lambda < 0,7),$ $Y(\lambda) = 1,99 - 0,41\lambda + 18,70\lambda^2 - 38,48\lambda^3 + 53,85\lambda^4$
5		<p>ზოდოვანა ცენტრალური ბზართი, დერძული გაჭიმვა</p>	$K = \sigma \sqrt{\pi l Y(\lambda)},$ $\lambda = \frac{l}{b} \quad (\lambda < 0,7),$ $Y(\lambda) = 1 + 0,128\lambda - 0,288\lambda^2 + 1,525\lambda^3$
6		<p>ცილინდრი გარე წრიული ბზართი, დერძული გაჭიმვა</p>	$K = \sigma \sqrt{l Y(\lambda)},$ $\lambda = l/R,$ $\lambda = 0,03 \quad Y(\lambda) = 1,88;$ $\lambda = 0,05 \quad Y(\lambda) = 1,82;$ $\lambda = 0,1 \quad Y(\lambda) = 1,66;$ $\lambda = 0,2 \quad Y(\lambda) = 1,41;$ $\lambda = 0,4 \quad Y(\lambda) = 1,01$

ცხრილი №5-ის დასასრული

7		<p>ძელი კიდურა ბზართ, ლუნვა თავმოყრილი ძაღით</p>	$K = \frac{6P\sqrt{l}}{tb} Y(\lambda),$ $\lambda = \frac{l}{b} \quad (\lambda < 0,6),$ $Y(\lambda) = 1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,1\lambda^3 + 25,8\lambda^4$
8		<p>„კომპაქტური“ ნიმუში, გაჭიმვა თავმოყრილი ძაღებით</p>	$K = \frac{P\sqrt{l}}{tb} Y(\lambda),$ $\lambda = \frac{l}{b},$ $Y(\lambda) = 29,6 - 185\lambda + 655\lambda^2 - 1017\lambda^3 + 639\lambda^4$

წინასწარ (ციკლური დატვირთვით, კონსტრუქციული კონცენტრატორის მიდამოში) გაიჭიმება რეგლამენტირებული სიგრძის დადლილობის ბზარდატანილი ნიმუში და გამოცდისას ჩაიწერება დიაგრამა "დატვირთვა-წანაცვლება" ( $P - V$ ).

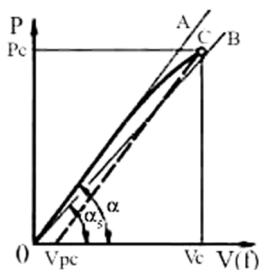
რღვევის სიბლანტეზე გამოცდა განსხვავდება სხვა მექანიკური გამოცდებიდან. ამ დროს წინასწარ არ არის ცნობილი შესრულება თუ არა  $K_{IC}$ -ს განსაზღვრის მართლზომიერებისათვის აუცილებელი მოთხოვნა, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს ნიმუშის ზომები, კერძოდ:

$$a \text{ და } B \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2,$$

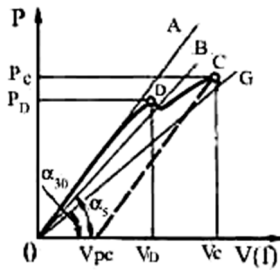
სადაც:  $a$  არის ბზარის სიგრძე, ჩანაჭრის სიღრმესთან ერთად;  
 $B$ —ნიმუშის სისქე.

ამის გამო ნიმუშის ზომების შერჩევის საწყის ეტაპზე, ხდება  $K_{IC}$ -ს საორიენტაციო შეფასება. არსებობს ცნობილი მონაცემების განმაზოგადებელი ცხრილები და დიაგრამები. მაგალითისათვის განვიხილოთ დიაგრამა, რომელიც  $\left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2$  და  $\frac{\sigma_{0,2}}{E}$  ფარდობებს ერთმანეთთან აკავშირებს. დენადობის ზღვარი გლუვი ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდით, მარტივად მიიღება, ხოლო დრეკადობის მოდული ხშირად ცნობილია. ამდენად, შესაძლებელი ხდება  $K_{IC}$ -ს საორიენტაციო შეფასება და, აუცილებელი მოთხოვნის შესაბამისად, ნიმუშის ზომების შერჩევა. ნიმუშის გამოცდის სიჩქარე აიღება ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნის გათვალისწინებით (იგი უმეტესად 2–8 მპა/მმ<sup>3/4</sup> წმ-ში ზღვრებშია).

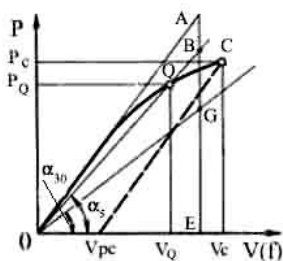
გამოცდის პროცესში თვითჩამწერით ავტომატურად რეგისტრირდება დიაგრამა დატვირთვა-გადაადგილება. თვითჩამწერი ხელსაწყოს საკოორდინატო ღერძების მასშტაბი ისე უნდა შეირჩეს, რომ დიაგრამის სწორხაზოვანი ნაწილის აბსცისასთან დახრის კუთხის ტანგენსი 0,7 – 1,5 ზღვრებს არ სცილდებოდეს. გოსტი 25.506–85 ასეთი დიაგრამების ოთხ ტიპს განიხილავს. (სურ. 83):



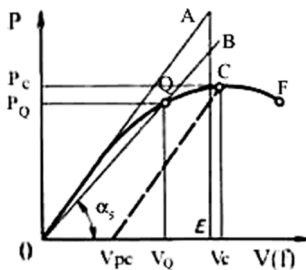
I



II



III



IV

სურ. 83. დატვირთვა-გადაადგილების ("P-v" ან "P - f") მახასიათებელი დიაგრამები

I ტიპი-მრუდის წვეროს (ნიმუშის რღვევის C წერტილი) დახრილი  $OB$  ხაზის მარცხნივ მდებარეობით ხასიათდება.  $OB$  ხაზი აბსცისასთან  $\alpha_5$  კუთხითაა დახრილი და ამ კუთხის ტანგენსი 5%-ით ნაკლებია დიაგრამის საწყის სწორხაზოვან მონაკვეთზე გავლებული მრუდის მხების აბსცისასთან  $a$  დახრის კუთხის ტანგენსის მნიშვნელობაზე.

II ტიპი ხასიათდება დატვირთვის საწყისი ლოკალური მაქსიმუმით, რომელიც დახრილი  $OB$  ხაზის მარცხნივ მდებარეობს. რღვევის C წერტილი მდებარეობს აბსცისასთან  $a_{30}$ -იანი კუთხით დახრილი  $OG$  ხაზის მარცხნივ. ამ კუთხის ტანგენსი 30%-ით ნაკლებია დიაგრამის საწყის სწორხაზოვან უბანზე მრუდის მხე-

ბად გაეღებული ხაზის აბსცისასთან დახრის კუთხის ( $\alpha$ -ს) ტანგენსის მნიშვნელობაზე.

III ტიპი ხასიათდება  $OG$  ხაზის მარცხნივ მდებარე ნიშუშის რღვევის შესაბამისი დატვირთვის მაქსიმუმით ( $C$  წერტილი).

IV ტიპის დიაგრამა შეესაბამება იმ შემთხვევას, როდესაც მაქსიმალური დატვირთვა  $C$  წერტილს შეესაბამება, ხოლო რღვევა  $C$  წერტილის მარჯვნივ  $F$  წერტილში ხდება.

კომპაქტური ნიშუშის გამოცდისას იზომება ძალა და ნიშუშის წახნაგზე ჩანაჭრის გახსნის ზომა. მაქსიმალური ძალა გაწვევებისას გამოიყენება ბზარმედგობის განსაზღვრისათვის. დატვირთვის შესაბამისი ძაბვების ინტენსიურობის კოეფიციენტი მოცემული სახის ნიშუშისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$K_I = \frac{P\sqrt{l}}{tb} (29,6 - 185\lambda + 655\lambda^2 - 1017\lambda^3 + 639\lambda^4).$$

გამოცდები ტარდება ოთახის ან დაბალ ტემპერატურებზე. ამ დროს ისაზღვრება მასალის ბზარმედგობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება (ხარისხობრივად იგი დარტყმითი სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ანალოგიურია)

## 6.5 რღვევის მიმდინარის პრინციპებზე დაფუძნებული დაპროექტება

ნაჩვენები იყო, რომ ერთდერძა გაჭიმვისას რღვევა ხდება ნიშუშის პლასტიკური დეფორმირების დასრულების შემდეგ, სიმტკიცის ზღვრის მიღწევისას. მაგრამ რეალურ პირობებში ლითონები ირღვევა დენადობის ზღვარზე ნაკლები ძაბვების დროსაც. ეს ნიშნავს, რომ სიმტკიცის ზღვარი

არ განსაზღვრავს ლითონების რეალურ სიმტკიცეს და მის აღსაწერად საჭიროა სხვა მახასიათებლები.

