

ა. ლ. ნოზაძე, ჯ. მ. ლომსაძე

# ბღინვის ნაკრებების საუბუძვლები

ნიგნი პიჩუაძე

სასწავლო-პედაგოგიური ლიტერატურის  
სახელმწიფო გამომცემლობა

„ცოდნა“

თბილისი—1961

წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს „გლინვის წარმოების საფუძვლების“ პირველ ნაწილს. იგი ძირითადად შედგენილია ლითონების წნეითი დამუშავების სპეციალობის გლინვის წარმოების სპეციალიზაციის პროგრამის მიხედვით. მასში განხილულია ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის, გლინვის თეორიისა და გლინების დაკალიბრების საფუძვლები. სახელმძღვანელო ძირითადად განკუთვნილია პოლიტექნიკური ინსტიტუტის მეტალურგიის ფაკულტეტისა და მეტალურგიის ტექნიკუმების სტუდენტებისათვის. იგი სასარგებლო იქნება აგრეთვე საგლინავ სამქროებში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკური პერსონლისათვის.

## წინასიტყვაობა

უკანასკნელ წლებში საქართველოში მნიშვნელოვნად გაიზარდა საგლინავე წარმოება, კერძოდ, ი. ბ. სტალინის სახელობის ამიერკავკასიის მეტალურგიულ ქარხანაში მწყობრში ჩადგა თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი მძლავრი საგლინავე საამქროები—ბლუმინგი „1000“, მილნამზადის, ფურცელსაგლინავე, წერილსორტული, მილსაგლინავე „140“ და „400“ დგანებით. უახლოეს წლებში გათვალისწინებულია ქარხნის საგლინავე წარმოების შემდგომი გაფართოება.

საგლინავე წარმოების სწრაფი ტემპით განვითარებამ საქართველოში დღის წესრიგში დააყენა კადრების მომზადების საკითხი. ამასთან დაკავშირებით თბილისის მეტალურგიულ ტექნიკუმში, ხოლო შემდეგ ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში დაიწყო სპეციალისტების მომზადება.

წინამდებარე სახელმძღვანელო, რომელიც წარმოადგენს „გლინვის წარმოების საფუძვლებს“ პირველ ნაწილს, შედგენილია გლინვის დარგში მეცნიერების უკანასკნელი მიღწევების საფუძვლზე—მასში განხილულია ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის, გლინვის თეორიისა და გლინების დაკალიბრების საფუძვლები, ხოლო მეორე ნაწილში მოცემული იქნება გლინვის ტექნოლოგიური პროცესები.

სახელმძღვანელო ძირითადად შედგენილია ლითონების წნევეთი დამუშავების სპეციალობის „გლინვის წარმოების“ სპეციალიზაციის პროგრამის მიხედვით.

სახელმძღვანელო დაეხმარება ქართველ სტუდენტებს გლინვის წარმოების თეორიული საფუძვლების შესწავლაში. იგი სასარგებლო იქნება აგრეთვე საგლინავე საამქროებში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალისათვის.

დღემდე არსებული სახელმძღვანელოებისაგან განსხვავებით წი-

ნამდებარე სახელმძღვანელოში დაწვრილებით არის განხილული როგორც გრძივი, ისე განივი გლინვის წარმოების საფუძვლები, დაკავშირებული რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის საგლინავი წარმოების სპეციფიკასთან.

ვინაიდან აღნიშნული წიგნი ქართულ ენაზე წარმოადგენს პირველ ცდას, მას ექნება გარკვეული ნაკლოვანებანი. ჩვენ კმაყოფილებით მივიღებთ მკითხველთა ყველა საქმიან შენიშვნას.

**ავტორები**

## შესავალი

გლინვას, როგორც ლითონების წნევათი დამუშავების ერთ-ერთ ძირითად დარგს, მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს მეტალურგიული წარმოების საერთო ციკლში. მთელი გამოდნობილი ლითონის დაახლოებით სამი მეოთხედი ნაწილი დამუშავებას გადის საგლინავ საამქროებში.

საბჭოთა ხელისუფლების წლებში საგლინავი წარმოების მასშტაბი მნიშვნელოვნად გაიზარდა. შეიცვალა საგლინავი წარმოების ტექნიკური ბაზა. ჯერ კიდევ პირველ ხუთწლედში მწყობრში ჩადგნენ მაგნიტოგორსკისა და კუზნეცკის მეტალურგიული კომბინატები, ქარხანა „ზაპოროჟსტალის“, მაკეევკის, ძერჟინსკის სახელობის „კრასნი ოკტიაბრის“, ჩუსოვსკისა და სხვა მეტალურგიული ქარხნების მძლავრი საგლინავი დგანები. ამან საშუალება მოგვცა აგვეთვისებინა საგლინავი პროდუქციის ახალი სახეების გამოშვება, როგორცაა ფურცლები, მავთული, მშენებლობისათვის საჭირო მსხვილი ფასონური პროფილები, ფოლადის მილები და სხვა სახის ნაგლინი.

ჩვენმა სამამულო მეტალურგიამ განსაკუთრებით დიდ წარმატებას მიაღწია ომისშემდგომ წლებში. თუჯის გამოდნობის ომამდელი დონე მიღწეული იქნა ოთხ წელიწადში, ხოლო ფოლადისა — სამ წელიწადში.

შეიცვალა ლითონის წარმოების გეოგრაფიული განლაგება. გაიზარდა აღმოსავლეთის რაიონებში გამოდნობილი ლითონის რაოდენობა. შეიქმნა თანამედროვე ტექნიკით, აღკურადილი მეტალურგიული ბაზები ამიერკავკასიისა და შუა აზიის რესპუბლიკებში.

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის XXI ყრილობაზე შემუშავებული იქნა ჩვენს ქვეყანაში კომუნისტური გაშლილი მშენებლობის გრანდიოზული პროგრამა მისი წარმატებით შესრულებასათვის მიმდინარე შეიდწლედში მნიშვნელოვნად გაიზარდება მოთხოვნილება ნაგლინზე. 1965 წლისათვის ნაგლინის წარმოება მიაღწევს 65—70 მილიონ ტონას წელიწადში. შავი ლითონების წარმოების შემდგომ ზრდასთან ერთად გათვალისწინებულია ნაგლინის

სორტამენტის გაფართოება და ახალი ეკონომიური პროფილების ათვისება.

პარტიისა და მთავრობის მიერ დასახული ამოცანების შესრულებისა და ხალხის კეთილდღეობის შემდგომი გაუმჯობესებისათვის გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს შრომის ნაყოფიერების გადიდებას, რომელც განხორციელებული იქნება მოწინავე ტექნიკისა და ტექნოლოგიის დანერგვით, საწარმოო პროცესების კომპლექსური მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის შემდგომი გაფართოებით, მოწყობილობათა მოდერნიზაციით, საწარმოთა სპეციალიზაციის ფართო განვითარებით და მის საფუძველზე წარმოების ნაკადური მეთოდების დანერგვით, შრომის ორგანიზაციის გაუმჯობესებით და სხვ.

გლინვის საწარმოო პროცესების სწორი შერჩევისათვის საკიროა გლინვის თეორიის, გლინვის წარმოების ტექნოლოგიის, საგლინავი საამქროების მოწყობილობისა და გასაგლინავი ლითონის თვისებების ყოველმხრივი შესწავლა. ლითონების წნევის დამუშავების თეორიის თანამედროვე დონე საშუალებას გვაძლევს ანალიზი გაუქეთოთ ძირითად მოვლენებსა და დამოკიდებულებებს და მთელ რიგ შემთხვევებში მივიღოთ პრაქტიკული მიზნებისათვის მისაღები რაოდენობრივი გადაწყვეტილებანი.

საბჭოთა მეცნიერებმა თავიანთ შრომებში გადაწყვეტეს გლინვის თეორიის რიგი მნიშვნელოვანი პრობლემები. ჯერ კიდევ მეოცე საუკუნის დასაწყისში ვ. ე. გრუმ-გრეიმაილომ შექმნა თაროიანი პროფილების დაკალიბრების საფუძვლები, ი. მ. პავლოვმა მოგვცა ძირითადი დებულებები არათანაბარი დეფორმაციის შესახებ, ა. პ. ვინოგრადოვმა წამოაყენა მძლავრი მომქიმავე და ხისტი კინემატიკური კავშირის მქონე დგანების ანგარიშის მეთოდი. ფართოდაა ცნობილი ა. ი. ცელიკოვის შრომები—გლინვისა და ქედვის დროს მოქმედი ძალების განსაზღვრის შესახებ; ა. პ. ჩეკმარიოვის შრომები—წნევა გლინებზე, ენერჯის ხარჯი და გაფართოება გლინვის დროს საწარმოო პირობებში; ს. ი. გუბკინის შრომები ლითონების წნევით დამუშავების თეორიაში.

ლითონების წნევით დამუშავების თეორიაში უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ა. ფ. გოლოვინის ორგინალურ შრომებს, კერძოდ, გლინების დაკალიბრებას შესაბამისი ზოლების მეთოდით და პ. ტ. ემელიანენკოს შრომებს, რომელმაც განავითარა მილსაგლინავი წარმოების თეორიული საფუძვლები.

გლინვის სრულყოფილი თეორიის შექმნისათვის და მის საფუძველზე რაციონალური ტექნოლოგიური პროცესების შერჩევისათ-

ვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ძაბვებისა და დეფორმაციების ანგარიშის საინჟინერო მეთოდების შემუშავებას.

უნდა აღინიშნოს, რომ დაძაბულ-დეფორმირებული თეორიის თანამედროვე მოძღვრებას ნაკლებად იყენებენ ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის დროს ფორმაცვლილების ანგარიშისას, კერძოდ, გლინების დაკალიბრების შემთხვევაში.

პლასტიკურობის თეორიის დარგში ა. ა. ილიუშინის, ვ. ვ. სოკოლოვის, კ. ნ. შევჩენკოსა და სხვა საბჭოთა მეცნიერების გამოკვლევათა შედეგების გამოყენება, ლითონების წნევეთი დამუშავების დარგში, მისი შემდგომი განვითარების ფართო პერსპექტივას იძლევა.

---

თ ა ვ ი პ ი რ ვ ე ლ ი

ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის არსი და ბუნება

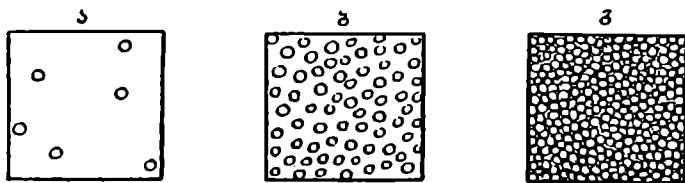
§ 1. ლითონთა აგებულება

ბუნებაში სხეულები გვხვდება აიროვან, თხევად და მყარ მდგომარეობაში. როგორც სხეულთა მდგომარეობაზე, ისე მათ ქიმიურ და ფიზიკურ თვისებებზე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს ატომური აგებულება. სხვადასხვა სხეულები ატომური აგებულების მიხედვით სქემატურად შეიძლება ასე გამოვსახოთ (ნახ. 1).

აირებში ატომები განლაგებული არიან ნებისმიერად და მათ შორის არაერთი კავშირი არ არსებობს.

სითხეებში გვაქვს ატომთა ქაოტიური განლაგება და მათ შორის მცირე კავშირი. როგორც ერთი, ისე მეორე იღებს იმ კურკლის ფორმას, რომელშიც ისინი მოთავსებულნი არიან.

მყარი სხეულები ხასიათდებიან ატომებს შორის მჭიდრო კავშირით და გააჩნიათ გარკვეული ფორმა. ეს უკანასკნელნი შეიძლება ხასიათდებოდნენ ატომების ურთიერთ, წესიერი, სიმეტრიული განლაგებით (ნახ. 2) და მათ კრისტალურ სხეულებს უწოდებენ, ანდა



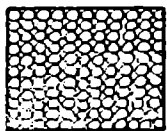
ნახ. 1. ა—აირი; ბ—სითხე; გ—მყარი.

ატომების არაწესიერი, ნებისმიერი განლაგებით, რომელთაც ამორფულ სხეულებს უწოდებენ. ამორფულ სხეულებს ყველა მიმართულებით ახასიათებთ სრულიად ერთნაირი ფიზიკური თვისებები. ასეთ ნივთიერებათა დამახასიათებელ მაგალითს წარმოადგენს ჩვეულებრივი მინა.



კრისტალურ სხეულებს. როგორც აღვნიშნეთ, ახასიათებთ ატომ-თა მტკიცე, ურთიერთ მოწესრიგებული განლაგება და სხვადასხვა მიმართულებით ამჟღავნებენ მეტ-ნაკლებად განსხვავებულ თვისებებს.

ყველა ლითონები და ლითონური შენადნობები, დამოუკიდებლად მათი მიღებისა და დამუშავების ხერხისა, მყარ მდგომარეობაში იღებენ მკვეთრად გამოაახულ კრისტალურ აღნაგობას. ჯერჯერობით არ არის ცნობილი ლითონის მთლიანად ამორფულ მდგომარეობაში ყოფნის შემთხვევა, მაგრამ ზოგიერთი მონაცემების თანახმად შესაალებელია განსაზღვრულ პირობებში ლითონის მარცვლებს შორის იყოს არასტრუქტურული, ამორფული ნივთიერების უაღრესად თაღლი ფენა.



ნახ. 2. კრისტალური სხეულის მოდელი.

ამრიგად, კრისტალური სხეულის არსებით მახასიათებელს წარმოადგენს მოლეკულათა ან ატომთა განლაგების ცნობილი გეომეტრიული სიზუსტე. სივრცის ის მოცულობა, რომელშიც ატომები ან მოლეკულები ზუსტ გეომეტრიულ განლაგებას ქმნიან, გვაძლევს კრისტალოგრაფიულ, ანუ სივრცულ კრისტალურ გისოსს.

სივრცე, რომელიც უჭირავს გისოსს, შეიძლება იყოს სხვადასხვა, მაგრამ თვით გისოსის დახასიათებისათვის სავალდებულო არ არის განვიხილოთ იგი მთლიან მოცულობაში; საკმარისია მივეთითოთ მის იმ უმცირეს ნაწილზე, უბრალო ფიგურაზე. რომლის განმეორებითაც მიღებულ სინტრიულ გროვას წარმოადგენს მთელი გისოსი. ამ უმცირეს კრისტალურ გისოსს ეწოდება ელემენტარული უჯრედი, რაც განსაზღვრავს ყოველი კრისტალური გისოსის სახეს.

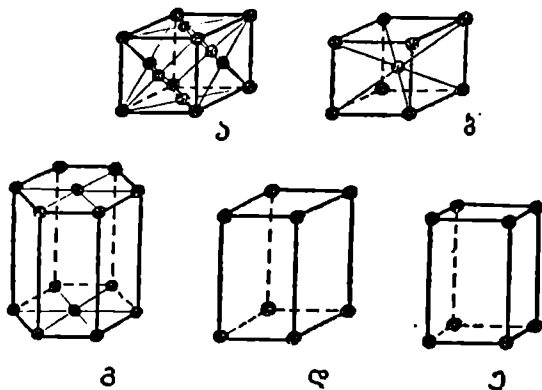
როგორც კრისტალოგრაფიიდან არის ცნობილი, არსებობს შემდეგი ტიპის ლითონის ატომური უჯრედები: ა) წახნაგდაცენტრებული კუბი; ბ) დაცენტრებული კუბი, გ) ჰექსაგონალური, დ) ტეტრაგონალური, ე) რომბოედრული.

გისოსა წახნაგდაცენტრებული კუბით გააჩნია შემდეგ ლითონებს: Al (ალუმინი), Ca (კალციუმი),  $\gamma$ -Fe ( $\gamma$ -რკინა),  $\beta$ -Co ( $\beta$ -კობალტი).  $\alpha$ -Ni ( $\alpha$ -ნიკელი), Cu (სპილენძი) Rh (რადიუმი), Pd (პალადიუმი), Ag (ვერცხლი), Ir (ირიდიუმი), Pt (პლატინა), Au (ოქრო) და Th (თორიუმი).

გისოსი სივრცითდაცენტრებული კუბით გააჩნიათ—Li (ლითიუმი), Na (ნატრიუმი), K (კალიუმი), V (ვანადიუმი), Cr (ქრომი),  $\alpha$ -Fe ( $\alpha$ -რკინა),  $\beta$ -Fe ( $\beta$ -რკინა), Mo (მოლიბდენი), Ta (ტანტალი) და W (ვოლფრამი).

ჰექსაგონალური გისოსი გააჩნიათ: Be (ბერილიუმი), Mg (მაგნიუმი), Ti (ტიტანი),  $\alpha$ -Co ( $\alpha$ -კობალტი), Zn (თუთია), Zr (ციროკონიუმი), Ru (რუთენიუმი), Cd (კადმიუმი),  $\alpha$ -Ce ( $\alpha$ -ცერიუმი) და Os (ოსმიუმი).

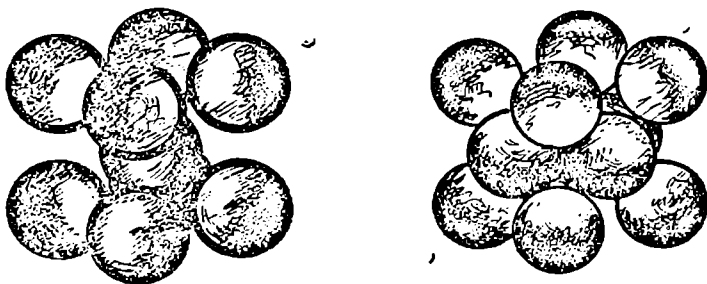
ტეტრაგონალური გისოსი გააჩნიათ შემდეგ ლითონებს: Sn (კა-



ნახ. 3. ატომური უჯრედები.

ლა) და Jn (ინდიუმი), რომბოედრული—Bi (ბისმუტი) და Sb (ანთიმონი).

სინამდვილესთან უფრო მიახლოების მიზნით ელემენტარულ უჯრედებს ხშირად გამოსახავენ ურთიერთ შემხებ სფეროთა ერთობ-



ნახ. 4. ატომების მკიდრო განლაგების სქემა.

ლიობის სახით. ასე მაგალითად, მე-4 ნახ-ზე მოცემულია დაცენტრებული და წახნაგდაცენტრებული ატომური უჯრედები.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ სისტემებში მეზობელ ატომთა ცენ-

ტრებს შორის მანძილი, რომელიც ძალიან მცირეა, განიზომება ანგსტრემებში<sup>1</sup>.

ამრიგად, ყოველ ლითონ-ელემენტს გააჩნია კრისტალური გისოსის ესა თუ ის სახე და, მაშასადამე, წარმოადგენს კრისტალურ სხეულს, ანუ კრისტალს. კრისტალურ სხეულს ატომთა სწორი გეომეტრიული განლაგება ანიჭებს გარკვეულ თვისებებს, რომლითაც ისინი განსხვავდებიან არაკრისტალური, ანუ ამორფული სხეულებისაგან.



პირველ ასეთ თვისებად უნდა აღინიშნოს მათი ანიზოტროპიულობა, ანუ ვექტორიალობა, რომლის ქვეშ იგულისხმება სხვადასხვა მიმართულების მიხედვით სხვადასხვა თვისებები. მაგალითად, სპილენძის კრისტალისთვის განსაზღვრული იყო სხვადასხვა მიმართულებით სიმტკიცის ზღვარი ( $\sigma_0$ ) და ფარდობითი წაგრძელება ( $\delta^{\%}$ ). შედეგები მოცემულია მოდულების სახით (ნახ. 5), სადაც ნაჩვენებია აგრეთვე მთავარი დერძების მიმართულება. აქ  $\delta$  იცვლება 10-დან 50% მდე, ხოლო  $\sigma_0$ —14-დან 35 კგ/მმ<sup>2</sup> მდე.

ნახ. 5. სპილენძის კრისტალის სხვადასხვა მიმართულებით თვისებების ცვლილებების გაპობხატველი მოდული: ა—სიმტკიცის ცვლილება ( $\sigma_0$ ); ბ—წაგრძელების ცვლილება ( $\delta^{\%}$ ).



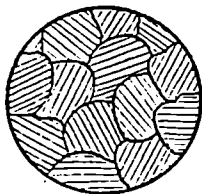
ნახ. 6. მონოკრისტალის მოდული.

კრისტალი, რომელიც ძირითადად ექსპერიმენტისათვის გამოიყენება.

რეალური ლითონი რომელთანაც ჩვენ საქმე გვაქვს, შედგება უამრავი მონოკრისტალებისაგან, რომლებიც სხვადასხვანაირად არიან

<sup>1</sup> სიგრძის ერთეულია, რომელიც ტოლია სანტიმეტრის ერთი მეასმილიონედისა. აღინიშნება სიმბოლოთი  $\text{\AA}$ .

ორიენტირებულნი სივრცეში. მონოკრისტალთა ასეთ ერთობლიობას უწოდებენ პოლიკრისტალს (პოლი—ნიშნავს ბევრს), რომელიც სქემატურად ასე შეიძლება გამოისახოს (ნახ. 7). პოლიკრისტალი, რომელიც ქაოტიურად განლაგებულ ცალკეულ კრისტალებსაგან შედგება, ატარებს კვაზიიზოტროპიულ ბუნებას, ე. ი. ნებისმიერი მიმართულებით მოჩვენებითი ერთგვაროვანი თვისებისაა:



ნახ. 7. პოლიკრისტალის მოდელი.

ვინაიდან. ლითონთა მრავალ: თვისებათაგან ჩვენ უმთავრესად მათი დეფორმაციის უნარიანობა გვინტერესებს, ამიტომ გადავიდეთ მის განხილვაზე.

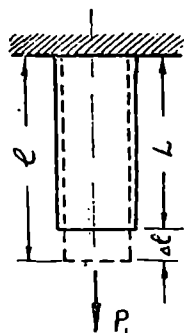
## § 2. დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაცია

სხეულზე გარკვეული სიდიდის ძალის მოქმედებით ვიწვევთ დეფორმაციას<sup>1</sup>, რაც მდგომარეობს მისი ზომის, ფორმისა და მოცულობის შეცვლაში.

დეფორმაციას, რომელიც გაქრება მისი გამომწვევი მიზეზის გაქრობასთან ერთად, ეწოდება დრეკადი, შექცევადი, ანუ დროებითი.

პლასტიკურს უწოდებენ ისეთ ნარჩენ დეფორმაციას, როდესაც რაიმე ძალის მოქმედებით სხეული იცვლის ფორმას და ინარჩუნებს მთლიანობას.

დრეკადი, პლასტიკური და საერთო დეფორმაციის ნათელსაყოფად განვიხილოთ ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ძელის გაჭიმვის პროცესი (ნახ. 8). მოქმედ ძალასა ( $P$ ) და ლითონის წაგრძელებას ( $\Delta l$ ) შორის დამოკიდებულებების ზოგადი სახე ნაჩვენებია მე-9 ნახ-ზე. ვთქვათ  $l$  სიგრძის ლითონის ძელზე მოქმედებს გამჭიმავი  $P$  ძალა.  $P$ -ს ნულოვან მნიშვნელობას შეესაბამება ძელის ზომები  $D$  და  $l$ .



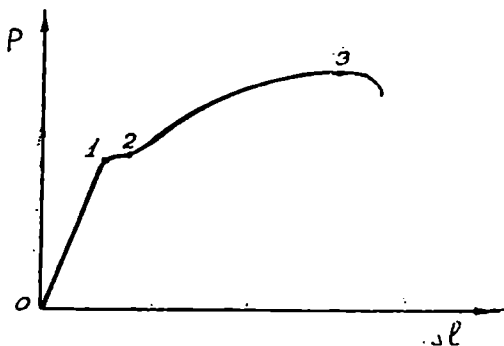
ნახ. 8. გაჭიმვის პროცესი.

გამჭიმავი ძალის ზრდით ნიმუში განიცდის წაგრძელებას და  $\Delta l$  თანდათან მატულობს. გარკვეულ მომენტამდე (იხილეთ წერტილი 1, ნახ. 9)  $P$  ძალის მოხსნისას ძელი კვლავ აღიღგენს პირვანდელ ზომებს. ამ პერიოდში ჩვენ ვიმყოფებით დრეკადობის

<sup>1</sup> რაიმე მიზეზის გამო სხეულის ფორმის ცვლილება.

ზღვრებში. განვიხილოთ ეს პერიოდი, ენახოთ რა მახასიათებლები გააჩნია მას და რა ცვლილებებს განიცდის ამ დროს ატომური გისოსი.

გარეშე ძალის მოქმედების შედეგად აღგილი აქვს ატომების წონასწორულ მდგომარეობიდან იძულებით გადახრას. ატომთა შორის მანძილის იძულებითი ცვლილება იწვევს სხეულის ზომის ცვლი-



ნახ. 9. გაჭიმვის დიაგრამა.

ლებას, ამით ირღვევა ატომთაშორისი ძალების წონასწორობა, რასაც მიეყვება სისტემის პოტენციალური ენერჯიის გაზრდისაკენ. კრისტალური გისოსის პოტენციალური ენერჯია პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით შეიძლება გამოვსახოთ, როგორც ორი წევრის ჯამი, რომელშიც პირველი შეესაბამება მიზიდვის, ხოლო მეორე განზიდვის ძალებს:

$$U = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}, \quad (1)$$

სადაც  $U$  არის პოტენციალური ენერჯია;

$A$  და  $B$ —მასალის შემადგენლობაზე დამოკიდებული მუდმივები;

$r$ —ატომთა შორის მანძილი;

$m$  და  $n$ —მუდმივები, რომლებიც დამოკიდებულია გისოსის ტიპზე; ლითონური გისოსისათვის  $m=1$  და  $n=3$ .

ფიზიკიდან ცნობილია, რომ როდესაც გისოსზე არაერთარი ძალა არ მოქმედებს (არც შინაგანი და არც გარეგანი, რომლებზედაც შემდეგ გვექნება საუბარი), მოცემულ ნივთიერებისათვის ალებულ ტემპერატურის დროს, ატომთა შორის მანძილი წარმოადგენს განსაზღვრულ სიდიდეს, რომელიც გისოსის პარამეტრად ითვლება. ამ სიდიდეს აღნიშნავენ  $r_0$ -ით და მას ატომთა შორის ნორმალურ

მანძილს უწოდებენ. ამ დროს კრისტალური გისოსი იმყოფება ნორმალურ ანუ წონასწორულ მდგომარეობაში და მას გააჩნია პოტენციალური ენერჯიის მინიმუმი:

$$U_{min} = -\frac{A}{r_0^m} + \frac{B}{r^n}. \quad (2)$$

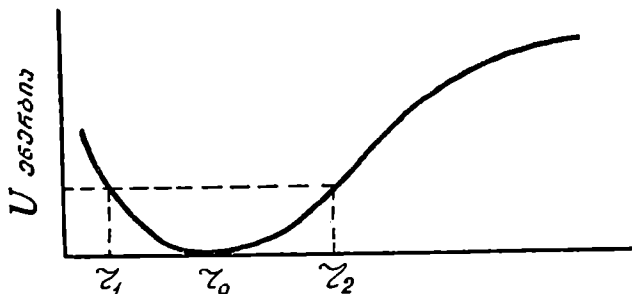
სისტემაზე გარეშე ძალის მოქმედების შედეგად იცვლება ატომთა შორის მანძილი. ამ შემთხვევაში ჩნდება პოტენციალური ენერჯიის ნაზრდი

$$\frac{dU}{dr} = \frac{A \cdot m}{r^{m+1}} - \frac{B \cdot n}{r^{n+1}} \quad (3)$$

ე. ი. სისტემა გამოდის წონასწორულ მდგომარეობიდან. თუ წონასწორულ მდგომარეობაში ადგილი ქონდა პირობას:

$$\frac{dU}{dr} = 0, \text{ ანუ } \frac{A \cdot m}{r_0^{m+1}} = \frac{B \cdot n}{r_0^{n+1}}.$$

ეხლა ეს პირობა დარღვეულია და მიზიდვის ძალები აქარბებენ განზიდვის ძალებს ( $r > r_0$ ) ანდა პირიქით ( $r < r_0$ ). პოტენციალური ენერჯიის  $-U$  ცვლილება შეიძლება გამოისახოს მრუდით (ნახ. 10).



ნახ. 10. პოტენციალური ორმო,  $r_0$ —გისოსის საწყისი პარამეტრი,  $r_1$  და  $r_2$ —გადახრის წერტილები.

ვინაიდან ყოველი სისტემა მიისწრაფვის მინიმალური პოტენციალური ენერჯიისაკენ, ამიტომ გარეშე ძალის მოხსნის შემდეგ თუ გისოსი ჯერ კიდევ დარღვეული არ არის, იგი ცდილობს აღადგინოს ატომებს შორის ნორმალური მანძილი ( $r_0$ ). სწორედ კრისტალური სისტემის ამ თვისებები გამო, ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული ძელი მოქმედი ძალის გარკვეულ სიდიდემდე გაზრდით და შემდგომ

შოხსნისას იბრუნებს თავის პირვანდელ ზომებს. ეს მოვლენა შეიძლება შევადაროთ ზამბარას მოქმედებას.

დაძაბულობასა და დრეკად დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება გამოისახება უმაღლესი ხარისხის მრუდით. განტოლება (4) ალებულ მომენტში წარმოადგენს

$$\frac{dU}{dr} = P = \frac{A \cdot m}{r^{m+1}} - \frac{B \cdot n}{r^{n+1}} \quad (4)$$

დაძაბული მდგომარეობის შინაგანი ძალის დამოკიდებულებას ატომთა შორის მახდილთან.

იენ შმა მრავალი ექსპერიმენტის შედეგად დაადგინა, რომ ხაზობრივი გაკიბვისას დრეკად დეფორმაციასა და დაძაბულობას შორის დამოკიდებულება შეიძლება წარმოადგენილი იქნას შემდეგი მწკრივით:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + K \frac{\sigma^2}{E^2} + \frac{\sigma^3}{E^3}, \quad (5)$$

სადაც  $\varepsilon$  არის დრეკადი ფარდობითი დეფორმაცია ( $\varepsilon = \frac{\Delta l}{L}$ );

$\sigma$  — ძაბვა კგ/მმ<sup>2</sup>;

$K$  — კოეფიციენტი და ლითონის გისოსისათვის უდრის  $5 \div 7$ ;

$E$  — იუნგის მოდული, კგ/მმ<sup>2</sup>.

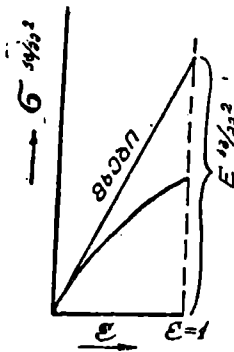
ამრიგად, ცნობილი კანონი. რომელიც 1676 წელს მოგვცა ინგლისელმა მეცნიერმა რობერტ ჰუკმა, რომლის თანახმადაც: „დრეკადი სხეულის დეფორმაცია პროპორციულია მოქმედი ძაბვისა“, ე. ი.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (6)$$

წარმოადგენს ძაბვასა და დრეკად დეფორმაციას შორის დამოკიდებულებით პირველ მიახლოებას. არსებული დამოკიდებულება საესებით აკმაყოფილებს პრაქტიკულ მოთხოვნილებებს და იგი ითვლება დრეკადობის ძირითად კანონად.

აღნიშნული კანონის თანახმად დრეკადობის ზღვრებში ძაბვასა და დეფორმაციას შორის გვაქვს სწორხაზობრივი დამოკიდებულება (ნახ. 9). ამ დამოკიდებულებაში დრეკადობის ან იუნგის მოდული, რომელსაც გრძივი დრეკადობის მოდულს უწოდებენ, წარმოადგენს პროპორციულობის კოეფიციენტს, რომლის ფიზიკური არსი მდგომარეობს შემდეგში: ფორმულიდან —  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$  ჩანს, რომ იუნგის მო-

დული წარმოდგენს ისეთ ძაბვას, რომელსაც შეესაბამება  $\varepsilon = 1$  მნიშვნელობა, ანუ 100%-ანი დეფორმაციის მნიშვნელობა. ყოველნიეთიერებას თავისი განსაზღვრული დრეკადობის მოდული გააჩნია, რომელიც აღებული ნიეთიერებისათვის დრეკადი დეფორმაციის ერთ-ერთ ძირითად კონსტანტად ითვლება.



ნახ. 11.

თუ სხეულს დეფორმაციის დასაწყისში არ გააჩნია  $\sigma$ -სა და  $\varepsilon$ -ს შორის მკვეთრად გამოსახული სწორხაზობრივი დამოკიდებულება (მრუდი 2, ნახ 1.1); მაშინ  $E$  ს გრაფიკულად პოენისათვის კოორდინატთა სათავეში ავლებენ მიღებული მრუდისადმი მხებს და აღმართავენ მართობს აბსცისის  $\varepsilon = 1$  წერტილიდან. ამ წრფეების გადაკვეთის წერტილის გეგმილი ორდინატზე იძლევა დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობას.

სხეულის დრეკადი თვისებები გარდა იუნგის მოდულისა ( $E$ ), ხასიათდება კიდევ დრეკადობის სამი კონსტანტით: პუასონის კოეფიციენტი ( $\mu$ ); განივი დრეკადობის მოდულით ( $K$ ).

პუასონის კოეფიციენტი (აღრე მას პუასონის მოდულს უწოდებდნენ) წარმოდგენს სხეულის ელემენტის განივი ფარდობითი დეფორმაციისა და მისი გრძივი ფარდობითი დეფორმაციის შეფარდებათა აბსოლუტურ მნიშვნელობას.

პირველად იგი შემოიღო ფრანგმა მეცნიერმა ს. პუასონმა. ცდები ამტკიცებს, რომ მართკუთხა პარალელეპიპედზე თუ მოქმედებს მხოლოდ  $\sigma_x$  ძაბვა  $x$  ღერძის მიმართულებით (ნახ. 12), მაშინ ამ ღერძის მიმართულებით ვამჩნევთ პარალელეპიპედის წაგრძელებას, ხოლო მართობული ღერძების მიმართ ( $y$  და  $z$ )—კუმშვას.

კოორდინატთა ღერძების გასწვრივ ფარდობითი დეფორმაციები შესაბამისად იქნება:

$$\varepsilon_x = \frac{a_1 - a}{a} > 0; \quad \varepsilon_y = \frac{b_1 - b}{b} < 0; \quad \varepsilon_z = \frac{c_1 - c}{c} < 0.$$

პუასონის კოეფიციენტი ტოლია:

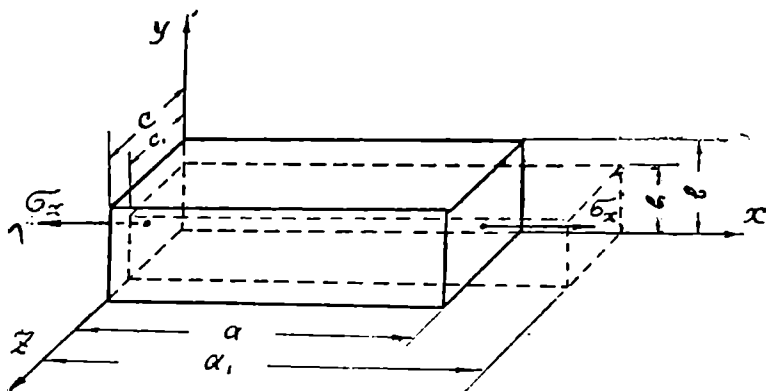
$$\mu_{yz} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}, \quad \text{ანუ } \mu_{yz} = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}.$$



იზოტროპული სხეულისათვის პუასონის კოეფიციენტი არ იცვლება არც ძაბვის ნიშნის შეცვლით და არც დეფორმაციის ღერძების შეცვლით, მაშასადამე:

$$\mu_{yz} = \mu_{xy} = \mu_{xz} = \mu.$$

გამოვიყენოთ პუასონის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა. ამ მიზნით გამოვიყენოთ იგივე მართკუთხა პარალელებიპედი



ნახ. 12.

და ლაგუშვათ, რომ მისი განიკვეთი იყოს კვადრატი, გვერდით— $b$ ; მოცულობა კი დეფორმაციამდე და მის შემდეგ მუდმივია, ე. ი.  $v = \text{const}$ ; დეფორმაციის შემდეგ განიკვეთი კვლავ კვადრატი რჩება, გვერდით— $b_1$ .

$x$  ღერძის, ანუ გრძივი მიმართულებით გაჭიმვის შემდეგ ფარლობითი წაგრძელება იქნება:

$$\epsilon_{3\alpha} = \frac{a_1 - a}{a} = \frac{\Delta a}{a};$$

$b$ —გვერდის ფარლობითი შემცირება იქნება:

$$\epsilon_{3\alpha} = \frac{b_1 - b}{b} = \frac{\Delta b}{b}.$$

მოცულობის მუდმივობის პირობიდან გამომდინარე:

$$ab^2 = a_1 b_1^2;$$

$$a_1 = a + \Delta a = a \left( 1 + \frac{\Delta a}{a} \right) = a(1 + \epsilon_{3\alpha});$$

$$b_1 = b - \Delta b = b \left( 1 - \frac{\Delta b}{b} \right) = b(1 - \epsilon_{3\alpha}).$$

ჩავსვათ  $a_1$  და  $b_1$ -ის მნიშვნელობანი:

$$ab^2 = a(1 + \varepsilon_{g_{ab}}) \cdot b^2(1 - \varepsilon_{g_{ab}})^2;$$

$$1 = (1 + \varepsilon_{g_{ab}}) \cdot (1 - \varepsilon_{g_{ab}})^2.$$

ვინაიდან ღრეკალი დეფორმაციები საერთოდ მცირეა, ამიტომ მათი კვადრატები შეიძლება უგულებელვყოთ და მივიღებთ:

$$1 = 1 - 2\varepsilon_{g_{ab}} + \varepsilon_{g_{ab}}^2$$

აქედან

$$\varepsilon_{g_{ab}} = \frac{\varepsilon_{g_{ab}}}{2}.$$

ამრიგად,

$$\frac{\varepsilon_{g_{ab}}}{\varepsilon_{g_{ab}}} = \frac{1}{2}.$$

მაგრამ ღრეკადობის თეორიიდან და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, ცნობილია, რომ ხაზობრივი გაჭიმვის დროს ფარდობითი შეკუმშვის შეფარდება ფარდობით წაგრძელებასთან, ანუ პუასონის კოეფიციენტი, ყოველთვის ნაკლებია ნახევარზე, ე. ი.

$$\frac{\varepsilon_{g_{ab}}}{\varepsilon_{g_{ab}}} = \mu < \frac{1}{2}. \quad (7)$$

ამრიგად, ირღვევა ჩვენს მიერ ზემოთ მიღებული მოცულობის მუდმივობის პირობა.

მაშასადამე, ღრეკალი დეფორმაცია მიმდინარეობს მოცულობის ცვლილებით და პუასონის რიცხვი სწორედ მოცულობის ამ ცვლილებების მაჩვენებელია.

გარდა იუნგის, ანუ გრძივი ღრეკადობის მოდულისა, რომელიც წარმოადგენს მასალის დაძაბულობის ფარდობას შესაბამის გრძივ დეფორმაციასთან, არსებობს კიდევ მოდული, რომელიც წარმოადგენს მხები/τ ძაბვის ფარდობას ძვრის იმ γ კუთხესთან, რომელზედაც მოქმედებს ეს ძაბვა; მას ძვრის მოდულს, ანუ განივი ღრეკადობის მოდულს უწოდებენ.

$$G_r = \frac{\tau}{\gamma}. \quad (8)$$

ღრეკადობის თეორიის რიგი ამოცანების გადაწყვეტისას შემოაქვთ კიდევ სიდიდე მოცულობითი კუმშვადობის (ან გაფართოების) მოდული  $K$ , რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას სამღერ-

მა თანაბარი კუმშვისა. ან გაკუმშვის შემთხვევაში დაძაბულობასა და მოცულობის ფარდობით ცვლილებას შორის.

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta V}{V \cdot \sigma} \quad (9)$$

დრეკადი დეფორმაციის ზემოთ ჩამოთვლილ მახასიათებლებს შორის გვაქვს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$1 + \mu = \frac{E}{2G} ; \quad (10)$$

$$K = \frac{EG}{3(3G - E)} \quad (11)$$

დრეკადობის მოდულებისა და პუასონის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობანი ზოგიერთი ლითონისათვის (ოთახის ტემპერატურაზე) მოყვანილია 1 ცხრილში.

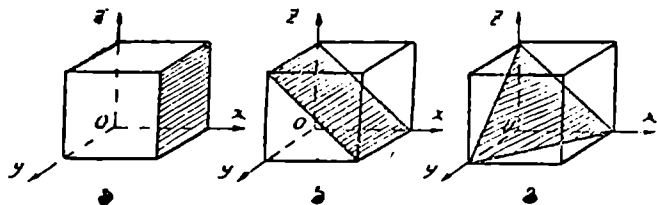
ცხრილი 1

მასალის დასახელება	იუნგის ანუ გრძივი დრეკადობის მოდული $E$ კგ/სმ <sup>2</sup> · 10 <sup>-8</sup>	ძვრის მოდული $G$ კგ/სმ <sup>2</sup> · 10 <sup>-8</sup>	პუასონის ანუ განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი $\mu$
თუჯი .	1,1	0,45	0,24
ფოლადი .	2,05	0,805	0,27
სპილენძი .	1,2	0,45	0,34
თითბერი .	1,0	0,36	0,39
ალუმინი .	0,72	0,27	0,34
ტყვია .	0,17	0,07	0,45
თუთია .	1,3	0,328	—
ვოლფრამი .	3,6	—	—
ოქრო .	0,81	0,28	0,42
ბკინა .	2,1	0,83	0,28
ვერცხლი .	0,81	0,29	0,38
პლატინა .	1,7	0,62	0,39
კალა .	0,55	0,181	0,33

დეფორმაციას, რომელიც რჩება მისი გამომწვევი მიზეზის მოხსნის შემდეგ ეწოდება ნარჩენი, შეუქცევადი, ანუ პლასტიკური. დეფორმაციის ეს სახე საწინააღმდეგოდ დრეკადობისა, ემყარება არა ატომთა შორის მანძილის ცვლილებას, არამედ ნაწილაკთა (მოლეკულათა და კრისტალთა აგრეგატების), ან ატომთა ურთიერთ მიმართ გადაადგილებას, ამიტომ ლითონთა პლასტიკური დეფორმაციისას სხეულის მოცულობა ძირითადად უცვლელი<sup>1</sup> რჩება. ვინაიდან პლას-

<sup>1</sup> მოცულობის მცირეოდენ ცვლილებას ადგილი აქვს სხეული ლითონის დეფორმაციისას, როცა მისგან აიროვანი ჩანარები იღვენება, და ლითონთა ცივად დეფორმაციისას, სადაც ადგილი აქვს ცივნაჭევლობას და კრისტალთშორის მიკრონაბზარების წარმოქმნას.