რღვევის პროცესების კვლევათა მიღწევებმა მეცნიერებს საშუალება მისცა გაეკეთებინათ შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1. რღვევა, ზოგადად, არაკრიტიკული მოვლენაა. იგი არის ბზარების ჩასახვის, მათი გაერთიანებისა და ზრდის ფიზიკური პროცესი, რომელიც მთავრდება ერთ-ერთი ასეთი ბზარის მდგრადობის დაკარგვით;
2. სუბმიკრო- და მიკრობზარები არის დეფექტური სტრუქტურის ელემენტი (დისლოკაციებისა და ვაკანსიების მსგავსად) და არა შედეგი მასალის მომზადების არასაკმარისად კარგი ტექნოლოგიისა.

მასალაში არსებული ჩანასახი დეფექტები, ციკლური დატვირთვის ან დატვირთვისა და გარემოს ერთობლივი ზემოქმედებისას, დროთა განმავლობაში იზრდება და ბზარი ჩამოყალიბდება. ბზარის ზომაზე დამოკიდებული მისგან გამოწვეული ძაბვის კონცენტრაცია. ბზარების არსებობა იწვევს კონსტრუქციის სიმტკიცის შემცირებას და იგი საწყის საპროექტო სიმტკიცეზე ნაკლები ხდება. ექსპლუატაციის პროცესში, გარკვეული დროის შემდეგ, სიმტკიცე იმდენად შემცირდება, რომ კონსტრუქცია ვეღარ შეძლებს შემთხვევითი მაღალი დატვირთვების ატანას და ამ მომენტიდან იგი ადვილად ირღვევა.

როცა კონსტრუქციაში ასეთი შემთხვევითი მაღალი დატვირთვები არ აღიძვრება, მაშინ ბზარი ზრდას განაგრძობს მანამ, სანამ სიმტკიცე არ გახდება იმდენად მცირე, რომ რღვევა მოხდეს ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში.

კონსტრუქტორი უშვებს მასალის დასკდომისა და, შესაბამისად, კონსტრუქციის რღვევის შესაძლებლობას. ცდილობს შექმნას ისეთი კონსტრუქცია, რომლის რღვევის ალბათობა, ექსპლუატაციის მთელი დროის განმავლობაში, დაბალი იქნება. რადგან კონსტრუქციას აქვს მხოლოდ შეზღუდული ხანგამძლეობა, მისი საიმედოობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ბზარის ზრდის სიჩქარისა და ნარჩენი სიმტკიცის შემცირების სიჩქარის წინასწარმეტყველება. ეს საკითხები არის რღვევის მექანიკის საგანი და იგი მოწოდებულია უპასუხოს შემდეგ კითხვებს:

1. როგორი დამოკიდებულებაა ბზარის სიდიდესა და სიმტკიცეს შორის?
2. რა ზომის ბზარია დასაშვები მოსალოდნელი საექსპლუატაციო დატვირთვებისას, ანუ როგორია ბზარის კრიტიკული ზომა;
3. რამდენ ხანს გრძელდება ბზარის ზრდა განსაზღვრული საწყისი ზომიდან კრიტიკულ ზომამდე?
4. რა ზომის ნიჟარაა დასაშვები კონსტრუქციის ექსპლუატაციის საწყის მომენტში?
5. რამდენად ხშირად უნდა შემოწმდეს კონსტრუქციაში ბზარების არსებობა?

პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ნაკეთობის ხანგამძლეობას განსაზღვრავს: საკონსტრუქციო სიმტკიცე, ცვეთამედეგობა და მასალის კოროზიული მედეგობა (ნაკეთობის ექსპლუატაციის შესაბამის პირობებში).

კონსტრუქციის ამა თუ იმ ელემენტის მოსალოდნელი რღვევის შესაძლებლობის შეფასებისას აუცილებელია სამი ფაქტორის გათვალისწინება. სახედობრ: რღვევის სიბლანტე  $K_c$ -ს ან რღვევის სიბლანტე ბრტყელი დეფორმაცი-

ისას  $K_{IC}$ -ს, მოდებული დატვირთვა  $\sigma$ -სა და ბზარის ზომა  $l$ -ის. იგულისხმება, რომ  $Y$  კოეფიციენტი ცნობილია. ნაკეთობის დაპროექტებისას უნდა შეფასდეს რომელი ფაქტორია შეზღუდული გამოყენების პირობებიდან გამომდინარე და რომელი უნდა განისაზღვროს დაპროექტებისას. მაგალითად, მასალის ( $K_C$ -ს და  $K_{IC}$ -ს მნიშვნელობების) შერჩევა, ხშირად, განისაზღვრება სიმკვრივისა (წონის შეზღუდვისა) და ნაკეთობის საექსპლუატაციო გარემოში მასალის კოროზიული მახასიათებლების მოთხოვნებით. ასეთ დროს მნიშვნელოვანია გათვალისწინებულ იქნეს პირობა-როდესაც ორი პარამეტრი იზღუდება, მესამეს მნიშვნელობა მკაცრად უნდა დაფიქსირდეს განტოლებებით:

$$K_C = Y \sigma_c \sqrt{\pi l} ;$$

$$K_{IC} = Y \sigma \sqrt{\pi l}.$$

მაგალითად, როცა  $K_{IC}$  და  $l$  განსაზღვრულია გამოყენების პირობებით, მაშინ საანგარიშო დასაშვები (კრიტიკული) ძაბვა  $\sigma_c$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_c = \frac{K_{IC}}{Y\sqrt{\pi l}}.$$

როცა მოცემულია ძაბვის დონე და ცნობილია რღვევის სიბლანტე ბრტყელი დეფორმაციისას, მაშინ ბზარის მაქსიმალური დასაშვები სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$l_C = \frac{1}{\pi \left(\frac{K_{IC}}{\sigma Y}\right)^2}.$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ლითონურ მასალებში შიგა და გარე ბზარების აღმოსაჩენი და გასაზომი დაურღვეველი კონტროლის მრავალი თანამედროვე მეთოდი არსებობს.

## თაზო VII

### საცდელი მანქანები

ლითონური მასალების მექანიკური თვისებების უფრო ობიექტური შეფასება, რომელსაც მექანიკურ საგამოცდო ლაბორატორიებში, ხელსაწყოებსა და მანქანებზე გამოცდების შედეგად მიღებული მახასიათებლების ანალიზი იძლევა, შეუძლებელია. გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე, გრესაზე, ჩაწნევაზე და ა.შ. გამოცდები მარტივი და სწრაფია. ასეთი გამოცდებით შესაძლებელია რეალურ საექსპლუატაციო დატვირთვებთან და ტექნოლოგიურ დამუშავებებთან მიახლოება. ფართოდაა გავრცელებული ისეთი გამოცდები, რომლებითაც განისაზღვრება: სიმტკიცე, პლასტიკურობა, დარტყმითი სიბლანტე, დაღლილობა, ცოცვადობა, ცვეთა, ხანგრძლივი სიმტკიცე. მაგრამ კონსტრუქციებისა და დეტალების რეალურ სიმტკიცეზე ყველაზე ობიექტურ წარმოდგენას ნატურული მექანიკური გამოცდები იძლევა. აღსანიშნავია, რომ ასეთი გამოცდები, ლაბორატორიული გამოცდებისაგან განსხვავებით, უფრო ხანგრძლივი, ძალიან რთული და ძვირად ღირებულია. დღეისათვის უფრო მომგებიანად ითვლება სხვადასხვა მეთოდით მასალის ლაბორატორიული გამოცდები.

ლითონური მასალების მექანიკური თვისებების მახასიათებლების საკვლევი თანამედროვე ლაბორატორიები აღჭურვილია სხვადასხვა სახის სპეციალური საცდელი მანქანებითა და წნეხებით. მიუხედავად მათი მრავალფეროვნებისა, ყველა მათგანისთვის აუცილებელია შემდეგი ძირითადი კვანძები:

- I. დატვირთვის მოდების მექანიზმი (ნიმუშის დეფორმირებისათვის);

II. ძალასაზომი მექანიზმი (ძაბვის რეგისტრაციისათვის);

III. დიაგრამის აპარატი (ძაბვა-დეფორმაციის მრუდის ჩასაწერად).

მექანიკური თვისებების მახასიათებლების განსასაზღვრი საცდელი მოწყობილობები და ხელსაწყოები კლასიფიცირდება მათი გამოყენების სფეროს, მუშაობის პრინციპისა და დანიშნულების მიხედვით. საცდელი მოწყობილობებისა და ხელსაწყოების ძირითადი ჯგუფებია:

1. მანქანები სტატიკური გამოცდებისათვის. გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, განივი და გრძივი ღუნვის, ერთდროულად გრესა-გაჭიმვის ან კუმშვა-გრესის მანქანები;
2. მანქანები დარტყმითი დატვირთვით გამოცდებისათვის. ურნალები: ვერტიკალური ტიპის ვარდნილი საცემით, ქანქარიანი, პნევმატური, როტაციული საგრესი მანქანები;
3. მანქანები განმეორებით-ცვლადი დატვირთვით გამოცდებისათვის. ნიმუშის ღუნვითა და ბრუნვით, ერთ სიბრტყეში ნიმუშის ღუნვით, ნიმუშის გაჭიმვა-კუმშვით, ნიმუშის გრესით, ერთდროული გაჭიმვითა და გრესით დაღლილობაზე საცდელი მანქანები;
4. მანქანები სპეციალური სახის გამოცდებისათვის. პლასტიკური დეფორმირებით ნაკეთობის ზედაპირული განმტკიცების საცდელი მანქანები; ფხვნილოვანი მასალებისა და ელბორისაგან დამზადებული ფირფიტების საცდელი მიკრომანქანები;
5. სისაღის განსასაზღვრი ხელსაწყოები. ბრინელის, როკველის, ვიკერსის მეთოდებით სისაღის გასაზომი ხელსაწყოები; დრეკადი უკუსხლეტის (შორის)

მეთოდით სისხლის გასაზომი გადასატანი ხელსაწყო; მიკროსისხლის საზომი ხელსაწყო;

6. ძალის საზომი ხელსაწყოები. ეტალონური დანადგარები; გადასატანი სანიმუშო დინამომეტრი; ტიპური ჰიდრაულიკური დინამომეტრები; მუშაზამბარიანი გაჭიმვის დინამომეტრები; ძალასაზომი მანქანები და სხვ.
7. საზომ-საკონტროლო საშუალებები. მექანიკური და ელექტრული ტენზომეტრები.

მასალების მექანიკური გამოცდებისათვის სხვადასხვაგვარი სპეციალური, დინამიკური და სტატიკური ტექნიკაა შექმნილი: გამჭიმავი მანქანები, რომლებზეც შესაძლებელია ჩატარდეს გამოცდები გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ძვრაზე და ღუნვაზე. ასეთ მანქანებს, ექსტრემალური პირობების შესაქმნელად, შეიძლება კრიოკამერა ან ღუმელი მიესადაგოს; ურნალები ქანქარიანი, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური, რომლებზეც შესაძლებელია დარტყმითი სიბლანტის, ელასტიკურობის და დადლილობით რღვევის შესწავლა; მანქანები სამშენებლო მასალების გამოსაცდელად, ასევე რეზონანსული მანქანები და სხვ.

ლაბორატორიულ კვლევებში იყენებენ სპეციალურ მანქანებს, რომლებსაც სტატიკური და დინამიკური დატვირთვებისას შეუძლიათ სტანდარტული ნიმუშების (გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ძვრაზე, დარტყმაზე და სხვ. გამოცდებისას) დეფორმირება და რღვევა. ლითონური მასალების საცდელი მანქანები უზრუნველყოფენ ნიმუშების დატვირთვის აუცილებელ მუდმივ სინქარეს (ან მუდმივ დეფორმაციას) და ადჭურვილი არიან ცდის მანქანებლების ასაღები, ხოლო აუცილებელ შემთხვევებში, გამოცდის დიაგრამის ჩამწერი მოწყობილობით.

საცდელი მანქანების დაპროექტებას და სერიულ წარმოებას წარმატებით ავითარებს აშშ, ინგლისი, გერმანია, იაპონია, ჩინეთი, შვედეთი, იტალია და სხვ. ამ ქვეყნებში საცდელ მანქანებს და მათ აღჭურვილობას ათეულობით ფირმა ამზადებს.

ლითონური მასალების მექანიკური პირობებიდან გამომდინარე, ბუნებრივია, რომ საცდელ ლაბორატორიებს საიმედოდ, მტკიცე და ხანმედეგი მანქანები ესაჭიროება. ამ სფეროში მსოფლიო აღიარება მოიპოვა კომპანია Zwick-ის პროდუქციამ. Zwick-ს აქვს საცდელი მანქანების დამზადებისა და რეალიზაციის მრავალწლიანი გამოცდილება. მასალების ფიზიკურ-მექანიკური გამოცდებისათვის ხელსაწყოების, მანქანებისა და სისტემების დამზადება Zwick-მა ჯერ კიდევ 1937 წელს დაიწყო. თანამედროვე სააქციო საზოგადოება ZwickRoell ჯგუფში გაერთიანებულია დიდი გამოცდილებისა და საერთაშორისო ავტორიტეტის მქონე ფირმები—Zwick, ToniTechnik, IndentecLtd და ZwickRoell Controllers Ltd. 2002 წლიდან ZwickRoell AG ჯგუფთან გაერთიანდა ფრანგული ფირმა AcmeLabo, რომელიც სამშენებლო მრეწველობისათვის ლაბორატორიულ ხელსაწყოებს ამზადებს. ZwickRoell ჯგუფი მომხმარებელს, ტრადიციულ საცდელ მანქანებთან ერთად, ახალ ჰიბრიდული ამძრავების მქონე მანქანებს აწვდის. ფირმა Zwick-ი მასალების, დეტალებისა და ფუნქციონალური გამოცდების ჩასატარებლად მის მიერ დამუშავებულ უნივერსალურ პროგრამულ უზრუნველყოფა testXpert-ს იყენებს.

კიდევ ერთი ლიდერი საცდელი მანქანების სივრცეში არის ამერიკული კომპანია Instron-ი. მაგრამ, როგორც პრაქტიკამ აჩვენა, არის შედარებით უფრო იაფი ტექნიკა, რომლის

საიმედოობაც ეჭვს არ იწვევს. მაგ., ისეთი მწარმოებლები, როგორიცაა: ესპანური Ibertest-ი, ინგლისური Imatek-ი და შვეიცარული Rumul-ი მსოფლიო ბაზარს აწოდებენ ლითონების, შენადნობების, საგზაო მასალებისა და სხვა საცდელ მანქანებს, რომლებსაც კომპანიების—Zwick-ისა და Instron-ის გვერდით ღირსეული ადგილი უჭირავს.

ცალკე უნდა აღინიშნოს ჩინური წარმოების იაფი საცდელი მანქანები. საერთაშორისო ბაზარზე მათი რაოდენობა და რეპუტაცია დიდი სისწრაფით იზრდება. მაგალითისათვის მოვიყვანო მხოლოდ 20 წლის ისტორიის მქონე Jinan East Group Testing Machine Co. Ltd-ს, რომელიც აპარატული და პროგრამული უზრუნველყოფით ამზადებს უნივერსალურ ჰიდრავლიკურ და ელექტრონულ საცდელ მანქანებს, საცდელ წნეხებს, ჰორიზონტალური გაჭიმვის მანქანებს, ასევე საცდელ მანქანებს მაღალტემპერატურულ ცოცვალობაზე, გრეხაზე, დაღლილობაზე, დარტყმით ღუნვაზე და სხვ.

თანამედროვე მექანიკა, მაღალი სიზუსტის ელექტრონიკა და მომხმარებელზე ორიენტირებული პროგრამული უზრუნველყოფაა წინამძღვარი თანამედროვე საცდელი მანქანებისა და სისტემების უნივერსალურობისა და მაღალი ხარისხის “გონივრულობისა”. ისინი კომპიუტერული სისტემებით აწარმოებენ თვისებათა მრავალი მახასიათებლის ავტომატურ რეგისტრირებას. გარდა ამისა, მათი უმრავლესობა აღჭურვილია მაღალი სიზუსტის საზომი ტექნიკით, რაც გამოცდის შედეგების კარგ განმეორებადობას უზრუნველყოფს. ნებისმიერ თანამედროვე საცდელ მოწყობილობას აქვს ავტომატური სისტემებით დაკომპლექტების შესაძლებლობა. ამგვარად, იქმნება ავტომატური კომპლექსი, ამადლებული მწარმოებლებურობითა და მუშა პერსონალის მინიმალური რაოდენობით.

საცდელი მანქანების დამამზადებელი სპეციალიზებული ფირმები მუდმივად აუმჯობესებენ პროდუქციის ხარისხს. ისინი ცდილობენ სასწრაფოდ მიაწოდონ მომხმარებელს საცდელი მანქანების (გაუმჯობესებული დატვირთვის მოწყობილობა, ჰდრაულიკური ან სხვა ტიპის ამძრავები, გაზომვისა და გამოცდის პროცესის მართვის ავტომატიზებული სისტემები და სხვ.) ახალი ტექნიკური გადაწყვეტილებები.