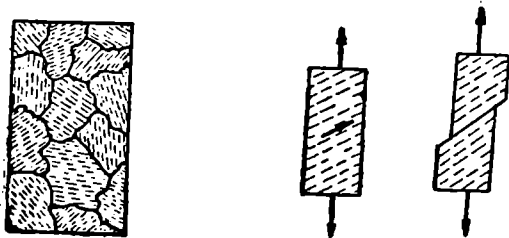
ტიკურ დეფორმაციას უოველთვის წინ უსწრებს დრეკადი დეფორმაცია, ამიტომ იგი ლითონებში იწყება მაშინ, როცა დრეკადი დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია მიაღწევს გარკვეულ მნიშვნელობას. პლასტიკური დეფორმაცია ძირითადად მიმდინარეობს გან-



ნახ. 13. დაცურების სიბრტყეები.

საზღვრულ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებში კრისტალშიგა დაცურებით (ნახ 13) და აგრეთვე გაორმაგებით. დაცურების სიბრტყეები ეწოდება ისეთ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებს, სადაც მოქმედ ძალებს შეუძლიათ გამოიწვიონ კრისტალთა ერთი ნაწილის გადაადგილება (დაცურება) მეორის მიმართ (ნახ. 14).

მიყენებული  $P$  ძალის გავლენით დაცურების სიბრტყეებში წარმოიქმნება ძვრის გამოძწევი, ანუ მხები ძაბვა ( $\tau$ ). ეს გადაადგილება რჩება გარეშე ძალის მოხსნის შემდეგაც. აღნიშნულ დაცურებას უმთავრესად ადგილი აქვს რამდენიმე სიბრტყეში ერთდროულად, ცხადია პირველად იმ სიბრტყეებში, რომლებსაც უფრო ხელსაყრელი განლაგება აქვთ მოქმედი ძალის მიმართ, ვინაიდან



ნახ 14. დაცურების მოდელი

როგორც შემდგომ განვიხილავთ, ამ სიბრტყეებში მხები ძაბვის სიდიდე უფრო მეტი გვაქვს, ვიდრე სხვა სიბრტყეებში.

როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია მონოკრისტალს გააჩნია ატომურ უჯრედთა წესიერი განლაგება და, მაშასადამე, დაცურების სიბრტყეების სიმეტრიული (თანაბარი) განლაგებაც, ხოლო პო-

ლიკრისტალში, როგორც ცალკეულ მონოკრისტალებსაგან შედგება, პირიქით დაცურების სიბრტყეთა ქაოტიურ განლაგებასთან გვაქვს საქმე.

ლითონი, რომელთანაც ჩვენ საქმე გვაქვს პრაქტიკაში პოლიკრისტალური აღნაგობისაა. იმისათვის, რომ კარგად გავიგოთ პოლიკრისტალის პლასტიკური დეფორმაციის ფიზიკური ბუნება, აუცილებელია ვიცოდეთ, თუ როგორ იცვლის თავის ფორმას პოლიკრისტალის ცალკეული მარცვალი—მონოკრისტალი.

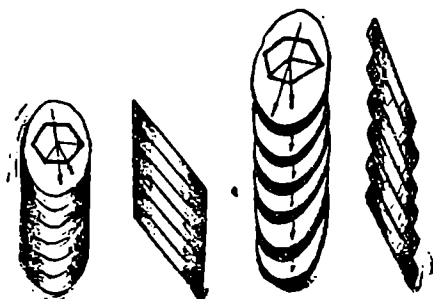
### § 3. მონოკრისტალის პლასტიკური დეფორმაცია

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ამჟამად შესაძლებელია მივიღოთ ცალკეულ ლითონთა მონოკრისტალი, ისეთი სიდიდისა, რომ მასში შეაძლებელი იყოს გამოვყოთ სპეციალური ნიმუშები ცალკეულ კრისტალში დეფორმაციის პროცესის შესასწავლად. ერთერთი ასეთი მონოკრისტალის მოდელი მოცემულია მე-15 ნახ-ზე.

ექსპერიმენტული გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ მონოკრისტალის პლასტიკური დეფორმაცია შეიძლება განვითარდეს ორი გზით:

პირველი მდგომარეობს მონოკრისტალის ერთი ნაწილის გადაადგილებაში მეორის მიმართ განსაზღვრულ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებში. ამ პროცესს ეწოდება ტრანსლიაცია, ანუ დაცურება (ძერა). ამ გზით ფორმაციების მსგავსი მოდელი წარმოდგენილია მე-15 ნახ-ზე, რომელიც გამოსახავს ჰექსაგონალური კრისტალის დაცურებას ბაზისის სიბრტყეებში მისი გაჭიმვის დროს. ბაზისის სიბრტყეში ჩახაზული ექვსკუთხედი გვიჩვენებს, რომ დაცურების მიჩართულება ზოგად შემთხვევაში არ

ემთხვევა ელიფსის დიდ ღერძს. როგორც თუთიის მონოკრისტალის გაჭიმვა ( $t = 300^\circ$ ) გვიჩვენებს (ნახ. 16) მოყვანილი მოდელი საკმარისად კარგად ასახავს სინამდვილეს.



ნახ. 15. თუთიის მონოკრისტალის გაჭიმვის მოდელი.

მეორე გზა, რომლითაც ვითარდება მონოკრისტალში პლასტიკური დეფორმაცია, ეს არის გაორმაგება. გაორმაგება მდგომარეობს კრისტალური გისოსის შემობრუნებაში გარკვეული ღერძის

მიმართ, რომელიც მდებარეობს ე. წ. გაორმაგების სიბრტყეში. გაორმაგების საუკეთესო სურათს იძლევა მი უ გეს მიერ კალციტის ( $\text{CaCO}_3$ ) კრისტალზე ჩატარებული ცდა (ნახ. 17), რომელიც მდგომარეობდა კრისტალის ორ პარალელურ ზედაპირებს შორის კუმშვაში (ისე როგორც ნახაზზეა მოცემული).



კუმშვის შედეგად კრისტალის ფორმის ცვლილება მოხდა გაორმაგებით და მიღებულ იქნა კრისტალის ერთი ნაწილის მეორის მიმართ სარკისებრი ანარეკლი. მე-18 ნახ-ზე მოცემულია ძვრისა და გაორმაგების სქემატური გამოსახულების შედარებანი და ატომური გისოსის კვანძების გადაადგილებანი ამ პროცესების დროს.

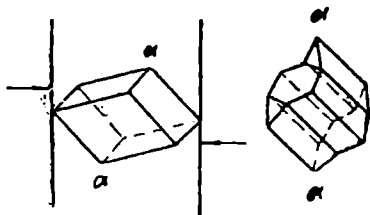
აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დეფორმაციის განვითარება ძვრით თუ გაორმაგებით დამოკიდებულია მასალის გვარობაზე და დეფორმაციის პირობებზე. ხშირად ორივე მოვლენა ერთდროულად ვითარდება, უფრო მეტიც, გაორმაგებას ყოველთვის თან სდევს გარკვეულ ფენებში ძვრის პროცესი. სუფთა ძვრა კი შეიძლება განვითარდეს გაორმაგების გარეშე.

ნახ. 16. თუთიის მონოკრისტალი გაჭიმული  $300^\circ$ -ზე (შმიდის და ბოლის მიხედვით).

როგორც აკად. ნ. ნ. დავიდენკოვის გამოკვლევები ცხადჰყოფს გაორმაგებისადმი მეტ მიდრეკილებას ამელავნებენ ჰეგსაგონალური და სივრცით დაცენტრებული გისოსები. დეფორმაციის სიჩქარის ზრდა და დაბალი ტემპერატურა აგრეთვე ხელს უწყობს გაორმაგების განვითარებას.

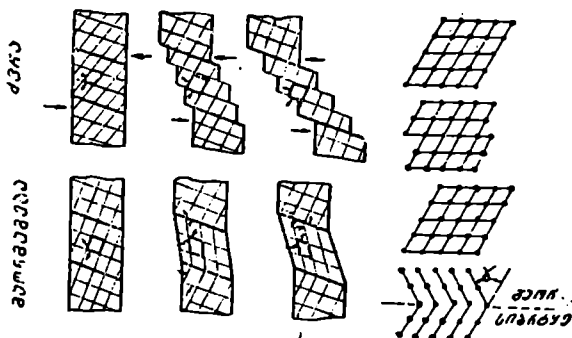
რიგ შემთხვევაში გაორმაგების დროს წარმოიქმნება მიკრო სიცარიელები ე. წ. როზეს არხები, რის შედეგადაც სხეულის მოცულობა მატულობს. მაგალითად, მიუგეს თეორიული გამოანგარიშებით რკინისათვის ამ ზრდამ შეიძლება მიაღწიოს  $50\%$ .

ძალის ის მნიშვნელობა, რომელიც საჭიროა ლითონურ მონოკრისტალში პლასტიკური დეფორმაციის დაწყებისათვის არ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, არამედ დამოკიდებულია მოქმედი გამკეი მავი ძალის მიმართ დაცურების სიბრტყეთა ორიენტაციაზე. პლასტიკური დეფორმაციის დროს მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს



ნახ. 17. კალციტის ორეულის მექანიკური წარმოქმნა (მიუგეს მიხედვით).

კრიტიკული მხები დაბეა  $\tau_c$ , ე. ი. დაბვის ის სიდიდე, რომელიც მოქმედებს ძვრის მიმართულებით და მის სიბრტყეში და რომლის მოქმედებითაც ჩნდება პირველი ნაჩენი დეფორმაცია.



ნახ. 18. ძვრისა და გაორმაგების სქემატური გამოსახულება (ზაქსის მიხედვით).

ვთქვათ (ნახ. 19) დაცურების სიბრტყე  $F'$  მონოკრისტალის ღერძის მიმართ, რომლის გასწვრივაც მოქმედებს გამპიმავე ძალა  $P$ , დახრილია  $\alpha$  კუთხით; დაცურება  $F'$  სიბრტყეში ხდება  $OB$  მიმართულებით, რომელიც გაკიშვის ღერძთან ჰქმნის  $\lambda$  კუთხეს.

როგორც ნახაზიდან ჩანს  $F$  და  $F'$  სიბრტყეები ურთიერთ დაკავშირებულია ფარლობით:

$$F = F' \sin \alpha.$$

$F$  ფართზე მოქმედი ძაბეა ტოლია

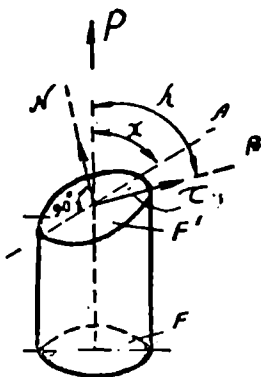
$$\sigma = \frac{P}{F},$$

ხოლო  $F'$  ფართზე

$$\sigma' = \frac{P}{F'} = \frac{P}{F} \cdot \sin \alpha = \sigma \cdot \sin \alpha.$$

$\sigma'$ -ის პროექცია  $N$  ნორმალზე იქნება ნორმალური ძაბეა ძვრის სიბრტყეზე:

$$\sigma_n = \sigma' \sin \alpha = \sigma \cdot \sin^2 \alpha.$$



ნახ. 19.

$\sigma'$ -ის პროექცია ძვრის მიმართულეებით იქნება მხები ძაბვა, რომლის მოქმედებითაც წარმოებს დაცურება:

$$\tau = \sigma' \cos \lambda = \sigma \sin \alpha \cdot \cos \lambda.$$

დაცურების სიბრტყეებში ძვრას მივიღებთ, მაშინ, როცა მხები ძაბვა მიაღწევს გარკვეულ სიდიდეს (ეს დამოკიდებულია მხოლოდ და მხოლოდ ლითონის გვარობაზე), რომელსაც კრიტიკულს უწოდებენ. კრიტიკული მხები ძაბვის  $\tau_{კ}$  გამომწვევი ნორმალური ძაბვა აღენიშნოთ  $\sigma_m$ -ით, მაშასადამე,

$$\tau_{კ} = \sigma_m \cdot \sin \alpha \cdot \cos \lambda, \quad (12)$$

აქედან

$$\sigma_m = \frac{\tau_{კ}}{\sin \alpha \cdot \cos \lambda}. \quad (13)$$

დაცურების სიბრტყეებში ძვრის დაწყება მასალის პლასტიკური დეფორმაციის, ანუ დენადობის დაწყების მაჩვენებელია. მაშასადამე,  $\sigma_m$  არის ის ძაბვა, რომელზედაც იწყება პლასტიკური დეფორმაცია. კრიტიკული მხები ძაბვა პრაქტიკულად დამოკიდებული არ არის მოქმედი ძალის მიმართ დაცურების სიბრტყეთა დახრის კუთხეზე. დაცურება იწყება კრიტიკული მხები ძაბვის ერთი და იგივე მნიშვნელობის დროს, მიუხედავად სიბრტყეთა დახრის კუთხის და ძვრის დასაწყისში ნორმალური ძაბვების სხვადასხვა მნიშვნელობისა.

პრაქტიკულად კუთხეები  $\alpha$  და  $\lambda$  მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და ანგარიშის დროს მათ ხშირად ტოლს იღებენ, ე. ი.

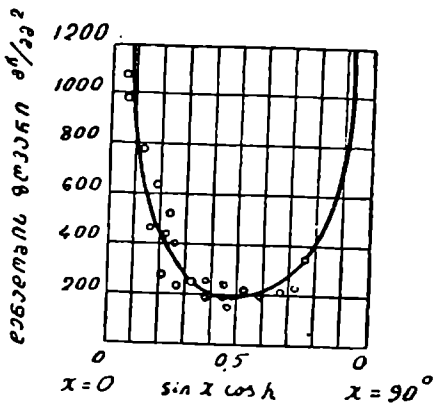
$$\alpha = \lambda.$$

როგორც მიღებული ფორმულებიდან ჩანს, როცა  $\alpha = 0$ , მაშინ  $\sin \alpha = 0$  და  $\tau = 0$ , ხოლო  $\sigma = \infty$ , ე. ი. შეუძლებელია, რომ ამ შემთხვევაში მიუხედავად  $\sigma_m$ -ის უსასრულო ზრდისა ძვრა მოხდეს. როცა  $\alpha = 90^\circ$ , მაშინ  $\cos \lambda = 0$  და  $\tau = 0$ , ე. ი. არც ამ შემთხვევაში მივიღებთ პლასტიკურ დეფორმაციას. კრიტიკული მხები ძაბვის მიღწევისათვის მინიმალური ნორმალური ძალაა საჭირო იმ შემთხვევაში, როცა  $\alpha = 45^\circ$ , ე. ი.  $\sin \alpha \cdot \cos \lambda = 0,5$ . მაშასადამე, პლასტიკური დეფორმაცია ყველაზე ადვილად განვითარდება იმ სიბრტყეებში, რომლებიც მოქმედი ძალის მიმართ ქმნიან  $45^\circ$  კუთხეს.

ამრიგად, ყოველივე ზემოაღნიშნულზე დაყრდნობით, როცა  $\tau_{კ} = \text{const}$  და ავაგებთ დაცურების სიბრტყეების დახრილობებთან  $\sigma_m$ -ის დამოკიდებულების მრუდს, მივიღებთ მე-20 ნახ-ზე გამოსახულ დამოკიდებულებას. დიაგრამაზე მოცემული წერტილები შეესაბამებიან თუთიის მონოკრისტალზე ჩატარებული ცდის შედეგებს.



ცდები გვიჩვენებს, რომ დეფორმაციის პროცესში (ოთახის ტემპერატურაზე) კრიტიკული მხები დაბვა განუწყვეტილვ იზრდება. დეფორმაციის ხარისხის ზრდასთან ერთად კრიტიკული მხები დაბვის ზრდის მოვლენას ეწოდება განმტკიცება, ანუ ცივნაჰედობა. განმტკიცების მოვლენას განსაკუთრებით ნათლად გვიჩვენებს განმტკიცების მრუდები კოორდინატთა სისტემაში, რომლის ორდინატზე გადაზოჰილია კრიტიკული მხები დაბვა ( $\tau_{კ}$ ), ხოლო აბსცისაზე კრისტალოგრაფიული ძერა ( $\alpha$ ), რომელსაც ზოგჯერ ხვედრით ძერას, ანუ დაცურებას უწოდებენ.



რას წარმოადგენს კრისტალოგრაფიული ძერა? ნახ. 20. დენადობის ზღვარის დამოკიდებულება დაცურების სიბრტყეთა ორიენტაციაზე.

კრისტალოგრაფიული ძერა ეწოდება მონოკრისტალის ღერძის სრული გადაადგილების ფარდობას კრისტალის დეფორმირებული ნაწილის გვერდითი კიღურა დაცურების სიბრტყეთა შორის მინიმალურ მანძილთან. ამ დროს დაცული უნდა იყოს პირობა, რომ სიბრტყეთა ორიენტაცია უცვლელია, ხოლო ღერძს შეუძლია გადაადგილება (ნახ. 21). მაშასადამე, კრისტალოგრაფიული ძერა უღრის

$$\alpha = \frac{S}{n} \tag{14}$$

დაცურების გეომეტრიიდან გამომდინარე განვსაზღვროთ (14) ფორმულის მარჯვენა მხარის მნიშვნელობანი.

მართკუთხა სამკუთხედ ABD-დან შეგვიძლია დავწეროთ

$$(S + B_0 D)^2 = e^2 - AD^2, \tag{15}$$

სადაც

$$DB_0 = l_0 \cos \lambda_0;$$

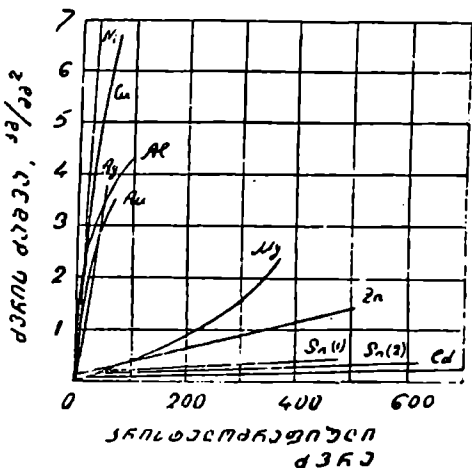
$$AD = l_0 \sin \lambda_0.$$

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობები (15)-ში, მივიღებთ:

$$(S + l_0 \cos \lambda_0)^2 = l^2 - l_0^2 \sin^2 \lambda_0.$$



სწორედ ამიტომ განმტკიცების მრუდებს ორნაირად გამოსახავენ: 1) როდესაც ძაბვას უკავშირებენ კრისტალოგრაფიულ ძვრას და 2) როცა ძაბვა დაკავშირებულია ხვედრით დეფორმაციასთან-



ნახ. 22. ლითონების კრისტალების განმტკიცების მრუდები.

22-ე ნახ-ზე მოცემულია სხვადასხვა ლითონის მონოკრისტალის განმტკიცების მრუდები, რომლებიც მიღებულია ოთახის ტემპერატურაზე გაკიმვისას.

რაც შეეხება მონოკრისტალის განმტკიცების მრუდის დახრის კუთხე აბსცისას ღერძთან, მით მალალია განმტკიცების ხარისხი, ანუ მასალის მიდრეკილება განმტკიცებისაკენ.

განმტკიცების მექანიზმი ჯერ კიდევ საკმარისად არ არის ნათელი, ვინაიდან თვით დაცურების მექანიზმი შეუსწავლელია. ტერმინი „დაცურება“ კი არ შეესაბამება რეალურ სინამდვილეს, ეს იქიდან ჩანს, რომ მხები ძაბვა, რომელიც საკიროა დაცურების განსახორციელებლად არ არის დამოკიდებული ნორმალური ძალის სიდიდეზე, მაშინ, როდესაც აღნიშნულ პირობას ადგილი არა აქვს ერთი სხეულის მეორეზე ჩვეულებრივი დაცურების დროს.

ამეამდ დაცურების განვითარების პროცესში მხები ძაბვის გაზრდის ამხსნელი სამი ჰიპოთეზი არსებობს.

პირველი ჯგუფის ჰიპოთეზის მომხრენი თვლიან, რომ განმტკიცება არის შედეგი კრისტალოგრაფიული ვისოსის დამახინჯებისას. სრიალის სიბრტყეთა არეში.

მეორენი პირველის საწინაღმდეგოდ თვლიან, რომ სრიალის შედეგად მცირდება სტრუქტურული არაერთგვაროვნობის ეფექტი, რის შედეგადაც იზრდება მხები ძაბვა და შესაბამისად განმტკიცება.

ბოლოს, მესამე ჰიპოთეზის მომხრენი თვლიან, რომ განმტკიცების მოვლენა თვით ატომებში მომხდარი ცვლილებების შედეგია.

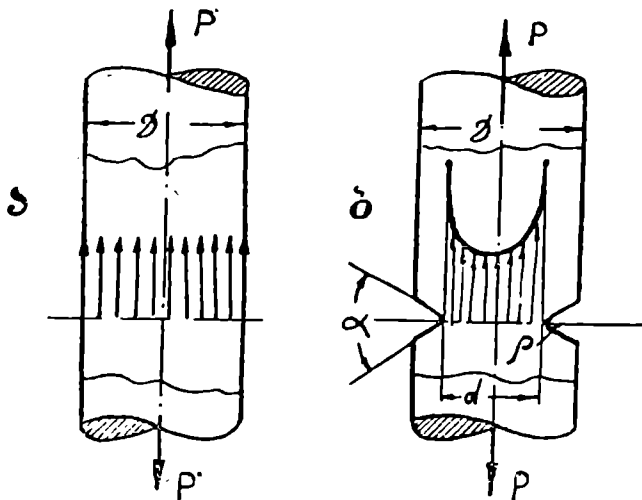
როგორც გაქიმვის დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 9) გადავიკლდებით რა დრეკადობის ზღვარს, ლითონის კრისტალებში იწყება დაცურება, ვინაიდან მხები ძაბვა მოქმედი დაცურების სიბრტყეში აღწევს თავის კრიტიკულ მნიშვნელობას, ხოლო შემდეგ, როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია დეფორმაციის პროცესში კრიტიკული მხები ძაბვის მნიშვნელობა მატულობს (განმტკიცება) და სულ უფრო და უფრო მეტი ძალა გვჭირდება დეფორმაციის განვითარებისათვის (მრუდი მიდის 3 წერტილისაკენ). ბოლოს დგება მომენტი, როცა სხეული, ვეღარ უძლებს გარკვეული სიდიდის ნორმალური და მხები ძაბვების მოქმედებას და ინგრევა. ნგრევა შეიძლება მოხდეს როგორც ნორმალურ, ისე მხები ძაბვების შედეგად იმისდა მიხედვით, თუ რომელი უფრო ადრე მიაღწევს ნგრევისათვის საჭირო კრიტიკულ მნიშვნელობას.

მეტად საყურადღებოა ის ფაქტი, რომელსაც ადგილი აქვს მონოკრისტალის ნგრევისათვის საჭირო კრიტიკულ ძაბვათა ნამდვილი და თეორიული მნიშვნელობების შედარების დროს. კრისტალის თეორიული სიმტკიცის ქვეშ გულისხმობენ იმ მნგრეველ დაძაბულობას, რომელიც მიიღება კრისტალური გისოსის ელექტრონული ძალების ურთიერთმოქმედებით. ამ გამოანგარიშების საფუძველზე ნამდვილ კრიტიკულ ძაბვათა (როგორც ნორმალური, ისე მხები) მნიშვნელობანი გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე მათი თეორიული სიდიდეები. ძირითადი მიზეზი ასეთი სხვაობისა, ყველაზე უფრო გავრცელებული აზრის თანახმად, ეს არის რეალურ კრისტალში სტრუქტურული არაერთგვაროვნობა. რეალური კრისტალი იმით განსხვავდება იდეალურისაგან, რომ მასში გვაქვს მთელი რიგი დეფექტები, როგორიცაა მიკროსიციარიელები, უცხო ატომების არსებობა და ორიენტირების დარღვევა.

თეორიული სიდიდის ძლიერ შემცირებაზე დიდ გავლენას ახდენს აგრეთვე კრისტალის ზედაპირული დეფექტები. როგორც აკად. ა. ფ. იოფეს გამოკვლევებმა გვიჩვენა, ეს გავლენა მეტად მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა. მან მოახდინა ქვამარილის მონოკრისტალის გაგლეჯა ჩვეულებრივად ჰაერზე და წყალში (წყალში გახსნის შედეგად შექცირებული იქნა ზედაპირული დეფექტები). აღმოჩნდა, რომ ჩვეულებრივ გაგლეჯისას საჭირო იყო არა უმეტეს 0,5 კგ/მმ<sup>2</sup>,

მაშინ, როდესაც კრისტალის წყალში გაგლეჯისათვის რიგ შემთხვევაში საჭიროა შეიქმნა 160 კგ/მ<sup>2</sup>. ძაბვის ეს უკანასკნელი მნიშვნელობა უახლოვდება თეორიულს, რომელიც დაახლოებით ტოლია 200 კგ/მ<sup>2</sup>.

აკად. ნ. ნ. დავიდენკოვისა და მისი სკოლის წარმომადგენლების მიერ ჩატარებული იყო მთელი რიგი ცდებისა ლითონური



ნახ. 23.

შონოკრისტალისა და პოლიკრისტალის ზედაპირული მოვლენების გავლენის შესახებ. გამოცდას აწარმოებდნენ არა ცილინდრულ, არამედ ჩაქრილ ნიმუშებზე (ნახ. 23). ასეთი ჩაქრით ვლდებულობთ ზედაპირის ხელოვნურ დეფექტს. ჩაქრის პარამეტრები შემდეგია:

$\alpha$  — ჩაქრის კუთხე;

$$\frac{D-d}{2} = h \text{ — ჩაქრის სიღრმე;}$$

$p$  — ჩაქრის წვეროს მომრგვალების რადიუსი.

ჩაქრის გავლენა მდგომარეობს შემდეგში: როდესაც ჩვენ ვკიბავთ ცილინდრულ ნიმუშებს, მასში ძალბაზები თანაბრად ნაწილდება (ნახ. 23 ა) და ძაბვაც კვეთის ყველა წერტილში თანაბარია. ჩაქრის შემთხვევაში კი ვლდებულობთ ძაბვების არათანაბარ განაწილებას, რასაც იწვევს ჩაქრის წვეროში ძაბვების კონცენტრაციის გაჩენა, ანუ ძაბვის გაზრდა მის საშუალო მნიშვნელობასთან შედარებით. ძაბვათა კონცენტრაციის არეში ნიმუში აღვილად მიდის ნგრევაამდე.

შინაგანი და გარეგანი დეფექტების გავლენის საუკეთესო მაგალითია ფოლადისა და თუჯის შედარება. მიუხედავად ერთნაირი ლითონური ფუძისა მათი თვისებები დიდად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან; ეს იმის გამო, რომ გრაფიტის სახით თუჯში არსებული ნაწილი ნახშირბადისა ასრულებს სწორედ ჩანაქრების როლს.

#### § 4. პოლიკრისტალური სხეულების პლასტიკური დეფორმაცია

ვიდრე შევეუდგებოდეთ პოლიკრისტალური სხეულების პლასტიკურობის შესწავლას, აუცილებელია აღინიშნოს მისი რიგი თავისებურებანი მონოკრისტალთან შედარებით. ასეთ თავისებურებათა რიცხვს ეკუთვნის: 1) ჩამოსხმის დეფექტები: ფორები, ჩანართები, აირის ბუშტულები, მიკრონაპრალები. რა თქმა უნდა ასეთი სახის დეფექტები შეიძლება მონოკრისტალშიც გვექონდეს, მაგრამ იქ მათი რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია ვიდრე პოლიკრისტალში. აღნიშნული დეფექტები მეტად დიდ როლს თამაშობენ პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში.

2) პოლიკრისტალური სხეულის არსებით მახასიათებლად ითვლება კრისტალზორისი ფენის არსებობა, რომლის ბუნებაც დღემდე საბოლოოდ არ არის დადგენილი. ინგლისელი ლითონმცოდნე ბეილი (1911) და მისი მიმდევრები აღიარებენ კრისტალზორისი ფენის ამორფულ ბუნებას. ბეილის აზრით პლასტიკური დეფორმაციისას დაცურების სიბრტყეებში ადგილი აქვს ამორფული ფენის წარმოქმნას. ეს ფენა სწრაფად განიცდის გამყარებას და კრისტალის ნაწილებს აკემენტებს, ამით ავტორი შეეცადა აეხსნა განმტკიცების მოვლენა. შემდგომი დაცურება მიმდინარეობს სხვა სიბრტყეებში, სადაც ჯერ არ წარმოქმნილა ამორფული ფენა, ასე თანდათანობით კრისტალური მასალა გადადის ამორფულში და ლითონი ხდება მყიფე.

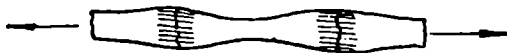
ამორფული შრეთა თეორიის წინააღმდეგ მრავალი დამაჯერებელი მოსაზრება არსებობს. პირველ რიგში საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ რენტგენით სტრუქტურული ანალიზი პლასტიკური დეფორმაციის უდიდეს ხარისხების დროსაც კი გვიჩვენებს ლითონის კრისტალურ ბუნებას. მაგალითად, 200000-ჯერ გამოკიმული ვოლფრამის მავთული რენტგენოგრაფიაზე მკვეთრ კრისტალურ სტრუქტურას იძლევა, მაშინ როდესაც ბეილის აზრით მთლიანად ამორფულ მდგომარეობაში უნდა გადასულიყო.

კრისტალზორისი ფენის შესახებ უფრო რეალური აზრი ეკუთვნის ტამანს (1922), რომლის მიხედვითაც ეს ფენა შედგება ლითონში უხსნად ან ძნელადხსნადი მინარეებისაგან (სულფიდები,

ოქსიდები, კარბიდები და სხვ.). ეს მინარევეები კრისტალიზაციის დროს განიდეფნებიან და ქმნიან მარცვლების ირგვლივ შრეებს. ტამანის გამოკვლევების თანახმად სხვადასხვა ლითონებისათვის ფენის მექანიკური თვისებები მეტ-ნაკლებად განსხვავდება მის მარცვალთა მექანიკური თვისებებისაგან. მაგალითად, ოქროსა და სპილენძის მარცვალში ჯერ ძვრის ხაზები ჩნდება, ხოლო შემდეგ იწყებს კრისტალი გადაადგილებას. რკინას, ნიკელს, თუთიას, მაგნიუმს, კალას, ალუმინს და კადმიუმს პირიქით. ვერცხლის მარცვალს და მის ფენას თითქმის ერთნაირი სიმტკიცე გააჩნიათ.

პლასტიკური დეფორმაციის განვითარებაზე, რა თქმა უნდა, ტამანის ფენებს გადაწყვეტი გავლენა არ აქვს, ვინაიდან მათი თვისებები დიდად არ განსხვავდებიან მარცვალთა თვისებისაგან. ისე, რომ დაცურება ერთშიც და მეორეშიც შეიძლება დაიწყოს ერთდროულად თუ საამისო პირობები გააჩნიათ. ცალ-ცალკე მათ დეფორმაციაზე ლაპარაკი ნაკლებ დასაჯერებელია.

პოლიკრისტალურ სხეულებში დეფორმაციის მოვლენაზე განსაკუთრებით არსებით გავლენას ახდენს ის გარემოება, რომ პოლიკრისტალში მარცვლები ერთმანეთს ეხებიან სხვადასხვა ორიენტირების კრისტალური გისოსით, როგორც ეს მოცემულია მე-7 ნახ-ზე. ცხადია, სხვადასხვა ორიენტაციის გისოსთა შეხების არეში ადგილი აქვს ძალოვანი ველის დარღვევას, რასაც მივყევართ დამატებითი სიმტკიცისაკენ, ე. ი. შეხების საზღვართან ახლოს გვაქვს გაძნელებული დეფორმაციის ზონა. ამის საილუსტრაციოდ საკმარისია მოვიყვანოთ საიქსისის (1920) და ზაქსისის (1925) მიერ ჩატარებული ცდები მოლიბდენისა და ალუმინის მსხვილმარცვლოვან მავთულებზე. ცალკეულ მარცვლებს უკავიათ მავთულის მთელი განივკვეთი. მოახდინეს მავთულის გაკვიმვა და შესამჩნევი გახდა, რომ მარც-



ნახ. 24. მსხვილმარცვლოვანი ლითონის მავთულის გაკვიმვის სქემა (გაძნელებული დეფორმაციის ზონები და შტრიხულია).

ვალთა საზღვრები მართლაც ხელს უშლიან დეფორმაციის განვითარებას (ნახ. 24).

3) საბოლოოდ, აღსანიშნავია კიდევ ერთი თავისებურება პოლიკრისტალური სხეულისა—მისი კვაზიზოტროპიულობა. თვითეული კრისტალი როგორც ვიცით ანიზოტროპიულია, ე. ი. სხვადასხვა მიმართულებით გააჩნია სხვადასხვა თვისებები. პოლიკრისტა-

ლური სხეული კი, რომელიც შედგება უამრავი ქაოტურად განლაგებულ მარცვლებისაგან, ამჟღავნებს სხვადასხვა მიმართულებით: საშუალოდ ერთნაირ თვისებებს. ეს კვაზიზოტროპიულობა შეიძლება მოისპოს ზოგიერთ პირობებში, მაგალითად, დიდი დეფორმაციის დროს. როდესაც სხვადასხვანაირად ორიენტირებული მარცვლები შემობრუნდებიან და მიიღებენ თითქმის ერთნაირ ორიენტირებას; ამ დროს ვიღებთ ე. წ. ტექსტურას. სხეული, რომელსაც ტექსტურა გააჩნია უკვე ანიზოტროპიული ბუნებისაა.

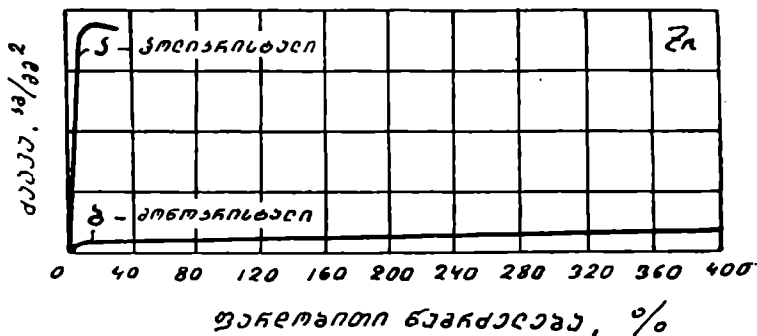
განვიხილოთ დაწვრილებით თუ როგორ მიმდინარეობს პოლიკრისტალურ სხეულში დეფორმაცია.

პოლიკრისტალურ სხეულზე გარეშე ძალის მიყენებისას პირველ რიგში დეფორმაციას განიცდის ის კრისტალიტები, რომელთა დაცურების სიბრტყეებიც ყველაზე ხელსაყრელად არიან განლაგებული მოქმედი ძალის მიმართ, ე. ი. სიბრტყეები, რომლებიც მოქმედი ძალის მიმართულებასთან დახრილი არიან  $45^{\circ}$ -ით. ეს რომ ასეა, ამას ისიც ადასტურებს, რომ ლითონის დეფორმაციისას მის ზედაპირზე აშკარად ჩნდებიან მუქი ხაზები, რომლებიც ზუსტად  $45^{\circ}$  ით არიან დახრილი მოქმედი ძალის მიმართ (განსაკუთრებით აზობრივი გაქიშვის დროს). ამ ხაზებს უწოდებენ ძვრის, ანუ დაცურების ხაზებს. იგი პირველად შემჩნეული იქნა საარტილერიო ნალმებზე 1884 წელს დ. კ. ჩერნოვის მიერ. ამიტომ მას ჩერნოვის ხაზებს უწოდებენ. ლიტერატურაში ხშირად ნახავთ სახელწოდებას — ჩერნოვ-ლუდერსის ხაზები. ასეთი ხელსაყრელად განლაგებული მარცვლების დეფორმაციას ხელს უშლის მეზობელი მარცვლები, სადაც დაცურების სიბრტყეები განლაგებულნი არიან სხვაგვარად. პირველი მარცვალი ცდილობს გარეშე ძალის მოქმედებით განიცადოს დეფორმაცია და ახდენს მეზობელ მარცვლებზე დაწოლას. ეს უ ანასნელნიკ თავის მხრივ უწყვეტ წინააღმდეგობას და ქმნიან დამატებით გვერდით წნევას. ამრიგად, ყოველი მარცვალი აღმოჩნდება საკმარისად რთულ. დაძაბულ მდგომარეობაში, რომელიც ხელს უშლის ძვრის განვითარებას. სწორედ ეს არის ძირითადი მიზეზი იმისა, რომ პოლიკრისტალი დეფორმაციისადმი მეტ წინააღმდეგობას იჩენს ვიდრე მონოკრისტალი.

რაც მეტი დაცურების შესაძლებლობა ექნება ცალკეულ კრისტალს, მით ნაკლებ დამუხრუჭებას განიცდის ცალკეული მარცვალი და მით ნაკლებად იქნება განსხვავება პოლიკრისტალისა და მონოკრისტალის თვისებებს შორის. ლითონებმა, რომელთაც ერთი დაცურების სიბრტყე გააჩნიათ (მაგალითად, ჰეგსაგონალური სისტემა) უნდა მოგვცენ ყველაზე დიდი სივარობა მონო და პოლიკრისტალთა თვი-

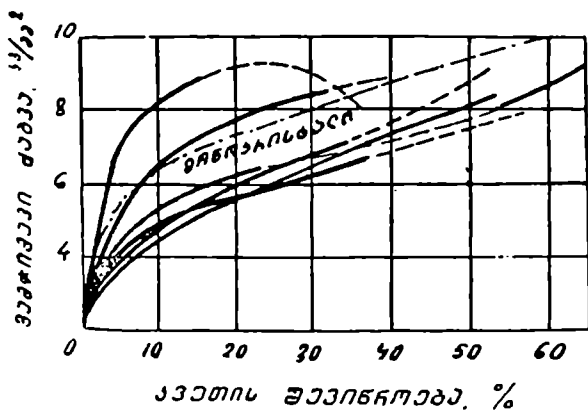


სებებს შორის და პირიქით, ლითონებმა, რომელთაც გააჩნიათ მეტო  
რაოდენობა დაცურების სიბრტყეებისა (როგორცაა კუბური სისტე-  
მები), უნდა მოგვეცენ ნაკლები სხვაობა მონო და პოლიკრისტალთა



ნახ. 25. თუთიის მონოკრისტალის (ბ) და პოლიკრისტალის (ა) გაჭიმვის მრუდები (პოლიანის და შმიდის მიხედვით).

თვისებებს შორის. 25-ე და 26-ე ნახ-ზე კარგად არის ილუსტრირებული ეს მოსაზრება. თვით დეფორმაციის პროცესი ცალკეულ მარცვ-



ნახ. 26. ალუმინის პოლიკრისტალის და სხვადასხვა ორიენტაციის მისივე მონოკრისტალის გაჭიმვის მრუდები.

ლებში ვითარდება იმავე გზით, როგორც მონოკრისტალში, ე. ი. ძვრით ანუ დაცურებით და გაორმაგებით.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ იმ შემთხვევაში როცა ძვრის გან-

ვითარება შეუძლებელია მეზობელ მარცვალთა ბლოკირების გამო, სკარბობს გაორმაგების პროცესი. მაგალითად, დეფორმირებულ თუთიაზე ძალიან ხშირად ცალკეულ კრისტალიტებში ანჩხევენ ორეულებს

პოლიკრისტალური სხეულის დეფორმაცია, გარდა ჩვენთვის ცნობილი მეთოდებისა — ძვრა და გაორმაგება, რომელსაც კრისტალში გა დეფორმაციას უწოდებენ, შეიძლება განვითარდეს მარცვალთა ერთიმეორის მიმართ გადაადგილებით, რომელსაც უწოდებენ კრისტალთა შორისო დეფორმაციას.

კრისტალთშორისო დეფორმაციის დროს ცხადია, შეუძლებელია საკმარისი ფორმაცელების მიღება, ვინაიდან პოლიკრისტალში მარცვალთა მნიშვნელოვანი გადაადგილება არ ხდება. ერთი მარცვლის გადაადგილებას მეორის მიმართ ხშირად მივყევართ მარცვალთა საზღვრების დარღვევამდე, ვიდრე ის მნიშვნელოვან სიდიდეს მიაღწევდეს. ამ საზღვრების დარღვევით პოლიკრისტალის სიმტკიცე, საგრინობლად ეცემა, რაც საერთოდ მასალის დარღვევას იწვევს. ამიტომ ლითონური პოლიკრისტალის ფორმის ცვლილების ძირითად ხერხს წარმოადგენს ძვრა, ანუ დაცურება. შედარებით ნაკლებ როლს ასრულებს გაორმაგება. რაც შეეხება კრისტალთა შორის დეფორმაციას, იგი მეტად მანე მოქმედებას ახდენს ლითონის სიმტკიცეზე, მისი განვითარება შეიძლება რიგ შემთხვევაში განვიხილოთ, როგორც ნგრევის დასაწყისი.