წინამდებარე წიგნში საცდელი მოწყობილობები წარმოდგენილი იქნება ზოგადად, კონსტრუქციული წვრილმანების გარეშე. მიზანი ერთია: წარმოვადგინოთ გამოყენებული მოწყობილობების ზოგიერთი გავრცელებული ტიპი და მოკლედ აღვწეროთ მისი განვითარების ტენდენციები. აღნიშნული საკითხი განხილული იქნება ამ დარგში ერთ-ერთი მოწინავე კომპანიის, INSTRON-ის, მაგალითზე. ლითონური მასალების მექანიკური გამოცდების მოწყობილობების მწარმოებელთა შორის იგი ერთ-ერთი აღიარებული ბრენდია. მის მიერ შესრულებული საკვანძო დამუშავებები, კერძოდ, მართვის სისტემა, უკუკავშირებით და გამოცდების სრული ციფრული პროგრამული უზრუნველყოფით კომპანიას საშუალებას აძლევს, მასალების გამოცდის სფეროში, გაუსწროს კონკურენტებს. INSTRON-ი თავისი დაარსების მომენტიდან—1946 წლიდან—ყველა ტიპის მასალის საცდელი მოწყობილობების წამყვანი მიმწოდებელია. კომპანიის მიერ ნაწარმოები მოწყობილობები მაღალი საიმედოობით წყვეტენ როგორც საკვლევაში, ისე ხარისხის კონტროლის ამოცანებს. 1957 წლამდე კომპანიის შტაბ-ბინა განთავსებული იყო აშშ-ის ქ. კანტონში. 1960 წელს შეიქმნა კომპანია INSTRON Limited—ი შტაბ-ბინით ინგლისში, ქ. ჰაი უაიკომბში. დღეისათვის კორპორაცია INSTRON-ში გაერთიანებულია სხვადასხვა ქვეყანაში განთავსებული საცდელი და საზომი მოწყობილობების აღი-

არებული, საუკეთესო საერთაშორისო რეპუტაციის მქონე ისეთი ლიდერი ბრენდები, როგორიცაა: SFL, Wilson Instruments-ი, Wolpert-ი, CARL-ი SCHEANCK AG (ახლა ეს ქვედანაყოფი იწოდება INSTRON STRUKTURAL TESTING. ქ. დარმშტადტი, გერმანია). Dynatup-მა და SATEC-მა საკუთარ უპირატესობებს ამ საწარმოებიდან გადმოღებული ტექნოლოგიები შეუთავსა და ფასდაუდებელი გამოცდილება შეიძინა ლითონური მასალების გამოცდის სფეროში. დღეისათვის გაერთიანებულმა კომპანიამ უმაღლეს წარმატებას მიაღწია საცდელი მანქანა-მოწყობილობების დამზადების საქმეში. კომპანია INSTRON-ი მომხმარებელს უზრუნველყოფს როგორც საბაზო საცდელი ხელსაწყოებით, ისე სრულიად ავტომატიზებული საცდელი სისტემებით. მისი პროდუქცია გამოირჩევა მაღალი სიზუსტით, ხანგრძლივი სასამსახურო პერიოდით, უბადლო მოქნილობითა და ექსპლუატაციის მოხერხებულობით. აქედან გამომდინარე, მისი პროდუქცია მომხმარებელთა მოთხოვნებს სრულიად აკმაყოფილებს და კომპანია უზადო ავტორიტეტიაც სარგებლობს.

ლითონპროდუქციის ბაზარზე არსებული კონკურენციის დასაძლევად მწარმოებლები და მიმწოდებლები ცდილობენ, წარმოების მოცულობის ზრდასთან ერთად, უმნიშვნელო დანახარჯებით მიაღწიონ პროდუქციის უმაღლეს ხარისხს. ლითონური მასალების გამოცდებთან დაკავშირებით, ლითონის მწარმოებლებს მრავალი პრობლემის გადალახვა უხდებათ. ლითონის მიწოდებასთან ერთად, მათ უნდა უზრუნველყონ პროდუქციის სიმტკიცისა და საექსპლუატაციო ხარისხის გაცხადებული მაჩვენებლები. ამასთან ერთად, უნდა დაიცვან მრავალი საერთაშორისო სტანდარტის მოთხოვნები. ამ პრობლემების გადაწყვეტას სრულიად უზრუნველყოფს მასალების გამოცდის სისტემა

INSTRON-ი. იგი ორიენტირებულია ხარისხის უმაღლეს სტანდარტებზე და საცდელ მოწყობილობებს ამუშავებს ISO 9001 სტანდარტებით მოთხოვნილი (ან უფრო მაღალი) მაჩვენებლების შესაბამისი გაზომვის ეტალონებითა და მეთოდებით. მოკლედ განვიხილოთ კომპანია INSTRON-ის ძირითადი პროდუქცია:

**ა) უნივერსალური საცდელი მანქანები სტატიკური გამოცდებისათვის.** ასეთი ტიპის მანქანების სისტემებში გამჭიმავი (მკუმშავი) დატვირთვის შესაქმნელად სხვადასხვაგვარი ტექნოლოგიები გამოიყენება. სტანდარტული ძაღვები შეიძლება განხორციელდეს ელექტრომექანიკური დანადგარებით, ხოლო დიდი ძაღვების განვითარებისათვის ჰიდრაულიკურ საცდელ სისტემებს იყენებენ.

კომპანია INSTRON-ი საცდელი მოწყობილობების ბაზარზე შემოსულია გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე და ძვრაზე გამოსაცდელი ელექტრომექანიკური და ჰიდრაულიკური უნივერსალური მანქანებით, რომლებიც გათვალისწინებულია სხვადასხვაგვარი ფორმისა და ზომის ლითონური ნაკეთობების გამოსაცდელად. კომპანიის ელექტრომექანიკური საცდელი მანქანები ყველაზე უფრო ფართოდ გამოიყენება. იგი მსოფლიოში აღიარებული პროდუქციაა. მათზე ხელმისაწვდომია მრავალგვარი (0,5 კნ-დან 600 კნ-მდე) დატვირთვები. ისინი უზრუნველყოფენ გამოცდის მაღალ სიჩქარეს, აქვთ დიდი სამუშაო ზონა, გამოირჩევიან მნიშვნელოვანი მუშა სვლით, ტრავერსისა და დამჭერების გადაადგილების ზუსტი გაზომვით.

დღემდე SATEC-ი რჩება ჰიდროამპრავის მქონე უნივერსალური საგამოცდო მანქანების (150 კნ-დან 3000 კნ-მდე) სა-

ფირმო დასახელებად. ამგვარი მანქანები, ჩვეულებრივ, ლითონპროდუქციის ნიმუშების, არმატურის, მილების, მათულის, ფოლადის სორტული ნაგლინის, სქელფურცლოვანი ფოლადისა და სამაგრი ნაკეთობების გამოსაცდელად გამოიყენება

ექსპლუატაციისას საცდელი მანქანები ხასიათდება სიმარტივით და საიმედოობით. გამოცდების მართვის პროგრამული უზრუნველყოფის პაკეტი ზუსტი კონტროლის სისტემას ინარჩუნებს, რაც ნიმუშის მუდმივი სიჩქარით გამოცდის გარანტიაა. გარდა ამისა, პროგრამაში ჩართული რთული ალგორითმები, ძაბვა-დეფორმაციის მრუდების დახმარებით, გამოცდების შედეგების განსაზღვრის შესაძლებლობას იძლევა.

**ბ) დარტყმითი დატვირთვით გამოცდის სისტემები.** დარტყმაზე საცდელი Dynatup-ის სერიის მანქანები გამოიყენება გამოსაცდელი ნიმუშების ან დეტალების მიერ ენერჯის შთანთქმის მახასიათებლების განსასაზღვრად. არსებობს ფართო ნომენკლატურა იმ მოდელებისა, რომლებიც შექმნილია ენერჯის, დატვირთვისა და სიჩქარის კონკრეტული მოთხოვნის შესაბამისად. ამ სისტემებთან პროგრამა Impulse-ს გამოიყენება მართვის შემსუბუქების, მონაცემების შეკრების, გამოცდის შედეგების გრაფიკული ასახვის, მახასიათებლების გაანგარიშების, ანგარიშების შედგენისა და მონაცემთა ბაზის მართვის საშუალებას იძლევა.

დარტყმითი დატვირთვის გამოცდის სისტემებთან ერთად, კომპანია მომხმარებელს აწვდის სპეციალურ აღჭურვილობას, რომელთა დანიშნულებაა საბაზო (შარპისა და იზოდის მეთოდებით), აგრეთვე სპეციალური ASTM, ISO, EN, DIN, GOCT-ისა და სხვა სამრეწველო სტანდარტების შესაბამისი

გამოცდების ჩატარების უზრუნველყოფა. დეფორმაციის მაღალი ინტენსიურობის საცდელ სისტემებთან INSTRON VHS-ი იყენებს სერვოჰიდრავლიკურ ტექნოლოგიას კონტროლერ Fast Track 8000-თან შესამებით, რაც სხვადასხვაგვარი ლითონის გამოცდის საშუალებას იძლევა. სერია VHS-ი უზრუნველყოფს დარტყმით დატვირთვებს 100 კნ-მდე, 25 მ/წმ-მდე სიჩქარეებისას.

**გ) მანქანები განმეორებით-ცვლადი დატვირთვით გამოცდებისათვის.** მასალებისა და დეტალების ციკლური დატვირთვებით გამოცდისას, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის მოდელირებისათვის კომპანია INSTRON-ი, ჩვეულებრივ, სერვოჰიდრავლიკურ საგამოცდო სისტემებს იყენებს. კომპანიის დადლილობის საგამოცდო სისტემები შეიცავს მანქანებს, რომლებშიც დატვირთვის მოდება 25 კნ-დან 100 მნ-მდე ხდება. ასეთ მანქანებზე შესაძლებელია სტანდარტული დადლილობითი გამოცდების ჩატარება, მაგ., მრავალციკლური დადლილობა, დადლილობა მაღალი დეფორმაციებისას, რღვევის მექანიკა, აგრეთვე, გაფართოებული მოთხოვნების შემთხვევაში, თერმომექანიკური დადლილობა, მრავალდერბა დადლილობა და გამოცდები დეფორმაციის მაღალი ინტენსიურობისას. მანქანებს დიდ მოქნილობას ანიჭებს ერთდერბა და მრავალდერბა გამოცდებისთვის განკუთვნილი სრული ციფრული სერვოჰიდრავლიკური კონტროლერები INSTRON 8800.

**დ) მანქანები ცოცვადობაზე და ხანგრძლივ სიმტკიცეზე გამოცდებისათვის.** ხშირად აუცილებელია განისაზღვროს ლითონური მასალის ქცევა მუდმივი დატვირთვის პირობებში როგორც გარემოს, ისე ამალღებულ ტემპერატურებზე. ასეთი გამოცდა, ჩვეულებრივ, დიდ დროს მოითხოვს

(ზოგჯერ 10000 სთ-მდე). ამ მოთხოვნების შესაბამისად, კომპანია INSTRON-ი მომხმარებელს აწვდის როგორც სტანდარტულ უნივერსალურ საცდელ დანადგარებს, ისე ცოცვადობაზე და ხანგრძლივ სიმტკიცეზე გამოცდის მოდულებს. კომპანია INSTRON-ის მიერ ცოცვადობისა და ხანგრძლივი სიმტკიცის გამოცდებზე მიღებული გადაწყვეტილებები საფუძვლად დაედო ისეთი საცდელი მანქანების სტანდარტების შემუშავებას, რომლებიც, სპეციალიზებულ მზიდ კონსტრუქციებთან ერთად, ღუმლებისა და სამარჯვების სისტემებისაგან შედგება. მათ შეუძლიათ 10000 სთ-მდე ხანგრძლივობით 30 კნ დატვირთვა აიტანონ. ბერკეტული მექანიზმის დახმარებით განხორციელებული დატვირთვები ამ მანქანებს ეკონომიკურად ეფექტურს და მაღალსაიმედოს ხდის. ამავე დროს, კომპანია INSTRON-ის მიერ ცოცვადობაზე და ხანგრძლივ სიმტკიცეზე საცდელ მანქანებისათვის განკუთვნილი მრავალი ღუმელი და დამხმარე მოწყობილობა შეიძლება მიესადაგოს გაჭიმვაზე გამოსაცდელ ჩვეულებრივ უნივერსალურ საცდელ დანადგარებს.

**ე) სისალის საზომი ხელსაწყოები.** კომპანია Wilson Instruments-ი ითვლება სისალის საზომი ხელსაწყოთა Rockwell-ის შემქმნელად. როკველის მეთოდით გამოცდები სისალის შეფასების ყველაზე გავრცელებული მეთოდია. Rockwell-2000 და Tukon-2100 სისალის საზომ ყველაზე ეფექტურ, საიმედო და ზუსტ ხელსაწყოებად ითვლება. მართვის ციფრული ტექნოლოგიის შეკრული ციკლის დახმარებით, Rockwell-ის ამ ტიპის სისალის საზომი ხელსაწყოები გაზომვის შედეგების აღწარმოებასა და საიმედოობას უზრუნველყოფს. ისინი ტექნიკური მახასიათებლებით თა-

ნამედროვე ბაზარზე არსებულ ყველა ანალოგიურ პროდუქციას აღემატება.

**ვ) მანქანები გრეხაზე გამოცდებისათვის.** კომპანია INSTRON-ის გრეხაზე საცდელი მანქანები გამოირჩევა ნიმუშის პირმოდების საიმედოობით (სხვადასხვა კონსტრუქციის ცანგები, მასრისებრი მოჭერები) და გრეხის შედეგად გამოწვეული გადაადგილებების ეფექტური გაზომვის ტენზომეტრებით. INSTRON-ის გრეხაზე საცდელ მანქანებში ჩართულია სისტემები დადლილობით და სტატიკური გამოცდების ამოცანების გადასაწყვეტად, ისინი შესაბამისობაში არიან გრეხაზე და გაჭიმვა-დაგრეხაზე გამოცდების მოთხოვნებთან. გამოსაცდელად ხელმისაწვდომია 12 ნმ-დან 13000 ნმ-მდე დატვირთვები. ეს მანქანები, ჩვეულებრივ, გამოიყენება სამაგრი დეტალების, მავთულის, სორტული ნაგლისის და ლითონური ნაკეთობების გამოსაცდელად.

**ზ) ავტომატური საცდელი სისტემები.** ავტომატური სისტემა INSTRON TestMaster-ი ახორციელებს გამოცდის პრობების და მართვის მოთხოვნების ავტომატურ მომზადებას. რობოტი იღებს ნიმუშს, უდარებს შტრიხ-კოდს და იძლევა გამოცდის თანმიმდევრობას. მას შეუძლია გამოიცნოს გეომეტრიული კოდი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება თუ რომელი სტანდარტის (ASTM, EN, ISO, JIS) მიხედვითაა დამზადებული ნიმუში. რობოტი გაზომავს ნიმუშს, გადაიტანს მანქანასთან და განათავსებს მას საჭირო მდგომარეობაში. ამის შემდეგ ის იწყებს გამოცდას: გაიანგარიშებს მახასიათებლებს და საბოლოო შედეგებს ავტომატურად მიაწვდის ლაბორატორიის მონაცემთა ბაზას. სისტემა უზრუნველყოფს მაღალ სიზუსტეს, ეფექტურობას და საიმედოობას.

გარდა ძირითადი მოწყობილობებისა, INSTRON-ი მომხმარებელს თავაზობს დამხმარე მოწყობილობების ფართო არჩევანს: მომჭერებს, აღჭურვილობებს, ექსტენზომეტრებს და პროგრამების პაკეტებს, რომლებიც ადვილად ესადაგება ნებისმიერ მანქანას და თითქმის ყველა საჭიროების დაკმაყოფილების გარანტიას იძლევა. იმ შემთხვევებში, როდესაც სტანდარტული წინადადებები არ შეესაბამება ნიმუშების ან გამოცდების მოთხოვნებს, იგი უშუალოდ მომხმარებლის საჭიროებაზე გათვლილ უნიკალურ გადაწყვეტილებებს ამუშავებს.

**თ) კამერები და ღუმლები.** INSTRON-ს შეუძლია მომხმარებელს მიაწოდოს ღუმლების სერია: ხელოვნური კლიმატის მაღალტემპერატურული და დაბალტემპერატურული ღუმლები; გახურების სპეციალიზებული სისტემები საკვლევა-ძიებო ამოცანებისათვის; ავტონომიურ სისტემად და უფრო მსხვილ სისტემებთან ინტეგრაციისათვის განკუთვნილი ღუმლები, კამერები და სხვ.

**ი) პროგრამული უზრუნველყოფა.** INSTRON-ის პროგრამებიდან აღსანიშნავია:

**Partner-ი,** გაუმჯობესებული პროგრამული უზრუნველყოფა სტატიკური გამოცდების და გრესაზე გამოცდებისათვის;

**Bluehill-ი,** მასალის ყველა ტიპის გამოცდისათვის სრულიად ინტეგრირებული გამოყენებითი პროგრამების მოდულების უახლესი კომპლექსი;

**ATA-Wilson-Wolpert -ი,** სისალის გაზომვის პროგრამები;

**Impulse,** დარტყმითი გამოცდების მონაცემთა შეკრება და ანალიზი;

**FastTrack-ი** (დანართების ნაკრები), გაფართოებული გამოყენებითი პროგრამები დადლილობით გამოცდების და ციკლური დატვირთვის შესასრულებლად.

**კ) ნიმუშების პირმოღების ელემენტები და აღჭურვილობები.** INSTRON-ი, მასალების მექანიკური თვისებების მახასიათებლების საკვლევ ძირითად მოწყობილობებთან ერთად, ამზადებს დამხმარე აღჭურვილობის ფართო ასორტიმენტს. საცდელი მანქანების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კვანძი ნიმუშის ჩამაგრების კვანძია. ამ მიმართულებით კომპანიას მრავალი ორიგინალური კონსტრუქცია აქვს დამუშავებული. მათ შორის აღსანიშნავია სოლისებრი, პნევმატიკური სოლისებრი, ჰიდრაულიკური სოლისებრი, დინამიკური, სპეციალიზებული (სამაგრი დეტალების, მათულის, ტროსისა და სხვ.) მომჭერები. ღუნვაზე და ჭრაზე გამოცდის სამარჯვები და სხვ.