კრისტალთა შორისო დეფორმაციის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა შემდეგი პირობები:

1) შევქმნათ ისეთი დეფორმაციის მექანიკური სქემა, სადაც არ გვექნება გამჭიმავი ძაბვები, ანდა თუ გვექნება, მინიმალური მნიშვნელობით. ყველაზე ხელსაყრელ სქემად ითვლება ყოველმხრივ არათანაბარი კუმშვა, ასეთი სქემის პირობებში როგორც კარმანის<sup>1</sup> ცდებიდან ჩანს, მარმარილოც კი იჩენს დეფორმაციის უნარს.

2) ისეთი პირობების შექმნა, რომელიც ხელს შეუწყობს ძაბვათა თანაბარ განაწილებას. ძაბვათა არათანაბარი განაწილება იწვევს დამატებითი ძაბვების გაჩენას, რის გამოც შეიძლება მივიღოთ ადგილობრივი გამჭიმავი ძაბვები, რომლებიც ხშირად შეიძლება საკმარისი სიდიდისა იყოს.

3) პლასტიკური დეფორმაციისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ პოლიკრისტალი წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურით. როგორც ცნობილია, მარცვლებს შორის მოქმედი ძალები ორგვარი ბუნებისაა:

<sup>1</sup> იბ. შემდეგ თავში.

ა) ელექტროძალები, რომლებიც განპირობებულია არიან კრისტალოგრაფიული გისოსების ურთიერთქმედებით და ბ) სუფთა მექანიკური ბუნების ძალები, რომლებიც სწორედ მარცვალთა სიდიდებზეა დამოკიდებული. ლითონი რაც წვრილმარცვლოვანია, მით ნაკლებ მოსალოდნელია მარცვალთა ურთიერთ გადაადგილება, ვინაიდან მით მეტია მარცვალთა საერთო შეხების ფართი და, მაშასადამე, მარცვალთა შორის მოქმედი ძალებიც. მარცვლებს შორის მოქმედი ძალები პროპორციულია მარცვლის ზედაპირისა და უკუპროპორციულია მისი მოცულობისა. ვთქვათ გვაქვს იდეალური სფერული მარცვალი, ჩვენთვის საინტერესო ზედაპირისა და მოცულობის ფარდობა იქნება:

$$\Delta = \frac{s}{v} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = 3 \cdot \frac{1}{r}.$$

ამრიგად, მარცვლის რადიუსის შემცირებით მოცემული ფარდობა იზრდება. მაშასადამე, იზრდება მარცვლებს შორის მოქმედი ძალებიც. სხვანაირად, რაც უფრო წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურაა, მით უფრო მტკიცეა პოლიკრისტალური სხეული.

ძირითადად პრაქტიკული გამოყენება აქვთ ლითონებს, რომელთა მარცვლის დიამეტრი იცვლება 1 მმ-დან 0,01 მმ-მდე. უშთავრესად უპირატესობას ანიჭებენ უფრო წვრილ მარცვლებს. მაგალითად, ფურცლოვან მასალას, რომელიც იხმარება ტვიფერაში, აუცილებელია ჰქონდეს წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა, ვინაიდან მხოლოდ ამ დროს მიიღება ხარისხიანი ნატეფერი.

#### **§ 5. ტემპერატურისა და დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა კოლიკრისტალური სხეულების პლასტიკურ დეფორმაციაზე**

ტემპერატურისა და სიჩქარის სხვადასხვა ზღვრებში ლითონის თვისებების შესწავლას მეტად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ლითონს დამუშავების მთელ რიგ შემთხვევებში თუ სამსახურის პირობებში უხდება ამა თუ იმ ტემპერატურასა და დეფორმაციის სიჩქარის მოქმედების ქვეშ ყოფნა. მიუხედავად ამისა ლითონის ქცევა დასახელებულ პირობებში ჯერ კიდევ საკმარისად არ არის შესწავლილი, ისე, რომ შესაძლებელი იყოს ნებისმიერ პირობებში მისი თეორიულად ზუსტად განსაზღვრა და კონსტრუქტორისათვის აუცილებელი საანგარიშო ფორმულების მიცემა. მაგალითად, ნაკლებად არის შესწავლილი ანალიზური დამოკიდებულება დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობასა და ტემპერატურას შორის, დეფორმირებული სხეულის გეომეტრიასა და ტემპერატურული სიჩქარის ფაქტორს შორის და სხვ.

ამის მიზეზი მდგომარეობს იმაში, რომ მაღალი ტემპერატურისას პლასტიკურ დეფორმაციას თან სდევს მთელი რიგი დამატებითი მოვლენები, რომელთა მხედველობაში ძილება ც რიგ შემთხვევაში ძნელდება, ხოლო ძათი მნიშვნელოვანი ნაწილი ჯერ კიდევ საკმარისად არ არის შესწავლილი. ამ მოვლენათა რიცხვს ეკუთვნის: დასვენება, მოშვება, განმტკიცება, რეკრისტალიზაცია, დაიერება, სხვადასხვა ფაზური გარდაქმნები და სხვ.

ტექნიკაში ლითონთა დამუშავებას და დეფორმირებას, ჩვეულებრივად, ყოფენ ცხლად და ცივად. დეფორმაციის პროცესში ლითონში მიძინარეობს ორი მოვლენა: განმტკიცება და დასვენება (მაღალ ტემპერატურაზე რეკრისტალიზაცია). განმტკიცების სრული ძოხსნა შესაძლებელია მხოლოდ რეკრისტალიზაციით. ცივ დამუშავებად მიღებულია ისეთი, რომლის დროსაც დასვენება არახსნის განმტკიცებას, და ლითონი დამუშავების შემდეგ რჩება განმტკიცებულ, ანუ ცივნაქედ მდგომარეობაში. ცხლად დამუშავებას უწოდებენ ისეთს, რომლის დროსაც დეფორმაცია პროცესში განმტკიცება იხსნება დასვენებითა და რეკრისტალიზაციით.

გაიფიხილოთ დასვენებისა და რეკრისტალიზაციის მოვლენები ცალ-ცალკე.

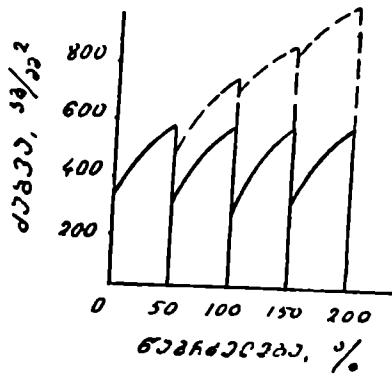
დასვენების (დაბრუნების) მოვლენა შესამჩნევად ვლინდება (0,25—0,3)  $T_{\text{გ}}$  (დნობის აბსოლუტური ტემპერატურა) ტემპერატურაზე და ზემოთ, ხოლო რეკრისტალიზაცია 0,4  $T_{\text{გ}}$  ზემოთ. ზოგჯერ რიცხვები ეკუთვნის სუფთა ლითონებს, მცირეოდენი მიხარვეცი ჩვეულებრივად ზრდის ამ ტემპერატურებს.

დასვენების მოვლენა სქემატურად შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ: დეფორმირებული ლითონის გახურებისას შესაბამის ტემპერატურამდე მატულობს ატომთა კინეტიკური ენერჯია და ძლიერდება მათი თბური რხევები. ამის შედეგად ატომები უბრუნდებიან შინიძალური პოტენციალური ენერჯიის შესაბამის მდგომარეობას. ამრიგად, დასვენების (დაბრუნების) მოვლენა მდგომარეობს ატომთა წონასწორობის მდგომარეობისაკენ დაბრუნებაში, რასაც თან სდევს ნარჩები დაბრუნების ნაწილობრივი ძოხსნა.

დასვენება არ ცვლის ძარცვლის ფორმას და არც მის ორიენტირებას, რომელიც დეფორმაციით იქნა მიღებული. აგრეთვე არ აღადგენს კრისტალთშოროსო და კრისტალშიგა დარღვევებას.

მონოკრისტალის დასვენების მოვლენას კარგად გვიჩვენებს თუთიის კრისტალზე ოთახის ტემპერატურაზე ჩატარებული ცდა შუალედური დაყოვნებებით (ნახ. 27). ეს ცდა იმის ძაჩვენებელია, რომ 24 საათიანი პაუზების შემთხვევაში შეგვიძლია განვაფიქროთ დეფორმაცია დატვირთვის გაზრდის გარეშე. ტემპერატურის გაზრდით ეს პაუზები მცოიოდება.

თუ განვიხილავთ პოლიკრისტალის დეფორმაციას, მაშინ დეფორმაციის ტემპერატურის გაზრდით, და შესაბამისი სიჩქარის შერჩევით, შეიძლება შევქმნათ ისეთი პირობები, რომლის დროსაც პოლიკრისტალში ერთდროულად განვითარდება ორი მოვლენა: განმტკიცება (ცივნაქედობა) და დასვენება (დაბრუნება). ამ შემთხვევაში დასვენების მოვლენის დაწინაურება იქნება დამატებითი დაძაბულობების მოხსნა, რაც ხორციელდება ატომთა გაძლიერებული თბური მოძრაობით. დასვენებით გამოწვეული ცვლილებები მიკროსკოპის ქვეშ შეუმჩნეველია, ვინაიდან ის სტრუქტურაზე არ მოქმედებს, დაკვირვება შეიძლება მხოლოდ რენტგენოგრაფიაზე და აგრეთვე ზოგიერთ თვისებების ცვლილებაზე. მაგალითად, შემჩნეულია, რომ დაბრუნებისას მცირდება ცივნაქედი ლითონის დენადობის ზღვარი და სიმტკიცე, ე. ი. თითქოს ლითონი ცდილობს დაუბრუნდეს პირვანდელ არაგანმტკიცებულ მდგომარეობას (აქედან წარმოდგება ტერმინი—დაბრუნება). მაგრამ ეს ისე არ უნდა გავიგოთ, თითქოს დასვენებას შეეძლოს ცივნაქედობის მთლიანად მოხსნა.



ნახ. 27. თუთიის გაკეცვა დაყოვნებით შიშის და ბუასის მიხედვით.

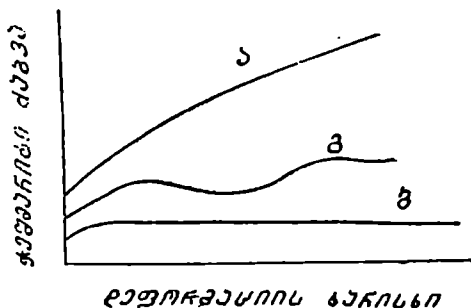
ამრიგად, დეფორმაციის პროცესში ცივნაქედობისა და დასვენების არსებობა წარმოადგენს საერთო ხასიათის მოვლენას. რეკრისტალიზაციის მოვლენა მდგომარეობს იმაში, რომ დაწყებული გარკვეული ტემპერატურიდან, წარმოებს დეფორმირებული მარცვლის ფორმისა და სიდიდის ცვლილება, რაც ხორციელდება ატომთა კინეტიკური ენერჯიის მნიშვნელოვანი გაზრდის შედეგად, მათი ადგილების ინტენსიური გაცვლით. უნდა ითქვას, რომ აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს გარკვეულ დროში და მით უფრო სწრაფად, რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა.

რეკრისტალიზაციას აქვს ორი სტადია: პირველ სტადიაში წარმოებს დეფორმირებული მარცვლის სახის შეცვლა, ე. ი. ჩანასახების გაჩენა, მათი ზრდა და დეფორმირებული სტრუქტურის ცვლი-

ლება; მეორე სტადიაში კი წარმოებს შეცვლილი სტრუქტურის მარცვალთა გაზრდა.

რეკრისტალიზაციას მიეყვება ნარჩენი დაძაბულობის შემდგომი მოხსნისაკენ და მარცვალთა ფორმის ცვლილებისაკენ. წაგრძელებული ფორმის მარცვლები მიიწრაფვიან სფეროიდალური ფორმისაკენ. გარდა ამისა რეკრისტალიზაცია აწესრიგებს რა მარცვალთა განლაგებას, სპობს ანიზიტროპიას. რეკრისტალიზაციის შედეგად: 1) მნიშვნელოვნად მცირდება დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა; 2) იზრდება პლასტიკური თვისებები; 3) თითქმის მთლიანად იხსნება ცინაქედობა და მისი შედეგები.

პოლიკრისტალებში რეკრისტალიზაცია ისევე როგორც დაბრუნება და განმტკიცება თვით დეფორმაციის პროცესში მიმდინარეობს. ამას აკად. ს. ი. გუბკინი შემდეგნაირად ხსნის: პოლიკრისტალებში განმტკიცების პროცესისა და მისი საწინააღმდეგო პროცესების (დაბრუნება და რეკრისტალიზაცია) ერთად შეთავსება სავსებით შესაძლებელია იმიტომ, რომ პოლიკრისტალური კონგლომერატის მრავალრიცხოვანი მარცვლების ჯერ ერთ ნაწილში განვითარდება განმტკიცების პროცესი, ხოლო მეორე ნაწილში, რომელმაც უკვე განიცადა განმტკიცება—დასვენება და რეკრისტალიზა-



ნახ. 28. ცინაქედობის გაუქმება კუმმარტი წინააღმდეგობის მრუდებზე.

ცია. დასაწყისში დეფორმაციას მიიღებენ ხელსაყრელად განლაგებული მარცვლები, ხოლო შემდეგ სხვები. ცინაქედობის, დაბრუნებისა და რეკრისტალიზაციის ერთდროულობის საუკეთესო ილუსტრაციას იძლევა დეფორმაციის პროცესში ინდიკატორული დიაგრამის ავტომატური ჩანაწერი, რომლის საფუძველზეც აგებენ კუმმარტი დაძაბულობათა მრუდებს. (ნახ. 28). თუ მრუდი დეფორმაციის ხა-

რისხის ზრდასთან ერთად მალღდება, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა მატულობს, ე. ი. ადგილი აქვს განმტკიცებას (მრუდი ა). თუ მრუდი აბსციისის ღერძის პარალელურად მიდის, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ განმტკიცებას არა აქვს ადგილი (მრუდი ბ). თუ მრუდს აქვს არასწორი სვლა (მრუდი გ), ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ერთდროულად ვითარდება, როგორც განმტკიცება, ისე მისი საწინააღმდეგო პროცესები.

ვინაიდან ტემპერატურის გავლენაზე გვაქვს საუბარი, არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ სხეულის ფორმაცვლილებების ერთ-ერთი სახე, რომელიც უშუალოდ ტემპერატურასთან არის დაკავშირებული და რომელსაც თერმულ პლასტიკურობას უწოდებენ.

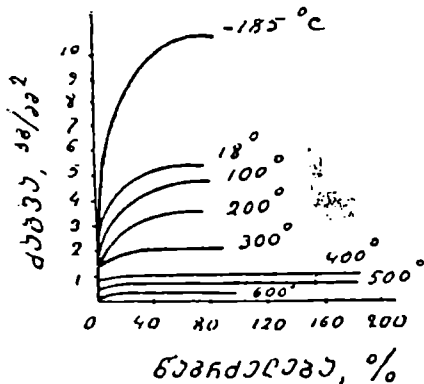
თერმულ პლასტიკურობას სხეული იჩენს მაღალ ტემპერატურაზე, როდესაც მნიშვნელოვნად იზრდება ატომთა მოძრაობის თბური ენერგია. თუ ამ დროს შექნნილია ისეთი დაძაბული მდგომარეობა, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს სხეულის სამი მთავარი მიმართულებით ზომების სხვადასხვანაირად შეცვლა, მაშინ ატომებიც დაძაბული მდგომარეობის ველის ხასიათის შესაბამისად გაცვლიან ადგილებს. ამის შედეგად მივიღებთ ფორმის დაუბრუნებელ ცვლილებას, ე. ი. პლასტიკურ დეფორმაციას. ამ გზით სხეულის ფორმაცვლილებების დროს სავალდებულო არ არის ჩვენთვის ცნობილი დაცურების ან გაორმაგების განკითარება, რომელსაც ათერმულ პლასტიკურობას უწოდებენ. ცხადია, კრისტალურ სხეულებში დეფორმაცია ვითარდება ძირითადად ათერმული გზით, ხოლო მასთან სდევს და ხელს უწყობს თერმული პლასტიკურობა, რაც შეეხება ამორფულ სხეულებს, მათი ფორმაცვლილების ერთადერთ გზახერხს წარმოადგენს თერმული პლასტიკურობა.

თერმული პლასტიკურობა მით უფრო მაღალია, რაც მეტი ატომთა კინეტიკური ენერგია, ე. ი. რაც მაღალია ტემპერატურა. სწორედ ამით აიხსნება ძვრისადმი წინააღმდეგობის შემცირება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად. თუ ადგილი არ ექნებოდა თერმულ პლასტიკურობას, ცხადია იგი ნაკლებად იქნებოდა დამოკიდებული ტემპერატურაზე. თერმულ პლასტიკურობას თითქმის ყველა ტემპერატურის დროს აქვს ადგილი, გარდა აბსოლუტური ნულისა. დასვენების ტემპერატურის ქვემოთ იგი ინტენსიურად ეცემა და თითქმის კარგავს მნიშვნელობას.

ტემპერატურის გაზრდით დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის შემცირების საილუსტრაციოდ მოყვანილია ალუმინის კრისტალის გაჭიმვის მრუდები სხვადასხვა ტემპერატურაზე (ნახ. 29).

პოლიკრისტალური სხეულების დეფორმაციის შესახებ ზემოთ

შოყვანილი ზოგიერთი ძირითადი დებულებანი მიგვითითებენ პლასტიკური პროცესის განვითარების დროს სიჩქარის გავლენის განხილვის აუცილებლობაზე.



ნახ. 29. ალუმინის კრისტალთა გაჭიმვის მრუდები სხვადასხვა ტემპერატურაზე (შმოდის და ბოასის მიხედვით).

პირველ რიგში საჭიროა გავკეთო პასუხი კითხვას: რა იგულისხმება დეფორმაციის სიჩქარის ქვეშ?

დეფორმაციის თეორიაში აღნიშნულ სიჩქარედ მიღებულია არა მანქანის სვლის სიჩქარე, რომელიც ახდენს დეფორმაციას, არამედ დეფორმაციის ხარისხის (გამოსახული მაქსიმალური მთავარი დეფორმაციით) ფარდობა დროის ერთეულთან, რომლის განმავლობაშიც ხდება დეფორმაცია, ანდა რომლის განმავლობაშიც დეფორმაციის კერის მოცულობის ტო-

ლი ლითონის მოცულობა გაივლის დეფორმაციის კერაში (მაგალითად, გამოდენისას, გლინვისას). ამრიგად:

$$V = \frac{\delta_{max}}{t} \quad \frac{1}{\text{სეკ}}$$

ან

$$V = \frac{\delta_{max}}{t} \quad \frac{\%}{\text{წმ}}$$

სადაც  $V$  არის დეფორმაციის სიჩქარე;

$\delta_{max}$ —მაქსიმალური მთავარი დეფორმაცია;

$t$ —დრო, რომლის განმავლობაშიც ხდება დეფორმაცია.

პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში ვითარდება სითბო (დეფორმაციის თბური ეფექტი), რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს სადეფორმაციო სხეულის ტემპერატურის გაზრდა. ამრიგად, დეფორმაციის სიჩქარე გარკვეულ გავლენას ახდენს დეფორმირების ტემპერატურაზე.

დეფორმაციის სიდიდე განსაზღვრავს განმტკიცების მოხსნის შესაძლებლობას და მის ხარისხს. როგორც დასვენება ისე რეკრისტალიზაცია, რომელიც იწვევს განმტკიცების მოხსნას, მიმდინარეობს დროში, ე. ი. თვით გააჩნიათ მოცემულ პირობებში განსაზღვრული სიჩქარე.

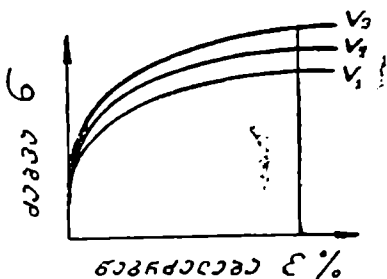


დეფორმაციის სიჩქარე პლასტიკური დეფორმაციის პროცესზე დამოკიდებულია და განისაზღვრება: ერთი მხრივ მას მიეყვება პლასტიკური თვისებების შემცირებისა, ვინაიდან ზრდის დეფორმაციის წინააღმდეგობას, ხოლო მეორე მხრივ, თბური ეფექტის გავლენით ამცირებს დეფორმაციის წინააღმდეგობას და ზრდის სხეულის პლასტიკურ თვისებას.

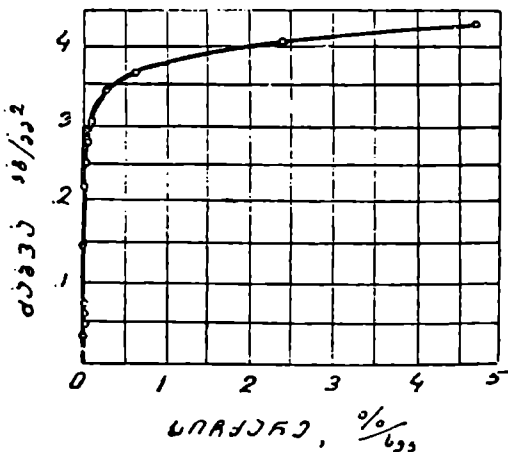
მეტ წილად პირველი გავლენა სჭარბობს მეორეს. ამის მაგალითს წარმოადგენს შემდეგი დიაგრამები (ნახ. 30 და 31).

რა თქმა უნდა, გარკვეულ ზღვრებში სიჩქარის ცვლილებებისას მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე დეფორმაციის ტემპერატურას, მაღალი ტემპერატურის პირობებში იგივე სიჩქარეთა ინტერვალში შეიძლება საწინააღმდეგო შედეგებიც მივიღოთ.

წარმოვიდგინოთ, რომ გვაქვს ორი ნიმუში, დეფორმაციის ერთი



ნახ. 30. სხვადასხვა სიჩქარეებზე კალის გაჭიმვის დიაგრამა.



ნახ. 31. კალის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის დამოკიდებულება გაჭიმვის სიჩქარეზე ( $\Delta l = 15\%$ ).

და იგივე ხარისხით დეფორმირებული, მაგრამ ერთი  $V_1$  სიჩქარით, ხოლო მეორე— $V_2$ -თი. ვთქვათ,  $V_2 > V_1$  ვინაიდან მათი დეფორმა-

ციის ხარისხი ერთი და იგივეა, განმტკიცებაც იქნება ერთნაირი, მაგრამ დასვენება ერთნაირად არ განვითარდება. უფრო ჩქარი დეფორმაციისას იგი ნაკლები იქნება, ვიდრე ნელი დეფორმაციის დროს. ამრიგად, ნელი დეფორმაციის პროცესში გაიხტვიცების მნიშვნელოვანი ხაწილი მოასწრებს მოხსნას და დაძაბულობაც ნაკლები იქნება. ჩქარი დეფორმაციისას კი დასვენება უსინშვნელოდ განვითარდება, დიდი ხაწილი განმტკიცებისა დაოჩეია და, შაშასადამე, დაძაბულობაც გაიზრდება. ცხადია, რომ დაძაბულობას არ შეუძლია უსაზღვროდ გაიზარდოს სიჩქარის გაზრდით. დაძაბულობის მაქსიმალური შესაძლებელი მნიშვნელობა მოცენული დეფორმაციის ხარისხისას არის ის დაძაბულობა, რომელსაც გამოიწვევს წმინდა განმტკიცება დასვენების მოქმედების გარეშე. თუ განმტკიცების პროცესს ჩავთვლით ათერმულად, მაშინ დეფორმაციის მოცენულ ხარისხისას, დაძაბულობას, სიჩქარის გაზრდისას არ შეუძლია გადააჭარბოს იმ მნიშვნელობას, რომელიც მიიღება დეფორმაციის იგივე ხარისხისას ძლიერ დაბალ ტემპერატურაზე. ამრიგად, დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდისას დაძაბულობა უხდა გაიზარდოს და ასინტოტურად მიახლოვდეს რალაც საბოლოო მნიშვნელობას. მაგრამ აქ გვაქვს მეორე მოვლენასთან საქმე; ტემპერატურის გაზრდისას დასვენების სიჩქარეც იზრდება, და მალალ ტემპერატურაზე მიუხედავად დეფორმაციის დიდი სიჩქარისა, დაიბულობა, რომელიც განმტკიცებით გაიზარდა, შესამჩნევად ეცემა დასვენების გავლენით. მიუხედავად ამისა დიდი სიჩქარეებისას დასვენება კიდევ საკმარისად ვერ ასწრებს განვითარებას და დაძაბულობა მაინც მატულობს. თუ კიდევ უფრო გავზრდით ტემპერატურას, მაშინ დასვენების პროცესის სიჩქარე შეიძლება მეტი აღმოჩნდეს განმტკიცების სიჩქარეზე და დაძაბულობა შემცირდეს. შაშასადამე, ტემპერატურის გაზრდისას, დაწყებული გარკვეულ ტემპერატურიდან, სიჩქარის გავლენა კვლავ მცირდება. იმისათვის რომ ასეთ ტემპერატურაში მივილოთ სიჩქარის მნიშვნელოვანი გავლენა საკიროა ძალიან დიდი სიჩქარის განხორციელება.

შემოთ ნათქვამიდან ჩანს, რომ პოლიკრისტალური სხეულების დეფორმაციის მექანიზმზე ტემპერატურისა და სიჩქარის გავლენის ცალ-ცალკე განხილვა არასრულყოფილ სურათს მოგვცემს. საკიროა ტემპერატურისა და სიჩქარის ფაქტორის გავლენის ერთდროული ანალიზი. ამრიგად, კრისტალური სხეულის მდგომარეობა დეფორმაციის შემდეგ შეიძლება იყოს სხვადასხვა იმისდა მიხედვით, თუ დეფორმაციის რა ტემპერატურისა და სიჩქარის პირობები ჰქონდა დეფორმირების ამა თუ იმ ვარიანტის შექმნის უნარის მქონე კრისტალურ სხეულს. მათ შორის საკიროა გავარჩიოთ:

1. ფორმის შეცვლის პროცესი, რასაც თან სდევს განმტკიცება. დეფორმაციის პროცესში არა გვაქვს არც დასვენება და არც რეკრისტალიზაცია. დეფორმაციის ამ სახეს უწოდებენ ცივ დეფორმაციას, იმდენად რამდენადაც იგი დამახასიათებელია დაბალი ტემპერატურებისათვის.

2. ფორმის შეცვლის პროცესი, რომელსაც თან სდევს არა მართო განმტკიცება, არამედ დასვენებაც. დეფორმაციის ამ სახეს უწოდებენ არასრულ ცივ დეფორმაციას.

3. ფორმის შეცვლის პროცესი, რომელსაც თან სდევს განმტკიცება და ნაწილობრივი რეკრისტალიზაცია. დეფორმაციის ამ სახეს უწოდებენ არასრულ ცხელ დეფორმაციას.

4. ფორმის შეცვლის პროცესი, რომელსაც თან სდევს განმტკიცება და რეკრისტალიზაცია, რომელიც ასწრებს განვითარებას დეფორმაციის პროცესში. დეფორმირებული ლითონი გვიჩვენებს სრული რეკრისტალიზაციის სურათს. დეფორმაციის ამ სახეს უწოდებენ ცხელ დეფორმაციას, ვინაიდან იგი დამახასიათებელია მაღალი ტემპერატურებისათვის.

ამრიგად, როგორც დავინახეთ ტერმინების—ცივი და ცხელი დეფორმაცია—თეორიული გაგება არ შეესაბამება ამავე ტერმინების პირდაპირ პრაქტიკულ გაგებას, რომლის თანახმადაც ცხელი დეფორმაცია ესმით ლითონის გაიურებით, ხოლო ცივი—გაიურების გარეშე. აღნიშნულ საკითხს თეორიულად ასე ხსნიან: იღებენ რა დეფორმაციის პროცესში განვითარებულ მოვლენებს, მაგალითად, ოთახის ტემპერატურაზე ტყვიისა და კალის დეფორმაცია შეიძლება შევადაროთ მაღალ ტემპერატურაზე ფოლადის დეფორმაციას, ვინაიდან როგორც ერთ, ისე მეორე შემთხვევაში გვექნება ცხელი დეფორმაცია.

გადავიდეთ ზემოთ დასახელებულ ოთხი სახის დეფორმაციის ტექნიკურ შეფასებაზე (გუბკინის მიხედვით).

1. ცივი დეფორმაცია. დასვენებისა და რეკრისტალიზაციის უქონლობის გამო დეფორმაციის ამ სახისას განმტკიცების ეფექტი მაღალია. განმტკიცებისა და შედარებით დაბალი ტემპერატურის გამო დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა საკმარისად მაღალია, ხოლო პლასტიკური თვისებები კი დაბალი. ამიტომ მთელ რიგ შემთხვევებში საჭირო ხდება შუალედური მოწვა. შედეგად გვაქვს ენერჯის დიდი ხარჯი დეფორმაციაზე და მოწვაზე. მიუხედავად ამისა ხშირად საწარმოო აუცილებლობა გვაიძულებს გამოვიყენოთ ცივი დეფორმაციის პროცესი. მაგალითად, სრულდებო-

არახელსაყრელია თხელი ფურცლებისა და წვრილი მავთულების გლინვა ცხლად, ვინაიდან ისინი სწრაფად ცვდებიან.

2. არასრული ცივი დეფორმაცია. დასვენების შედეგად წარმოებს დამატებითი დაძაბულობის მნიშვნელოვანი მოხსნა, რასაც მიუყვართ შესაბამისად ნარჩენი დაძაბულობის შემცირებისაკენ. ამ დროს ტექსტურა რჩება, რჩება აგრეთვე კრისტალშიგა და კრისტალშორისო დარღვევები, მაგრამ დამატებითი დაძაბულობათა მოხსნის გამო დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად მცირდება. მცირდება განმტკიცების ხარისხი, უმჯობესდება პლასტიკური თვისებები. დეფორმაციის ასეთ სახეს ხშირად ანხორციელებენ ოთახის ტემპერატურაზე, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი განმტკიცების უნარის მქონე ლითონებისათვის და სარგებლობენ დეფორმაციის მეტად მაღალი სიჩქარეებით. ამით აღწევენ ლითონების და მათი შენადნობების დეფორმაციის მაღალი ხარისხით დამუშავებას შუალედური მოწვის გარეშე. ამის საუკეთესო მაგალითია სტეკლის პროცესი, რომელიც მეტად მაღალი სიჩქარით (500 მ/წუთში) გლინვდა ნახშირბადიან და სპეციალური ფოლადის ლენტებს.

ამრიგად, განხილული სახე დეფორმაციისა ტექნიკური თვალსაზრისით უფრო რაციონალურია. ამიტომ მიზანშეწონილია გაიზარდოს მანქანა-იარაღის სიჩქარე ლითონების ცივად დამუშავებისათვის, მთელ რიგ შემთხვევებში ამ სიჩქარის ზრდას მიუყვართ პროდუქციის ხარისხის და წარმადობის გაზრდისაკენ, აგრეთვე თვითღირებულების შემცირებისაკენ.

3. არასრული ცხელი დეფორმაცია. ამა თუ იმ მიზეზით დეფორმაციის არათანაბარი განაწილების და რეკრისტალიზაციის დაბალი სიჩქარის გამო, ეს უკანასკნელი ვერ ასწრებს მთელ დეფორმირებულ მოცულობაში გავრცელებას და მხოლოდ ზოგიერთ უბნებში ვითარდება რეკრისტალიზაცია. ამიტომ ლითონი იღებს არათანაბარ სტრუქტურას, როგორც თვით დეფორმირების პროცესში, ისე შემდეგაც ოთახის ტემპერატურამდე გაციებისას.

4. ცხელი დეფორმაცია. მთელ რიგ შემთხვევებში იგი ერთადერთი და აუცილებელი სახეა ლითონების წნევითი დამუშავებისას. განსაკუთრებით სხმული სტრუქტურების დეფორმირებისას.

ცხელი დეფორმირების დროს ვითარდება რა რეკრისტალიზაცია სხეულის მთელ მოცულობაში, განმტკიცების ყოველგვარი ჩანასახები ისპობა თვით დეფორმაციის პროცესშივე. ამ დროს დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა შედარებით მცირეა, ამიტომ მანქანა-იარაღის სიმძლავრეც შედარებით ნაკლები იქნება საჭირო.

## § 6. პლასტიკური დეფორმაციის გავლენა ლითონის სტრუქტურაზე და თვისებებზე

დეფორმაციის ესა თუ ის სახე თავისებურად მოქმედებს ლითონის სტრუქტურაზე და თვისებებზე.

ცხელი დეფორმაცია მნიშვნელოვნად აღიძვებს ლითონის მექანიკურ თვისებებს და აუმჯობესებს სტრუქტურას. სხმული დენდრიტული სტრუქტურა, რომელიც დაბალი თვისებებით ხასიათდება, დეფორმაციის დროს განიცდის დანგრევას. ამავე დროს უნდა ვეცადოთ, რომ სხმული სტრუქტურის დამუშავებისას არ გვექონდეს გამჭიმავი დაძაბულობანი. დაძაბულობის ყოველმხრივ არათანაბარი მკუმშავი სქემის დროს წარმოებს ჩაჯდომის სიფხვიერეთა და აირის ბუშტულების შედუღება, რის გამოც ლითონის სიმკვრივე მატულობს და უმჯობესდება მისი მექანიკური თვისებები.

თუ კარგად შევარჩევთ დეფორმაციის ტენაპერატურული სიჩქარის რეჟიმს, დეფორმაციის საკმარისი ხარისხისას შეგვიძლია მივიღოთ თანაბარი წვრილმარცვლოვანი, სხვადასხვანაირად ორიენტირებული სტრუქტურა, რითაც იზრდება სიმტკიცის მაჩვენებლები და აგრეთვე პლასტიკურობა და სიბლადიე.

სხმული სტრუქტურის ცხელი დეფორმაციისას, როცა ადგილი აქვს რეკრისტალიზაციას, არ უნდა მივიღოთ ბოქკოვანი (წაგრძელებული) მარცვლები, მაგრამ მიუხედავად ამისა მიკროსტრუქტურაშიც გვიჩვენებს ბოქკოვან მარცვლებს. მიკროსტრუქტურის ბოქკოვან სახეს ქმნის სხმულის სტრუქტურის არაერთგვაროვნობა და მარცვალთა შორის უხსნადი ან ძნელად ხსნადი მინარევეების არსებობა, რომლებიც გამჭიმავი მთავარი დეფორმაციის მიმართულებით ქმნიან სტრუქტურის ბოქკოვან სახეს. მაგრამ სტრუქტურის ეს სახე ჩვენ არ უნდა აურიოთ იმ ბოქკოვანობასთან, რომელიც მიიღება მარცვალთა წაგრძელებისას ცივი და არასრული ცივი დეფორმაციის დროს, ხოლო ცხელი დეფორმაციისას რა თქმა უნდა ასეთი მარცვლები არა გვაქვს, ვინაიდან მათ განიცადეს რეკრისტალიზაცია და მიიღეს წვრილი არადეფორმირებული მარცვლების სახე, ვითომდა ლითონი მოწული ყოფილიყოს.

ცხელი დეფორმაციის დროს განსაკუთრებით მკვეთრად ვლინდება ბოქკოვანობა რკინაში და ფოლადში, სადაც გვაქვს ისეთი მინარევეები როგორცაა გოგირდი, ქანგბადი და ფოსფორი, რომლებიც იწვევენ ძლიერ ლიკვაციას. რეკრისტალიზაციის შემდეგ ეს ჩანართები კვლავ ინარჩუნებენ უკვე არ არსებული მარცვლების ფორმას და ლითონში ძაფების სახით წაგრძელებულნი რჩებიან. რკინასთან მათი მცირე დიფუზიის უნარის გამო (განსაკუთრებით

როცა ეს მინარევები ბევრია) ისინი გადადიან ლითონის საბოლოო ნაწარმში და აუარესებენ მის ხარისხს.

არასრული ცხელი დეფორმაცია მიუღებელია სხმული სტრუქტურებისათვის და ნაკლებსასურველია დეფორმირებულ სტრუქტურებისათვის. ვინაიდან ამ დროს ადგილი აქვს არასრულ რეკრისტალიზაციას, რასაც მიყვებათ დეფორმაციის შემდეგ სტრუქტურის არაერთგვაროვნობისაკენ.

არასრული ცივი დეფორმაცია ხასიათდება დეფორმაციის პროცესში დამატებითი დაძაბულობების მოხსნით. მასალის მექანიკურ და ფიზიკურ თვისებებს ცვლის იგივე მიმართულებით, როგორც ცივი დეფორმაცია (რომელსაც ქვემოთ განვიხილავთ), მაგრამ შედარებით ნაკლები ხარისხით.

ცივი დეფორმაცია ხასიათდება განმტკიცებით. განმტკიცება ცვლის ლითონის სტრუქტურას, მის ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს და აძლევს ანიზოტროპიულ ბუნებას.

ისევე როგორც ცხელი დეფორმაციის დროს აქაც ადგილი აქვს ლითონის მარცვალთა წაგრძელებას გამჭიმავი დეფორმაციის მიმართულებით. წაგრძელებას განიცდიან აგრეთვე მინარევები, რომლებიც მარცვლებს შორის იმყოფებიან და ქმნიან ძაფისებურ განლაგებას. ამგვარად, იქმნება ბოქკოვანი სტრუქტურა, რომლის ფორმაც მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მთავარი დეფორმაციის სქემაზე.

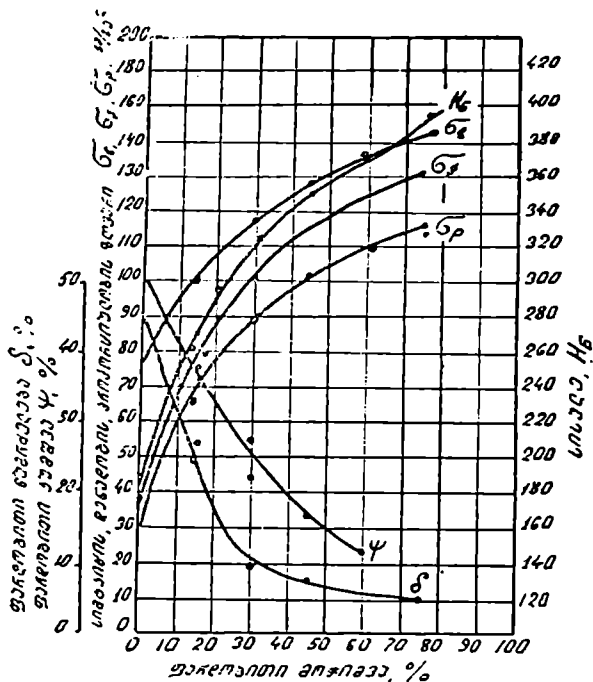
ცივი დეფორმაცია განსაკუთრებით დიდ გავლენას ახდენს მექანიკური თვისებების ცვლილებებზე (დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის ყველა მაჩვენებლებს ზრდის). ამის მიზეზი განმტკიცების არსებობაა, რომელიც ძვრისადმი წინააღმდეგობის გაზრდით ვლინდება. სწორედ ამიტომ იზრდება ყველა მექანიკური მახასიათებლები, ვინაიდან ისინი პირდაპირ დამოკიდებულებაში არიან ძვრისადმი წინააღმდეგობასთან. რაც შეეხება პლასტიკურობის და სიბლანტის მაჩვენებლებს აქ კი პირიქით ხდება, ვინაიდან განმტკიცება დაკავშირებულია კრისტალშორისი და კრისტალშიგა დარღვევებთან.

32-ე ნახ-ზე მოყვანილია რბილი ფოლადის ( $0,3\% C$ ) მექანიკური თვისებების ცვლილება ცივად გლინვისას. ამ ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ დეფორმაციის ხარისხის გაზრდით იზრდება: დროებითი წინააღმდეგობა  $\sigma_b$ , დენადობის ზღვარი  $\sigma_{0,2}$ , პროპორციულობის ზღვარი  $\sigma_p$ , სისალე— $H_B$ ; ხოლო სიდიდეები, ფარდობითი წაგრძელება  $\delta$  და ფარდობითი კუმშვა  $\psi$ , მცირდებიან.

ცივი დეფორმაციის დროს იცვლება ლითონის ფიზიკური თვისებები: ხვედრითი წონა, ელექტროგამტარებლობა, ხსნადობა სხვა-

დასხვა რეაგენტებში და მკვებებში (კოროზიულობა), რკინისა და მათი შენადნობებისათვის იცვლება აგრეთვე მაგნიტური თვისებები.