**ღ) ტენზომეტრები.** ნიმუშის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის კვლევის მიზნით INSTRON-ი იყენებს (ჩამო)საკიდ, ავტომატურ და ვიდეოექსტენზომეტრებს. მათი საშუალებით შესაძლებელია ძალის, დატვირთვის, მგრები მომენტის, წნევის, წონის, ვიბრაციისა და სხვა მექანიკური და ფიზიკური პარამეტრების ცვლილებებით გამოწვეული დეფორმაციის ზუსტად გაზომვა.

## ლექსიკონი

**ადვილი სრიალი**—1. სრიალის საწყისი სტადია, როდესაც დეფორმაცია, ძირითადად, ხდება სრიალის ერთ სისტემაში დისლოკაციის მოძრაობით. 2. უბანი დეფორმაციის მრუდზე განმტკიცების მცირე კოეფიციენტით.

**ადიაბატური ძვრით რღვევა**—ლითონის სწრაფი დეფორმაციით რღვევის სახე გახურებისას წარმოქმნილ ნაკლებად მტკიცე თხელ შრეში, კონცენტრირებული ძვრის სიბრტყეების გასწვრივ.

**ანტიფრიქციულობა**—მასალის უნარი გამოავლინოს (ხანგრძლივი ხახუნისას) ამალღებული მდგრადობა საკონტაქტო ზედაპირებს შორის ცვეთის მიმართ.

**არაწრფივი დრეკადობის თეორია**—თეორია, რომელშიც რომელიმე არაწრფივი დამოკიდებულებით იცვლება ჰუკის კანონი.

**ბზარის განვითარების ზონა**—რღვევის კერიდან დაშორებული რღვევის რელიეფის უბანი.

**ბზარის კმატების ზონა**—1. ნიმუშის ზედაპირის მიმდებარე რღვევის რელიეფის უბანი, რომელიც ბზარის ჩასახვის კერის მოპირდაპირე მხარეს მდებარეობს. 2. ნიმუშის ან ნაკეთობის უბანი, რომელიც დაირღვა დარჩენილ ცოცხალ კვეთში, ციკლური დატვირთვებით გადატვირთვის შედეგად.

**ბზარის ჩასახვის ზონა**—ბზარის რღვევის კერის მიმდებარე უბანი.

**ბზინვა**—მასალის ზედაპირის უნარი მიმართულად არეკლოს სინათლის ნაკადი.

**დაგრების კუთხე**—გრებისას ღეროს ერთი განივკვეთის / მანძილზე დაშორებული მეორე განივკვეთის მიმართ მობრუნების სიდიდე.

**დაგრების ფარდობითი კუთხე**—დაგრების კუთხე ღეროს სიგრძის ერთეულზე.

**დარტყმითი სიბლანტე**—მასალის მექანიკური მახასიათებელი დარტყმითი ღუნვისას. შეესაბამება ნიმუშის რღვევის მუშაობის რღვევის სიბრტყის განივკვეთის საწყის ფართობთან შეფარდებას.

**დენადობა**—პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც თანდათან მატულობს (ან მასალის უნარი დეფორმირდეს, პრაქტიკულად, მუდმივი დატვირთვისას) ძაბვების ზრდის გარეშე.

**დენადობის ბაქანი**—აბსცისის პარალელური უბანი გაჭიმვის დიაგრამაზე.

**დენადობის ზღვარი**—პირობითი ძაბვა, შეესაბამება პლასტიკური დეფორმაციის განსაზღვრულ სიდიდეს (მაგ.,  $\sigma_{0,1}$  ან  $\sigma_{0,5}$ ) მეტწილად გავრცელებულია დენადობის პირობითი ზღვარი  $\sigma_{0,2}$ , რომელიც 0,2% ნარჩენ დეფორმაციას შეესაბამება.

**დეპლანაცია**—თხელკედლიანი ღეროს განივკვეთის წერტილების გადაადგილება, რომელიც მას გარდაქმნის მრუდე ზედაპირად ან სიბრტყეთა ერთობლიობად.

**დეფორმაცია**—მყარი ტანის წერტილების ურთიერთგანლაგების ცვლილება გარე ან შიგა ძალების ზემოქმედებით სხეულზე, ან სხეულზე ძაბვის მოდებით გამოწვეული ფორმისა და ზომების ფარდობითი ცვლილება მასის შეუცვლელად.

**დეფორმაციის მუშაობა**—მუშაობა დახარჯული მოცემული დეფორმაციის განსახორციელებლად, ხასიათდება დიაგრამა—ძაბვა-დეფორმაციის შესაბამისი უბნის ფართობით.

**დეფორმაციის სიჩქარე**—აბსოლუტური ან ფარდობითი დეფორმაციის ცვლილება დროის ერთეულში.

**დინამიკური სიბლანტე**—დინამიკური დატვირთვით შთანთქმული ენერგია რღვევამდე.

**დისლოკაცია**—კრისტალური მესრის ხაზობრივი დეფექტი, არღვევს ატომური სიბრტყეების სწორ მონაცვლეობას და წარმოადგენს კრისტალის შიგნით ძვრის ზონის საზღვარს, რომლის გასწვრივ და მახლობლად რეგულარული კრისტალები-სათვის დამახასიათებელი ატომების წესიერი განლაგება დარღვეულია.

**დისლოკაციების სიმკვრივე**—ყველა დისლოკაციის ჯამური სიგრძე ლითონის ერთეულ მოცულობაში.

**დისლოკაციური დაძველება**—სიმტკიცის მატება და პლასტიკურობის შემცირება, გამოწვეული დისლოკაციების ირგვლივ მინარევების “ატმოსფეროს” წარმოქმნით.

**დნობის ტემპერატურა**—ტემპერატურა, რომელზეც ნივთიერება კრისტალური მდგომარეობიდან, სითბოს შთანთქმით, თხევად მდგომარეობაში გადადის.

**დრეკადი დეფორმაცია**—დეფორმაცია, რომელიც მასალაზე მოქმედი დატვირთვის მოხსნის შემდეგ მყისიერად და სრულიად ქრება.

**დრეკადი მერმექმედება**—დეფორმაციის სიდიდის თვითნებური ცვლილება უცვლელი ძაბვისას.

**დრეკადობა**—1. ფიზიკური თვალსაზრისით, არის სხეულის თვისება, დეფორმირდეს დატვირთვის მოდებისას და მყისიერად აღიდგინოს თავისი საწყისი ფორმა და მოცულობა (მყარი სხეულები) ან— მხოლოდ მოცულობა (სითხეები და გაზები), მათზე გარე ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ. 2. მექანიკური თვალსაზრისით, მაკროსკოპული სხეულების თვისება, გარე ძალების მექანიკური ზემოქმედებისას წინააღმდეგობა გაუწიოს საკუთარი მოცულობის ან ფორმის ცვლილებას.

**დრეკადობის ზღვარი**—მაქსიმალური პირობითი ძაბვა, რომლის დროსაც ვლინდება პლასტიკური დეფორმაციის პირველი ნიშნები და ნარჩენი დეფორმაცია აღწევს განსაზღვრულ სიდიდეს (ჩვეულებრივ, 0,001, 0,005%-ს).

**დრეკადობის თვორია**—შეისწავლის ძაბვასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულებას წრფივ, პუკის კანონის არეში.

**დრეკადობის მოდული**—სიდიდე, რომელიც აღწერს მასალის დრეკადობის უნარს, საცდელი ნიმუშის ფორმისა და ზომებისგან დამოუკიდებლად.

**ელექტროგამტარობა**—ლითონის უნარი, გაატაროს ელექტრული დენი ელექტრული ველის მოქმედებით.

**ზეგამტარობა**—ზოგიერთი მასალის თვისება, გამოავლინოს ნულოვანი ელექტრული წინაღობა მათთვის დამახასიათებელ  $T_c$  ტემპერატურაზე ქვევით გაცივებისას.

**ზოგადი ფარდობითი შევიწროება**—ნიმუშის ნებისმიერი განივკვეთის აბსოლუტური შევიწროების შეფარდება საწყის ფართობთან გაჭიმვის ნებისმიერ მომენტში.

**თავმოყრილი შევიწროება**—ფარდობით და თანაბარ შევიწროებათა სხვაობა

**თბოგამტარობა**—ლითონის უნარი, ამა თუ იმ სიჩქარით გაატაროს სითბო გახურებისას და გასცეს იგი გაცივებისას.

**თბური გაფართოება**—ლითონის უნარი გაზარდოს თავისი მოცულობა გახურებისას და შეამციროს გაცივებისას.

**იზომერია**—არსებობა ისეთი ქიმიური ნაერთებისა (იზომერების), რომლებსაც ერთნაირი შედგენილობა და მოლეკულური მასა აქვთ, მაგრამ განსხვავდებიან აღნაგობით ან ატომების მდებარეობით სივრცეში, რის შედეგად თვისებებითაც განსხვავდებიან (მაგ.  $\text{AgCNO}$  და  $\text{AgNCO}$ ).

**კონფორმაცია**—ატომების სივრცული განლაგება განსაზღვრული კონფიგურაციის მოლეკულაში, განპირობებული ერთი ან რამდენიმე ერთმავი სიგმა-კავშირით.

**კოროზიული მდგეობა**—ლითონის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს გარემოს ზემოქმედებით გამოწვეულ რღვევას (ქიმიურად აგრესიული არეების და მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას).

**კრაუდიონი**—ზედმეტი ატომის გაჩენით გამოწვეული სწორი წყობის დარღვევა ატომების (იონების) განლაგებაში, განსაზღვრული მიმართულების გასწვრივ, ატომური რიგის ცალკეულ უბანზე.

**კრაუდიონული პლასტიკურობა**—დეფორმაცია განპირობებული მჭიდროდწყობილი ატომური რიგების (კრაუდიონების) გასწვრივ ატომების ”შესქვლების” გაჩენითა და გადაადგილებით კრისტალებში.

**კრისტალის კუთრი ზედაპირი**—ფარდობა კრისტალის ზედაპირის ფართობისა მოცულობასთან.

**კუთრი მუშაობა**—მუშაობის სიდიდე დახარჯული ნიმუშის სამუშაო ნაწილის ერთეულ მოცულობაზე.

**მაგნიტური თვისებები**—თვისებები, რომლებითაც აისახება ლითონური მასალის ქცევა მაგნიტურ ველში.

**მარტივი სრიალი**—დისლოკაციის, სრიალის ერთ სისტემაში სრიალი.

**მექანიკური თვისებები**—მასალების უნარები, წინააღმდეგობა გაუწიოს მექანიკური დატვირთვების მოქმედებას სხვადასხვა ვითარებაში.

**მექანიკური ძაბვა**—სხეულში გარე ზემოქმედებით წარმოქმნილი შინაგანი ძალების საზომი, რომელიც ტოლია ტოლქმედი ძალის მისი მოდების ფართობთან შეფარდების.

**მოწვევით რღვევა**—ნორმალური ძაბვებით გამოწვეული რღვევა.

**მრღვევი გამოცდა**—მის დროს ნაკეთობა კარგავს შრომისუნარიანობას, ანუ ფუნქციის შესრულების უნარს.

**მყიფე სიმტკიცე**—მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვის სიდიდე, არ იწვევს რღვევას მასალების უმეტესობაში.

**მსურვალმედვეობა**—ლითონებისა და შენადნობების უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს აირებთან (ან სხვა მჟანგავ გარემოსთან) ქიმიურ ურთიერთქმედებას მაღალ ტემპერატურაზე.

**მსურვალმტკიცეობა**—ლითონებისა და შენადნობების უნარი, დაურღვევლად გაუძლოს მექანიკურ დატვირთვას მაღალ ტემპერატურაზე.

**ნარჩენი ძაბვები**—ძაბვები, რომლებიც ლითონში გარე ზემოქმედების (მექანიკური, თერმული, ფიზიკურ-ქიმიური და სხვ.) მოხსნის შემდეგ რჩება და სხეულის შიგნითაა გაწონასწორებული.

**ნარჩენი ფარდობითი წაგრძელება**—ნიმუშის ნარჩენი აბსოლუტური წაგრძელების შეფარდება საწყის საანგარიშო სიგრძესთან გაჭიმვაზე გამოცდისას.

**პირობითი ფარდობითი შევიწროება**—ნიმუშზე მოდებული ძაბვებით გამოწვეული გაწყვეტის წინ მიღებული განივკვეთის ფართობის შემცირების ფარდობა განივკვეთის საწყის ფართობთან.

**პლასტიკურობის თეორია**—ფიზიკური თანაფარდობები, რომლებიც აღწერენ სხეულის დრეკადიდან დრეკად-პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლას და ამ უბანზე (მასალის პლასტიკური თვისებების გათვალისწინებით) დეფორმირების პროცესს.

**პროპორციულობის ზღვარი**—პირობითი ძაბვა, რომელიც ”ძაბვადეფორმაციის” მრუდზე წრფივი უბნიდან მრუდხაზოვან უბანზე გადასვლის წერტილს შეესაბამება.

**ჟანგვადობა**—ლითონის უნარი, მჟანგავის ქიმიური ზემოქმედებით შევიდეს რეაქციაში ჟანგბადთან და წარმოქმნას ოქსიდი.

**რელაქსაცია**—ძაბვის სიდიდის თვითნებური ცვლილება უცვლელი დეფორმაციისას.

**რღვევის კერა**—1. ბზარის ჩასახვის უბანი. 2. ნიმუშის ან ნაკეთობის უბანი, რომელშიც რღვევა იწყება.

**რღვევის სიბლანტი**—გამჭიმავი ძაბვის ფარდობითი მატება ბზარის შესართავთან, ბზარის სტაბილურიდან არასტაბილურ ზრდაზე გადასვლისას.

**რღვევის ჭეშმარიტი სიმტკიცე**—მაქსიმალური ძაბვა, რომელიც განისაზღვრება ნიმუშის რღვევის მომენტში დატვირთვის განიკვეთის მინიმალურ ფართობზე ფარდობით.

**რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა**—მაქსიმალური ძაბვა, რომელსაც მასალა უძლებს რღვევის წინა მომენტში.

**საჩამომსხმელო თვისებები**—მასალის უნარი წარმოქმნას სხმულეები ბზარების, ნიჟარების და სხვა დეფექტების გარეშე.

**სიბლანტი**—მყარი სხეულის თვისება, შეუქცევლად შთანთქოს მექანიკური ენერგია პლასტიკური დეფორმაციით რღვევისას.

**სიბლანტის მარაგი**—ტემპერატურული ინტერვალი მასალის ციკმეტეზობის ზღურბლსა და სამუშაო ტემპერატურას შორის.

**სიმკვრივე**—ნივთიერების რაოდენობა ერთეულ მოცულობაში.

**სიმტკიცე**—მყარი სხეულების უნარი, დაურღვევლად აღუდგეს წინ გარე ძალების მოქმედებას. ფართო გაგებით, მყარი სხეულების უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს რღვევას, აგრეთვე ფორმის შეუქცევ ცვლილებას გარეგანი დატვირთვის ზემოქმედებისას, განსაზღვრულ პირობებსა და ზღვრებში.

**სიმტკიცის ზღვარი**—პირობითი ძაბვა, რომელიც იმ მაქსიმალურ დატვირთვას შეესაბამება, რომელსაც უძლებს ნიმუში.

**სიმეიფე**—მასალის თვისება, დაირღვეს შესამჩნევი ნარჩენი, დეფორმაციის გარეშე.

**სტატიკური სიბლანტი**—სხეულის ნელი დატვირთვით რღვევამდე შთანთქმული ენერგია. რაოდენობრივად ჭეშმარიტი ძაბვა—დეფორმაციის დიაგრამაზე გაჭიმვის მრუდითა და დეფორმაციის ღერძით შემოსაზღვრული ფართობით განისაზღვრება.

**სტერეოიზომერია**—იდენტური ქიმიური სტრუქტურის მქონე იზომერები, ერთმანეთისგან ატომების სივრცეში განლაგებით განსხვავებული.

**სუფთა ძვრა**—დაძაბული მდგომარეობა, რომლის დროსაც ღეროდან გამოყოფილი ელემენტის წახნაგებზე მხოლოდ მხები ძაბვები მოქმედებს. ასეთ წახნაგებს სუფთა ძვრის ბაქნებს უწოდებენ.

**უდიდესი თანაბარი შევიწროება**—ფარდობა ნიშუშის თანაბარი დეფორმაციის უბანზე საწყისი და საბოლოო კვეთების ფართობების სხვაობისა საწყის ფართობთან.

**ფერი**—სხეულის უნარი გამოიწვიოს მის მიერ არეკლილი ან მისგან გამოფრქვეული ხილული გამოსხივების სპექტრული შედგენილობისა და განსაზღვრული ინტენსიურობის შესაბამისი მხედველობითი შეგრძნება დამკვირებელზე (იგი ამრეკლი ზედაპირის მახასიათებელია და ზედაპირიდან სარკულად არეკლილი და დიფუზურად გაბნეული სინათლის თანაფარდობებს წარმოადგენს).

**ფიზიკური თვისებები**—ნივთიერებისათვის ნიშანდობლივი თვისებები ქიმიური ურთიერთქმედების გარეშე.

**ქიმიური თვისებები**—ნივთიერების თვისებები, გამოვლენილი ქიმიური რეაქციების პროცესში.

**შედუღებადობა**—ლითონის უნარი, წარმოქმნას ხარისხიანი შენადუდი ნაერთი სხვა მასალებთან, რომელთა თვისებაც, როგორც წესი, ახლოსაა ძირითადი ლითონების თვისებებთან.

**შეწროებადობა**—განსაზღვრულ სიღრმეზე ლითონის წრთობის უნარი.

**შეუქცევი დეფორმაცია**—ნარჩენი, ანუ პლასტიკური დეფორმაცია, რომლის სიდიდე პრაქტიკულად უცვლელი რჩება სხეულზე დატვირთვის მოხსნის შემდეგაც.