ცივი დეფორმაციისას იბის გამო, რომ ადგილი აქვს შინაგან დარღვევებს, მიკრონაბზარების წარმოქმნას, ლითონის სიმკვრივე მცირდება. სიმკვრივის შეპცირება მით უფრო მეტია, რაც მეტია დეფორმაციის ხარისხი. 33-ე ნახაზზე ნაჩვენებია სიმკვრივის შეცვლა ფოლადის გაჭიმული ნიშნისათვის. სიმკვრივის შემცირება მით

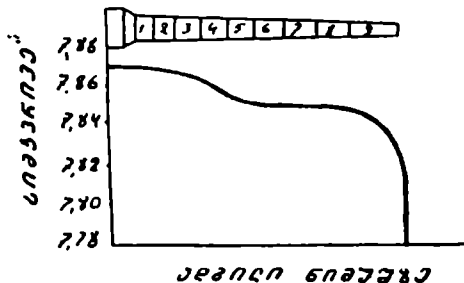


ნახ. 32. ცივი დეფორმაციის გავლენა ნიკელმოლიბდენის შენადნობის მექანიკურ თვისებებზე.

უფრო მეტად ხდება, რაც მეტია გამჭიმავი ძალები. ელექტროგამტარებლობა ჩვეულებრივად იცვლება დეფორმაციის ხარისხთან ერთად (ნახ. 34).

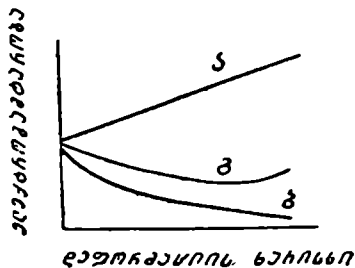
34-ე ნახ ზე მოცემულ მრუდეთა სახეზე მოქმედებს: პ ი რ ვ ე ლ ი — მარცვალშორის ნივთიერების დარღვევა, რომელსაც მიგვევართ კრისტალთა უშუალო შეხებისაკენ და მეორე — კრისტალთა უწყეს-

რიგო ორიენტირების დამყარება, რამაც ზოგიერთი მკვლევარების აზრით უნდა გაზარდოს ელექტროგამტარებლობა. ამრიგად, აღნიშნულ ორ ფაქტორს მიყვევართ დეფორმაციის ხარისხის გაზრდასთან.



ნახ. 33. ცივი დეფორმაციის ხარისხის გავლენა ფოლადის სიმკვრივეზე (იშიტაკის მიხედვით).

ერთად ელექტროგამტარებლობის გაზრდისაკენ (მრუდი ა, ნახ. 34). კრისტალზორისი და კრისტალშიგა დარღვევები კი პირიქით იწვევენ ელექტროგამტარებლობის შემცირებას (მრუდი ბ, ნახ. 34). მრუდი გ (ნახ. 34) წარმოადგენს ჯამურ მრუდს.



ნახ. 34. ცივი დეფორმაციის ხარისხის გავლენა ელექტროგამტარებლობაზე (ტაკახანის მიხედვით).

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტები იმის მაჩვენებელია, რომ ცივი დეფორმაციის ხარისხის გაზრდით ლითონის მიდრეკილება ხსნადობისადმი მნიშვნელოვნად იზრდება.

ნახ. 34. ცივი დეფორმაციის ხარისხის გავლენა ელექტროგამტარებლობაზე (ტაკახანის მიხედვით). ლითონის მექანიკური და ფიზიკური თვისებების ცვლილება ცივი დეფორმაციის დროს, შეიძლება დავაჯამოთ გერენსის მიხედვით (ცხრილი 2), სადაც აღნიშნული თვისებების ცვლილება მოცემულია მკირენახშირბადიანი ფოლადის (0,07% C) მავთულის ცივად ადიდვის მაგალითზე. დეფორმაციის ხარისხი 95,9%.

ცივი დეფორმაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შედეგია თვისების ანიზოტროპია. ანიზოტროპიულობის მიზეზია ბოქკოვანის სტრუქტურის გაჩენა, ანუ ტექსტურის არსებობა (ნახ. 35).

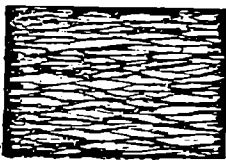
ტექსტურა მთელ რიგ შემთხვევაში იწვევს ტექნოლოგიურ სიძ...



№№	პარამეტრის დასახელება	ცვლი- ლება % ში	№№	პარამეტრის დასახელება	ცვლილ- ბა % ში
1	დრეკადობის მოდული	+0	8	სისალე, ბრინელით	+192
2	დრეკადობის ზღვარი	+215	9	სისალე, შორით	+164
3	პროპორციულობის ზღვარი	+246	10	ხვედრითი წონა	-1
4	დენადობის ზღვარი	+98	11	ხსნადობა განზავებული	+0,03
5	დროებითი წინააღმდეგობა	+159	12	ხვედრითი ელექტროწი- ნააღმდეგობა	+0,92
6	წაგრძელება გაგლეჯისას	-87	13	კოორციული ძალა	+323
7	განიკვეთის ფართის შევიწ- როება გაგლეჯისას	-73	14	გისტეოეზისი	+222

ნელებს, მაგალითად, ფურცლოვანი მასალის პლასტიკური თვისებების ანიზოტროპიულობის გამო, ღრმა გამოკიშვისას წარმოიქმნება ე. წ. „ფესტონები“, ვინაიდან ლითონი ერთი მიმართულებით კარგად იკიშება, ხოლო მეორე მიმართულებით კი ძნელად (ნახ. 36), ცხადია „ფესტონების“ წარმოქმნა ართულებს ტექნოლოგიურ პროცესს და მიყვევართ ლითონის მეტი ხარჯისაკენ.

აღსანიშნავია აგრეთვე ის გარემოება, რომ ცივი დეფორმაცია დამაჩქარებლად მოქმედებს, კრისტალოგრაფიულ გისოსში ატომთა ადგილების გაცვლასთან დაკავშირებულ პროცესებზე. როგორცაა აღიფუხია, ფაზური გარდაქმნები და რეკრისტალიზაცია.



ნახ. 35. ფოლადის  
ბოჭკოვანი სტრუქტურა.



ნახ. 36. ღრუ ნაწარმის ტვიფრისას  
„ფესტონების“ გაჩენა.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე ცხადი ხდება, რომ დეფორმაციის შესაბამისი რეჟიმით, რომელიც უზრუნველყოფს მისამა თუ იმ სახეს, შეგვიძლია არა მარტო სხეულის ფორმის შეცვლა, არამედ სასურველი მექანიკური და ფიზიკური თვისებების მიღებაც.

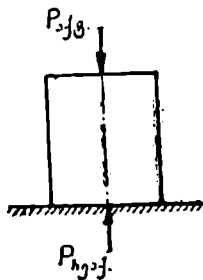
## თავი მეორე

### ქალღვანი პირობები ლითონების წნევით დაგუშავების პროცესში

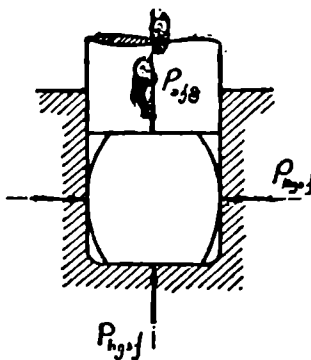
#### § 1. ქალა და ქაბვა

პირველ თავში საუბარი გვექონდა ამა თუ იმ სახის დეფორმაციის მოვლენებზე და მათ შედეგებზე. ამ თავში ჩვენ განვიხილავთ სხეულის დეფორმაციითა გამომწვევ მიზეზებს. ცხადია ეს მიზეზები ჯერჯერობით ჩვენთვის უცნობი ძალებია.

მყარი სხეულების მექანიკაში არჩევენ ორი სახის ძალებს: მოცულობითი, ანუ შინაგანი ძალები, რომლებიც მოქმედებენ სხეუ-



ნახ. 37.



ნახ. 38.

ლის მოცულობაში და გარეგანი ძალები, რომლებიც მოქმედებენ სხეულის ზედაპირზე.

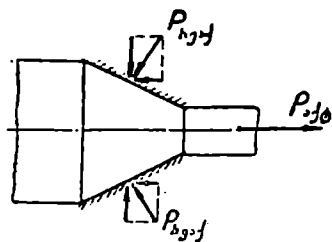
დეფორმაციის დროს მოქმედი გარეგანი ძალები შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად: 1) მიყენებული, ანუ აქტიური; 2) რეაქციულ და 3) ხახუნის ძალებად.

აქტიური ძალები ჩნდებიან ამა თუ იმ მადეფორმირებელი მექანიზმის მოქმედებით, მაგალითად, უროს დამცემი ნაწილების ვარდნისას, გლინებზე მიყენებული მბრუნავი მომენტი და სხვა.

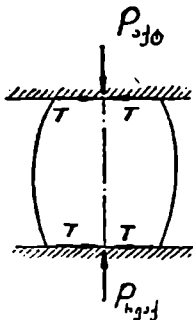
რეაქტიული ძალები ჩნდებიან დეფორმაციის ქვეშ მყოფი ლითონის დამკაეებელი ინსტრუმენტის გავლენით. მაგალითად, თუ ცილინდრზე (ნახ. 37) მოქმედებს აქტიური ძალა— $P_{აქ}$ , რომელიც ცდილობს ცილინდრის ქვემოთ გადაადგილებას, მაშინ ის საყრდენი (ვთქვათ გრდემლი), რომელზედაც ცილინდრი დევს თავის მხრივ გაუწევს წინააღმდეგობას და სხეულს მიაყენებს ე. წ. რეაქციის ძალას  $P_{რკ}$ . ამით სხეული მოვა ერთგვარ წონასწორობაში და მასში წარმოიშვება შინაგანი ძალები, რომელთა გარკვეული სიდიდე იწვევს სხეულის დეფორმაციას. რა თქმა უნდა ამ დროს შინაგანი ძალების სიდიდე დამოკიდებულია აქტიური ძალის სიდიდეზე.

რეაქტიული ძალები შეიძლება წარმოიშვეს არა მარტო აქტიური ძალის მოქმედების ხაზზე, მის საწინააღმდეგო მიმართულებით, არამედ სხვა მიმართულებებითაც (იხ. ნახ. 38). ისინი ყოველთვის ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის მართობულად არიან მიმართულნი (იხ. ნახ. 38 და 39).

ხახუნის ძალები წარმოიშვება ნაღვეფორმირებელ ინსტრუმენტსა და ლითონს შორის ლითონების წნევით დამუშავების თით-



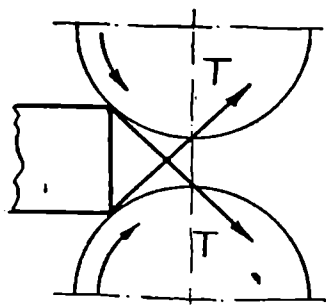
ნახ. 39.



ნახ. 40.

ქმის ყველა პროცესში. ხახუნის ძალებს შეუძლიათ როგორც აქტიური, ისე რეაქტიული როლის შესრულება. მაგალითად, სხეულის დასმისას (ნახ. 40) საკონტაქტო ზედაპირზე გაჩენილი ხახუნის ძალები ხელს უშლიან ლითონის გადაადგილებას საკონტაქტო ზედაპირის მახლობლად, ამ დროს ისინი ასრულებენ რეაქტიულ როლს, ხოლო გლინვის შემთხვევაში (ნახ. 41), როცა ლითონს გლინები მოძრაობას გადასცემენ და არ უშვებენ მას გამოვარდეს ხახიდან, ასრულებენ აქტიურ როლს.

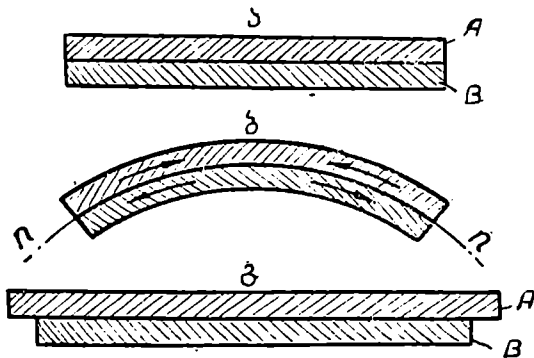
სხეულში შინაგანი ძალები წარმოიშეებიან არა მარტო გარეშე. მოკმედი ძალების გავლენით, არამედ სხეულის შიგნით მომხდარი სხვადასხვა ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შედეგადაც. უმთავრესად ასეთ პროცესებს თან სდევს მოცულობის ცვლი-



ნახ. 41.

ლებები და ვინაიდან ისინი სხეულის მოცულობაში განაწილებულნი არიან. არათანაბრად და არაერთნაირი ნიშნით და აგრეთვე, სხეულის მთლიანობის გამო საბოლოოდ ერთძანეთს აწონასწორებენ, შედეგში ჩვენ ვღებულობთ მოცულობის ამა თუ იმ უბანში შინაგანი ძალების წარმოქმნას. ამის საუკეთესო მაგალითს წარმოადგენს სხვადასხვა თერმული გაფართოების უნარის მქონე ბიმეტალური წყვილის გახურება.

ვთქვათ, გახურების შემდეგ  $A$  ლითონი უფრო მეტად ფართოვდება ვიდრე  $B$ . თუ  $A$  და  $B$  ლითონებს შორის მტკიცე კავში-



ნახ. 42.

რი არ გვექნებოდა, მაშინ მივიღებდით ასეთ სურათს: (ნახ. 42) ორივე ერთი მეორის დამოუკიდებლად წაგრძელებოდა თავიანთი გაფართოების უნარის მიხედვით. მაგრამ ვინაიდან ბიმეტალური წყვილი წარმოადგენს ერთ მთლიანობას, ამიტომ საბოლოო ჯამში მივიღებთ შეერთების ხაზის  $n-n$  რაღაც საშუალო გაფართოე-

ბას. შედეგად  $A$  ლითონში წარმოიშვება მკუმშავი შინაგანი ძალა, ხოლო  $B$ -ში—გამჭიმავი შინაგანი ძალა. ნეიტრალური ხაზიდან ზემოთ და ქვემოთ შინაგანი ძალები თანდათან ეცემა, რის შედეგადაც ვლებულობთ ბიმეტალის გალუნვას.

შინაგანი ძალების ინტენსიობას აღნიშნავენ ტერმინით—ძაბვა. ზოგადად ძაბვა წარმოადგენს ელემენტარულ ფართზე მოქმედ შინაგანი ძალის ამვე ფართთან ფარდობის ზღვარს, ე. ი.

$$p = \sigma = \lim \frac{\Delta P}{\Delta F}, \quad (17)$$

სადაც  $\Delta P$  არის ელემენტარულ  $\Delta F$  ფართზე მოქმედი შინაგანი ძალის ტოლქმედი.

როცა შინაგანი ძალა მთელ განსახილველ კვეთზე თანაბრად ანაწილებული, ხმარობენ ტერმინს—ძაბვა. თუ კვეთში შინაგანი ძალა არათანაბრად არის განაწილებული, მაშინ ხმარობენ საშუალო ძაბვას.

ძაბვა არ უნდა აურიოთ ტერმინში ხვედრითი წნევა, რომელიც იგივე განზომილების მატარებელია. ხვედრითი წნევა ეს არის ზედაპირის ერთეულ ფართზე მოქმედი გარეგანი ძალა.

## § 2. შთავარი ძაბვები და შთი სძმვები

წარმოვიდგინოთ რაიმე სხეული, რომელიც იმყოფება გარეგანი ძალების მოქმედების ქვეშ. სხეულში გამოყოფილი ნებისმიერი ელემენტი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც დამოუკიდებელი სხეული, თუ მივიღებთ მხედველობაში ყველა იმ ძალებს, რომლებიც მოქმედებენ მასზე გარემომცველი მასალის მხრიდან. სხეულის დანარჩენი ნაწილების მხრიდან ჩვენს ელემენტზე მოქმედი ძალთა ერთობლიობა ქმნის ამ ელემენტის დაძაბულ მდგომარეობას. დაძაბულ მდგომარეობაში იქნება აგრეთვე სხეულის სხვა ნებისმიერ სიბრტყეში განლაგებული ელემენტებიც, ვინაიდან ძალა ერთი ნაწილიდან გადაეცემა მეორეს. მაშასადამე, თუ ამა თუ იმ ელემენტზე მოქმედ ძალებს დავაჯამებთ, ე. ი. ავიღებთ მის ტოლქმედს და შეეუფარდებთ მის ფართს, მივიღებთ ამ ელემენტზე მიყენებულ ძაბვას— $\sigma$ . ელემენტზე მოქმედი ძაბვა და მისი მიმართულება, რატომ უნდა, ალებულ შემთხვევაში მუდმივია, რაც შეეხება ძაბვის სიდიდეს იგი დამოკიდებული იქნება აგრეთვე იმაზე თუ ელემენტის რომელ კვეთს განვიხილავთ.

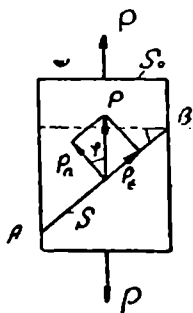
ზოგად შემთხვევაში ეს ძაბვა არ არის მართობი ჩვენს მიერ განხილული ამა თუ იმ სიბრტყისადმი, ამიტომ ეს ძაბვა შეიძლება დავშალოთ ძაბვად, რომელიც მართობი იქნება ალებული სიბრტყისა (ნორმალური ძაბვა) და ორ ძაბვად, რომლებიც მიიღებიან

აღებულ სიბრტყეზე  $\sigma$  ძაბვის დაგეგმარებით (ტანგენციალური ანუ მხები ძაბვა).

რა არის საჭირო იმისათვის, რომ ვიცოდეთ წერტილის დაძაბული მდგომარეობა. წერტილის დაძაბული მდგომარეობა სავსებით განსაზღვრული იქნება, თუ გვეცოდინება ამ წერტილზე გამავალ ნებისმიერ ფართზე (ნებისმიერი მიმართულებით) მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვები. შემდგომში ჩვენ დავინახავთ, რომ წერტილზე გამავალ ნებისმიერი ფართის დაძაბული მდგომარეობის დასადგენად (ე. ი. რომ ვიცოდეთ წერტილის დაძაბული მდგომარეობა), სავსებით საკმარისია ვიცოდეთ მოცემულ წერტილზე გამავალ სამ ურთიერთმართობ სიბრტყეებში მოქმედი ნორმალურ და მხებ ძაბვათა სიდიდეები. ამრიგად, საჭიროა ვიცოდეთ 3 ნორმალური და 6 მხები ძაბვა, ე. ი. წერტილის დაძაბული მდგომარეობა განისაზღვრება 9 ვექტორით. ეს 9 ვექტორი სწორედ ქმნის დაძაბულობის ტენზორის მატრიცას<sup>1</sup>. შემდეგ ვნახავთ, რომ ტენზორის 9 შემადგენელი შეიძლება დაყვანილი იქნას 6-ზე, დაბოლოს კოორდინატთა ლერძების შესაბამისი შერჩევით დაძაბულობის ტენზორის 6 შემადგენელი შეიძლება დაყვანოთ 3-მდე. ჯერ განვიხილოთ ყველაზე მარტივი შემთხვევა, კერძოდ ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობა.

### 1. ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობა

ხაზობრივ დაძაბულობას უწოდებენ ისეთს, როცა სხეულის ნებისმიერ ნაწილზე მოქმედ ძალთა ერთობლიობა, შეიძლება დაყვანილი იქნეს მხოლოდ ერთი მიმართულებით მოქმედ ძალებამდე. ასეთი დაძაბულობის მაგალითია ცილინდრული ნიმუშის უბრალო გაჭიმვა. ვთქვათ ცილინდრულ ნიმუშზე ლერძის გასწვრივ მოქმედებს გამჭიმავი  $P$  ძალა. ნიმუშის განივკვეთის ფართი იყოს  $S_0$ , მაშინ ნებისმიერ განივკვეთში მოქმედი ძაბვა იქნება



$$\sigma_0 = \frac{P}{S_0}$$

ნახ. 43. ტანგენციალური და ნორმალური ძაბვა.

განვსაზღვროთ ნორმალური და მხები ძაბვები ნებისმიერ  $AB$  კვეთში, რომელიც განივკვეთთან დახრილია  $\varphi$  კუთხით. ცხადია,  $AB$  ფართზეც მოქმედებს ძალა  $P$ . დავშალოთ  $P$  ძალა სიბრტყის მართობი-

<sup>1</sup> ტენზორი—ლათინურად, ქართულად დაძაბულობას, კიბვას ნიშნავს.

მიმართულებით  $P_n$ , და სიბრტყეზე მდებარე  $P_t$  ძალად. ეს ორი ძალა ქმნიან ნორმალურ და მხებ ძაბვებს  $AB$  სიბრტყეზე.

ნორმალური ძაბვა იქნება

$$\sigma_n = \frac{P_n}{S},$$

სადაც  $S$  არის  $AB$  კვეთის ფართობი.

მხები, ანუ ტანგენციალური ძაბვა  $\tau$  იქნება:

$$\tau = \frac{P_t}{S}$$

$P_n$  და  $P_t$  გამოვსახოთ  $P$ -თი.

$$P_n = P \cos \varphi,$$

$$P_t = P \sin \varphi.$$

ხოლო  $S$  გამოვსახოთ  $S_0$ -ით:

$$S = \frac{S_0}{\cos \varphi}.$$

მაშასადამე,

$$\sigma_n = \frac{P}{S_0} \cos^2 \varphi,$$

$$\tau = \frac{P}{S_0} \sin \varphi \cdot \cos \varphi.$$

ან

$$\sigma_n = \sigma_0 \cos^2 \varphi, \quad (18)$$

$$\tau = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\varphi. \quad (19)$$

ვნახოთ, როგორ იცვლებიან ნორმალური და მხები ძაბვები სიბრტყის დახრის კუთხის  $\varphi$  ცვლილებასთან ერთად.