**შექცევადი დეფორმაცია**—იხ. დრეკადი დეფორმაცია.

**შინაგანი ძაბვები**—ძაბვები, რომლებიც ლითონზე გარე ზემოქმედების (მექანიკური, თერმული, ფიზიკურ-ქიმიური და სხვ.) მოხსნის შემდეგ რჩება ლითონში და გაწონასწორებულია სხეულის შიგნით.

**შინაგანი ხახუნი**—არადრეკადობის გამოვლინება მყარ სხეულში, იგი გამოიხატება დეფორმაციის პროცესში მასზე მინიჭებული მექანიკური ენერგიის არაშექცევად განბნევაში.

**ცვეთამედვეობა**—მასალის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს ცვეთას (ხახუნისას ნაკეთობის ზედაპირული შრის რღვევით გამოწ-

ვეულ სხეულის ზომებისა და ფორმის თანდათანობით ცვლილებას).

**ციმემეტეხობის ზღურბლი**—ბლანტი რღვევიდან მყიფე რღვევაზე გადასვლის ტემპერატურა (ვიწრო ტემპერატურული ინტერვალი), რომელზეც მასალის დარტყმითი სიბლანტე ნახტომისებრად გადადის ბლანტიდან მყიფე მდგომარეობაში (იგი ხასიათდება რღვევის რელიეფში ბლანტი მდგენელის მოცემული დონით ან დარტყმითი სიბლანტის განსაზღვრული სიდიდით).

**ციმემეტეხობის კრიტიკული ტემპერატურა**—ბლანტი რღვევიდან მყიფე რღვევაზე გადასვლის ტემპერატურა.

**ცივჭედვა**—1. ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურისა და თვისებების ცვლილება, პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად, რეკრისტალიზაციის ნაწილობრივი ან სრული ჩახშობისას. 2. დამუშავება, რომელსაც ლითონი ცივი პლასტიკური დეფორმაციით განმტკიცებამდე მიჰყავს.

**ციკლური სიბლანტე**—1. დეფორმაციის მუშაობა (ერთნიშნა ან ნიშანცვლადი დატვირთვის მრავალჯერადი განმეორებისას), რომელიც დატვირთვის ერთი ციკლისას შთანთქმება. 2. ლითონის უნარი, შეუქცევლად შთანთქოს ენერგია ციკლური დატვირთვებისას. იგი, ამტანობის ზღვრის ტოლი ძაბვისას, ჰისტერეზისული მარყუჟის სიგანით ხასიათდება.

**ცოცვადობა**—მყარი სხეულის ნელი უწყვეტი, პლასტიკური დეფორმაცია, გამოწვეული მუდმივი დატვირთვის (ან მექანიკური ძაბვის) მოქმედებით.

**ცოცვადობის დეფორმაცია**—პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც ნელ-ნელა მატულობს მუდმივი ძაბვების გავლენით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში და დაკვირვების ჩვეულებრივი დროის პერიოდში მისი აღმოჩენა, პრაქტიკულად, შეუძლებელია.

**ძაბვა**—სხეულში გარე ზემოქმედებით წარმოქმნილი შინაგანი ძალების საზომი, რომელიც ტოლქმედი ძალის მისი მოდების ფართობთან შეფარდების ტოლია.

**ძვრით (ჭრით) რღვევა**—მხები ძაბვებით გამოწვეული რღვევა.

**ძვრის ძაბვა**—მხები ძაბვა, რომელიც ლითონის ნიმუშის ორ მეზობელ სიბრტყეს აიძულებს ისრიალოს ერთმანეთზე, ერთმანეთის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით.

**ჭედადობა**–ლითონებისა და შენადნობების ჭედვის უნარი. **ჭრით დამუშავებადობა**–ლითონის ან შენადნობის ქცევა მასზე მჭრელი ინსტრუმენტის განსაზღვრული სიჩქარითა და ძალით მოქმედებისას.

**ჭრით რღვევა**–მსები ძაბვების მოქმედებით განპირობებული რღვევა.

**ხაზობრივი გაფართოების თერმული კოეფიციენტი**–სხეულის სიგრძის ნაზრდი ერთეულ სიგრძეზე მისი 1°C-ით გათბობისას.

**ხანგამძლეობა**–1. ლითონის უნარი, გაუძლოს მრავალჯერად დატვირთვას დესტრუქციის პროცესში რღვევამდე განსაზღვრული სიდიდის დაძაბულობით. 2. მასალის (ნაკეთობის) უნარი, შეინარჩუნოს შრომისუნარიანობა მოცემულ პირობებში, განსაზღვრული დროის განმავლობაში.

**ხანგრძლივი პლასტიკურობა**–პლასტიკური თვისებების (ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების) ერთობლიობა ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში.

**ხანგრძლივი სიმტკიცე**–1. მასალის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს რღვევას დროის მოცემულ მონაკვეთში მუდმივი გამჭიმავი ძაბვის მოქმედებისას, მოცემულ (ჩვეულებრივ აწვეულ) ტემპერატურაზე. 2. ცოცხადობის მდგომარეობაში ხანგრძლივად მყოფი მასალის სიმტკიცე.

## ბამოქმენებული პირითაღი ლიტერატურა

1. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. Справочник. М., Государственное научн. техн. изд-во по черной и цветной металлургии. 1957. 120 с.
2. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია. თბილისი, 1975–1987.
3. БСЭ. М.: «Советская энциклопедия». М., 1970 – 1978.
4. Энциклопедия неорганических материалов. В 2 т-х . Киев, Главная редакция УСЭ, 1977.
5. Энциклопедический словарь по металлургии. В 2 т-х. М., «Интермет Инжиниринг», 2000.
6. შურაძე თ. არაორგანული მასალათმცოდნეობისა და მეტალურგიის ტერმინთა განმარტებითი ლექსიკონი. თბილისი, 2008. 776 გვ.
7. შურაძე თ. დიურომეტრია. თბილისი, 2010. 136 გვ.
8. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М., «Машиностроение», 1968. 400 с.
9. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Изд. 3-е, перераб. и доп. В двух частях. Часть первая. М., «Машиностроение», 1974. 472 с. с ил.
10. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Изд. 3-е, перераб. и доп. В двух частях. Часть вторая. М., «Машиностроение», 1974. 368 с. с ил.
11. Металловедение и термическая обработка. Справочник. т. 1. М., Государственное научн. техн. изд-во по черной и цветной металлургии. 1961. 750 с.
12. Структура и свойства металлов и сплавов. Справочник. Механические свойства металлов и сплавов. Киев, «Наукова думка», 1986. 568 с.
13. Шапошников Н.А. Механические испытания металлов. М.– Л., Государственное научн. техн. изд-во машиностроительной Литературы. 1951. 384 с.
14. Тимошук Л.Т. Механические испытания металлов. М., «Металлургия», 1971. 224 с.
15. Новиков И.И. Теория термическая обработка металлов. Изд. 3-е, М., «Металлургия», 1978. 392 с.
16. Фелтам П. Деформация и прочность материалов. Перев. с англ. М., «Металлургия», 1968. 120 с.

17. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М., «Металлургия», 1986. 544 с.
18. Испытания металлов. Сб. Статей, под ред. Нитцше. Перев. с нем. М., «Металлургия», 1967. 452 с.
19. Физическое металловедение. В 3-х т., 3-е изд., перераб. и доп. Под ред. Кана Р.У., Хаазена П.Т. Перев. с англ. М., «Металлургия», 1987. 663 с.
20. Справочник по сталям и методам их испытаний. Перев. с нем. М.С. Ароновича и О.А. Михайлова. М., Государственное научн. техн. изд-во по черной и цветной металлургии, 1958. 920 с.
21. Травин О.В., Травина Н.Т. Материаловедение. М., «Металлургия», 1989. 384 с.
22. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. 3-е изд., перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1990. 528 с. с ил.
23. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Учеб. пособ. для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М., «Металлургия». 1989. 456 с.
24. Атомный механизм разрушения. Материалы Международной конференции по вопросам разрушения. Перев. с англ. Под ред. М.А. Штремеля. М., Государственное научн. техн. изд-во по черной и цветной металлургии. 1963. 660 с.
25. Д. Мак Лин. Механические свойства металлов. Перев. с англ. Л.И. Миркина, Под ред. Я.Б. Фридмана. М., «Металлургия» 1965. 432 с.
26. Практические вопросы испытания металлов. Перев. с нем. Под ред. М.А. Штремеля. М., «Металлургия» 1979. 280 с.
27. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М., «Металлургия» 1979. 496 с.
28. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов. М., «Машиностроение», 1990. 256 с. с ил.
29. Высокотемпературные механические свойства коррозионностойкой стали для атомной техники. Пер. с англ. Под. ред. Масленикова С.Б. М., «Металлургия», 1987. 480 с.
30. Романив О.Н. Вязкость разрушения конструкционных сталей. М., «Металлургия», 1979. 176 с.
31. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. Пер. с англ. Под ред. В.Я. Любова. М., «Мир», 1972. 408 с.