$\varphi$ -ს შეუძლია შეიცვალოს 0-დან  $90^\circ$ -მდე, როცა  $\varphi = 0$ , ჩვენი კვეთი ემთხვევა განიგვეთს და  $\sigma_n = \sigma_0$ , ხოლო  $\tau = 0$ .  $\varphi$  კუთხის გაზრდისას ნორმალური ძაბვა მცირდება, ხოლო მხები იზრდება. როცა  $\varphi = 45^\circ$ , მაშინ მხები ძაბვა  $\tau$  აღწევს მაქსიმუმს, ვინაიდან  $\sin 2\varphi = 1$ , ამ დროს:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_0}{2},$$

აგრეთვე

$$\sigma_n = \frac{\sigma_0}{2}.$$

კუთხის შემდგომი გაზრდისას როგორც ნორმალური, ისე მხები ძაბვები იწყებენ შემცირებას. როცა  $\varphi = 90^\circ$  ორივე ძაბვა უტოლ-

დება 0-ს, ე. ი. ძალის გასწვრივ მდებარე სიბრტყეები სრულებით არ არიან დატვირთულნი.

ამრიგად, როგორც განხილულ მარტივ ფორმულებიდან ჩანს, იმ სიბრტყეში, რომელიც მოქმედი ძალის მიმართ ადგენს  $45^\circ$  კუთხეს, მოქმედებს მაქსიმალური მხები ძაბვა.

ნორმალური და მხები ძაბვა ადვილად გამოითვლება (18, 19) ფორმულებით, მაგრამ არსებობს კიდევ უფრო მარტივი და თვალსაჩინო მეთოდი, ეს არის გერმანელი მეცნიერის შორის წრეების მეთოდი, რომელიც მან 1882 წელს წამოაყენა.

შორის წრე საშუალებას გვაძლევს ტრიგონომეტრიული ფუნქციების გამოყენების გარეშე მოვძებნოთ ძაბვები ნებისმიერი კვეთის ფართისათვის. შორის წრეებს განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს რთული დაძაბული მდგომარეობის დროს.

ხაზობრივი დაძაბულობის შემთხვევაში მას შემდეგნაირად ვაგებთ:  $\sigma_n$  და  $\tau$ -ს მნიშვნელობებიდან გამოვრიცხოთ კუთხე  $\varphi$  და დავამყაროთ მათ შორის დამოკიდებულება

$$\sigma_n = \sigma_0 \cos^2 \varphi.$$

$$\tau = \sigma_0 \sin \varphi \cdot \cos \varphi$$

შეორე ავიყვანოთ კვადრატში და გავყოთ პირველზე, მივიღებთ

$$\frac{\tau^2}{\sigma_n} = \sigma_0 \sin^2 \varphi.$$

ორივე ნაწილს დაუმატოთ  $\sigma_n$ , მაშინ მივიღებთ

$$\frac{\tau^2}{\sigma_n} + \sigma_n = \sigma_0,$$

ანუ

$$\tau^2 + \sigma_n^2 - \sigma_n \cdot \sigma_0 = 0,$$

აქედან

$$\tau^2 + \left( \sigma_n - \frac{\sigma_0}{2} \right)^2 = \frac{\sigma_0^2}{4}. \quad (20)$$

მიღებული განტოლება (20) არის წრის განტოლება, თუ კოორდინატთა ღერძებად მივიღებთ  $\tau$  და  $\sigma_n$ , მაშინ ამ წრის რადიუსი იქნება

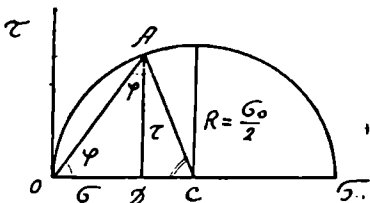
$$R = \frac{\sigma_0}{2}.$$

მისი ცენტრი კოორდინატთა სათავედან დაშორებულია მანძილით

$$OC = \frac{\sigma_0}{2}.$$



წრეხაზის ნებისმიერი წერტილის ორდინატი და აბსცისა გვაძლევს მხებ და ნორმალურ დაბვათა შესაბამის მნიშვნელობებს (ნახ. 44). ამისათვის საჭიროა კოორდინატთა სათავიდან გაველოთ წრფე (რომელიც აბსცისასთან შექმნის ჩვენთვის საჭირო ფკუთხეს) მორის წრის გადაკვეთამდე. ამ წერტილის გეგმილები შესაბამის ღერძებზე მოგვცემს დაბვათა საძიებელ მნიშვნელობებს. მის სისწორეში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ განვიხილავთ ნახაზზე მოყვანილ სამკუთხედებს: ტოლგვერდა



ნახ. 44. მორის წრე ხაზობრივი დაბაბული მდგომარეობისათვის.

$$\triangle OAC\text{-ში } \angle OCA = (\pi - 2\varphi),$$

მაშინ

$$AD = \tau = R \sin 2\varphi = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\varphi,$$

ხოლო

$$OC - DC = \sigma_n = \frac{\sigma_0}{2} - \frac{\sigma_0}{2} \cos(\pi - 2\varphi) = \sigma_0 \cos^2 \varphi.$$

ამრიგად, მივიღეთ ჩვენთვის ცნობილი გამოსახულებანი.

## 2. მოცულობითი დაბაბული მდგომარეობა

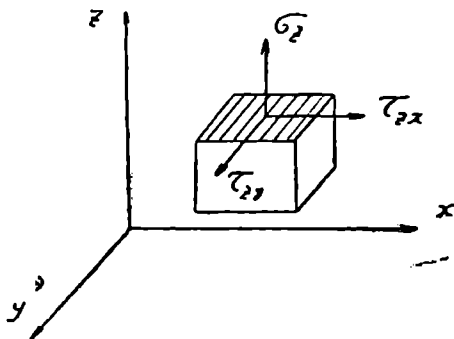
განვიხილოთ სხეულის დაბაბული მდგომარეობის ყველაზე ზოგადი შემთხვევა, როცა სხეულის ნებისმიერ ელემენტზე მოქმედ ძალთა ერთობლიობის დაყვანა შეუძლებელია ისეთ ძალებამდე, რომლებიც მოქმედებენ ერთ წრფეზე ან სიბრტყეში.

გავიხსენოთ თეორემა: იმისათვის, რომ ვიცოდეთ დაბაბულობა სხეულის რომელიმე წერტილში გამავალ ნებისმიერ ფართზე, აუცილებელი და საკმარისია ვიცოდეთ ამავე წერტილში გამავალ სამ ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში ნორმალური და მხები დაბვები.

ვთქვათ ჩვენთვის ცნობილია სამ ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში აღნიშნული დაბვები. ეს სიბრტყეები მივიჩნიოთ საკოორდინატო სიბრტყეებად. მაშინ ნორმალური დაბვები, რომლებიც ამ სიბრტყეების მართობულნი არიან, მიმართულნი იქნებიან ჩვენს მიერ არჩეულ საკოორდინატო ღერძების  $x$ ,  $y$ ,  $z$  შესაბამისად. ეს ნორმალური დაბვები აღვნიშნოთ  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ . მაშასადამე, დაბვა  $\sigma_x$

იქნება  $yz$  სიბრტყის ნორმალური ძაბვა,  $\sigma_y$ — $xz$  სიბრტყისა და  $\sigma_x$ — $xy$  სიბრტყისა, ე. ი. ნორმალურ ძაბვას იმ სიბრტყის ნორმალის ინდექსი აქვს, რომელზედაც იგი მოქმედებს.

მხებ ძაბვას ჩვეულებრივად აღნიშნავენ  $\tau$ -თი, და აძლევენ შესაბამის ინდექსებს, რომელთაგანაც პირველი გვიჩვენებს იმ სიბრტყის ნორმალის მიმართულებას, რომელზედაც თვითონ მოქმედებს,



ნახ. 45.

ხოლო მეორე გვიჩვენებს იმ ღერძის მიმართულებას, რომლის გეგმილსაც წარმოადგენს მოცემული მდგენელი (ნახ. 45). ამრიგად ჩვენთვის ცნობილია 9 ვექტორი.

$$\begin{array}{l} \sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz} \\ \tau_{yx}, \sigma_y, \tau_{yz} \\ \tau_{zx}, \tau_{zy}, \sigma_z \end{array}$$

თუ გამოვალთ ელემენტის წონასწორობიდან, მაშინ 9 ძაბვა შეიძლება დაფიქსირდეს 6-ზე. ამისათვის საჭიროა გარდა ძალთა წონასწორობისა ადგილი არ ქონდეს მბრუნავ მომენტებს. უკანასკნელი პირობის დასაცავად ადგილი უნდა ქონდეს ტოლობას:

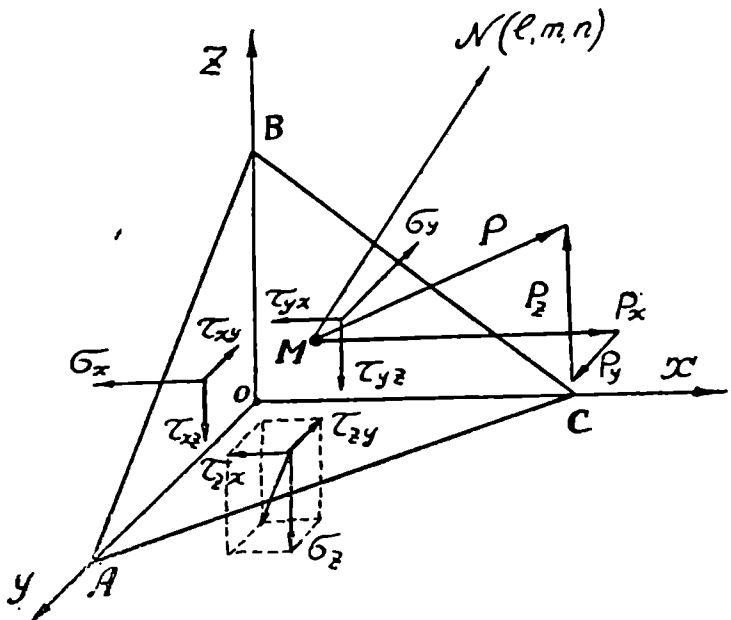
$$\left. \begin{array}{l} \tau_{xy} = \tau_{yx} \\ \tau_{yz} = \tau_{zy} \\ \tau_{xz} = \tau_{zx} \end{array} \right\} \quad (21)$$

ამრიგად, დაგვრჩება 6 ძაბვა, 3 ნორმალური და 3 მხები.

ეხლა გადავიდეთ ზემოთ მოყვანილი თეორემის დამტკიცებაზე, ე. ი. სხვანაირად, რომ ვთქვათ ნებისმიერ ფართზე მოქმედი საძიებელი ძაბვები  $\sigma_n$  და  $\tau$  გამოვსახოთ დარჩენილი 6 ძაბვით:

$$\begin{array}{l} \sigma_n, \sigma_y, \sigma_x \\ \tau_{ny}, \tau_{nx}, \tau_{nz} \end{array}$$

ამ მიზნით განვიხილოთ გამოსაკვლევ სხეულში ტეტრაედრის ფორმის მქონე უსასრულოდ მცირე მოცულობა. ტეტრაედრში გვაქვს სამი ურთიერთ მართობი სიბრტყე  $AOB$ ,  $BOC$  და  $AOC$ , რომელთა გადაკვეთის წერტილიც  $O$  ავიღოთ კოორდინატთა სათავედ, ხოლო წიბოების მიმართულება დავამთხვეოთ კოორდინატთა ღერძების მიმართულებას (ნახ. 46). ტეტრაედრის მეოთხე გვერდი შეიძლება ნებისმიერი კუთხით იყოს დახრილი დანარჩენი გვერდების მიმართ. ჩვენი მიზანია სწორედ ამ ნებისმიერ ფართზე დაეადგინოთ ძაბვები და ვინაიდან ტეტრაედრის მოცულობა უსას-



ნახ. 46. ელემენტარულ ტეტრაედრზე მოქმედი ძაბვები.

რულოდ მკირდება, ამიტომ ეს ფართიც და მასზე აღებული ნებისმიერი  $M$  წერტილიც მიისწრაფვის რალაც წერტილისაკენ, ე. ი. საბოლოოდ გვეცოდინება წერტილის დაძაბული მდგომარეობა, ამ წერტილს სწორედ კოორდინატთა სათავე წარმოადგენს, რომელშიაც სამი ურთიერთმართობი სიბრტყეები გადის.

ვთქვათ ტეტრაედრის დახრილი გვერდის რალაც  $M$  წერტილზე; მოქმედებს ძალა  $P$ , რომელიც ზოგად შემთხვევაში დახრილია ამ

სიბრტყის მიმართ. ეს ძალა შეგვიძლია დავშალოთ კოორდინატთა ღერძების შესაბამის შემადგენლობად:  $P_x$ ,  $P_y$  და  $P_z$ .

თეორემის თანახმად საჭიროა განვსაზღვროთ  $P$  ძალის მიერ ჩვენს გამოსაკვლევ წერტილზე გამოწვეული ნორმალური  $\sigma_n$  და მხები  $\tau$  ძაბვა. ამას ადვილად შევასრულებთ თუ გვეცოდინება  $P_x$ ;  $P_y$  და  $P_z$  მდგენელები. ამიტომ პირველ რიგში შეუდგეთ მათ განსაზღვრას.

თეორემის პირობის თანახმად ტეტრაედრის გვერდით მართობ სიბრტყეებზე (რომლებიც ერთ წერტილში გადიან) მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვები, რომლებიც გამოწვეულია ძაბვის რალაც  $S_x$ ,  $S_y$  და  $S_z$  ვექტორებით, ჩვენთვის ცნობილი არიან. შემოღებული აღნიშვნების თანახმად ეს ძაბვები ასე გამოისახებიან: ნორმალური— $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  და მხები— $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$ ,  $\tau_{zy}$ . ტეტრაედრის წონასწორობიდან გამომდინარე დაცული უნდა იყოს მხები ძაბვების ტოლობის (21) პირობა.

კოორდინატთა ღერძების მიმართ, განსახილველი დახრილი ფართის ნორმალის დახრის კუთხეების კოსინუსები აღვნიშნოთ  $l$ ,  $m$ ,  $n$ , ე. ი.

$$\cos \alpha = l;$$

$$\cos \beta = m;$$

$$\cos \gamma = n.$$

ელემენტარულ ტეტრაედრზე მოქმედებენ მოცულობითი ძალები (მაგალითად, სიმძიმის ძალა) და ზედაპირული ძალები. უსასრულოდ მცირე მოცულობისათვის, მოცულობითი ძალები გაცილებით მცირენი არიან ზედაპირულთან შედარებით, ვინაიდან მოცულობა რადიუსის კუბის პროპორციულად მცირდება, ხოლო ზედაპირი კი რადიუსის კვადრატისა. ამიტომ მოცულობით ძალებს შემდგომი ანგარიშის დროს მხედველობაში არ იღებენ.

დახრილ ფართზე მოქმედი  $P$  ძალის მდგენელების განსაზღვრისათვის, საჭიროა ისინი დავუკავშიროთ ჩვენთვის ცნობილ ნორმალურ და მხებ ძაბვებს. ამ მიზნით გამოვიყენოთ ტეტრაედრის წონასწორობის პირობა, რომლის თანახმადაც კოორდინატთა ღერძების მიმართ  $P$  ძალის პროექციები ტოლნი უნდა იყვნენ ტეტრაედრის მართობ ზედაპირებზე მოქმედი ძალების პროექციების ჯამისა შესაბამის საკოორდინატო ღერძებზე.

ფართი  $ABC$  აღვნიშნოთ  $f$ -ით, ხოლო კოორდინატთა ღერძების მიმართ ამ ფართის პროექციები, ე. ი. ტეტრაედრის გვერდი-

თი ზედაპირები, მაგალითად,  $yz$  სიბრტყეზე აღენიშნოთ  $f_x$ -ით,  $xz$  სიბრტყეზე  $f_y$ -ით და  $xy$  სიბრტყეზე  $f_z$ -ით. ცხადია, რომ:

$$\begin{aligned} f_x &= l \cdot f; \\ f_y &= m \cdot f; \\ f_z &= n \cdot f. \end{aligned}$$

დაეწეროთ  $x$  ლერძის გასწვრივ მოქმედ ძალთა წონასწორობის პირობა.  $x$  ლერძის მიმართულელებით ერთი მხრივ მოქმედებს  $P_x$  ძალა, ხოლო მეორე მხრივ  $f_x$  ფართზე მოქმედი  $\sigma_x$  დაბვა ( $\sigma_x \cdot f_x$  ძალა); შემდეგ  $-f_y$  ფართზე მოქმედი მხები  $\tau_{xy}$  დაბვა ( $\tau_{xy} \cdot f_x$  ძალა) და ბოლოს  $f_z$  ფართზე მოქმედი მხები  $\tau_{yz}$  დაბვა (ე. ი.  $\tau_{yz} \cdot f_x$  ძალა). წონასწორობა დაიწერება ასე:

$$P_x = \sigma_x f_x + \tau_{yz} f_y + \tau_{xy} f_z,$$

ჩავსვათ  $f_x$ ,  $f_y$  და  $f_z$ -ის მნიშვნელობები, გავყოთ  $f$ -ზე და  $\frac{P_x}{f}$  აღენიშნოთ  $S_x$ -ით, მივიღებთ:

$$\frac{P_x}{f} = S_x = \sigma_x l + \tau_{yz} m + \tau_{xy} n$$

ანალოგიურად მივიღებთ:

$$\frac{P_y}{f} = S_y = \tau_{xy} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n$$

$$\frac{P_z}{f} = S_z = \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + \sigma_z n$$

(22)

ეხლა გავიგოთ  $ABC$  ფართის ნორმალზე დაბვის  $S = \frac{P}{f}$  პროექცია. ეს იქნება სწორედ ჩვენი საძიებელი ნორმალური დაბვა, რომელსაც მიყენებული  $P$  ძალა იწვევს. ამ ნორმალური დაბვის  $\sigma_n$  დასადგენად საჭიროა სამივე მდგენელების  $S_x$ ,  $S_y$  და  $S_z$  დაგეგმარება ნორმალზე  $-N$ :

$$\sigma_n = S_n = S_x l + S_y m + S_z n,$$

თუ ჩავსვათ (22)-ის მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$\sigma_n = \sigma_x l^2 + \sigma_y m^2 + \sigma_z n^2 + 2\tau_{xy} lm + 2\tau_{yz} mn + 2\tau_{xz} nl. \quad (23)$$

დამოკიდებულებიდან

$$\tau^2 + \sigma_n^2 = S^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2,$$

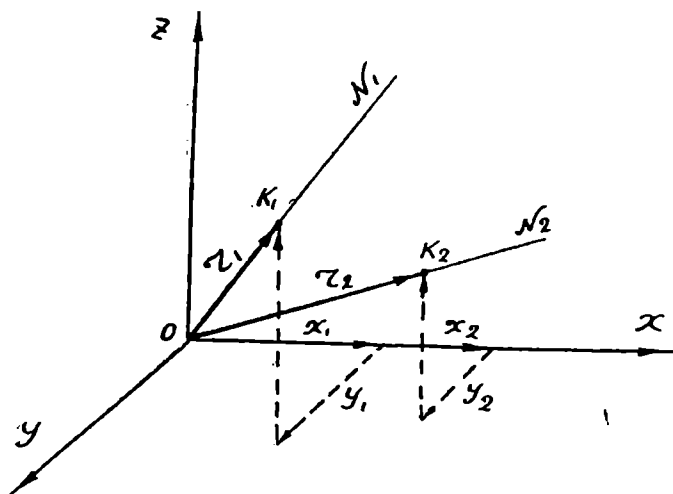
ვიგებთ მხებ დაბვას  $\tau$ :

$$\tau^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2 - \sigma_n^2. \quad (24)$$

როგორც ვხედავთ, თუ მოცემული გვექნება ძაბვათა ექვსი ვექტორი  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}$  და  $\sigma_{yz}$ , ადვილად, განვსაზღვრავთ ნორმალურ  $\sigma_n$  და მხებ  $\tau$  ძაბვებს. ამრიგად, ჩვენი თეორემა დამტკიცებულია.

### 3. მთავარი ღერძები და მთავარი ძაბვები

ცნობილია, რომ ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა ექვსი კომპონენტის ცოდნა. კომპონენტთა შემცირება შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ შევარჩევთ კოორდინატთა ღერძების შესაბამის მიმართულებას. კოორდინატთა სათავედან  $(N)$  ნორმალის ღერძების მიმართულებით, რომლის დახრის კოსი-



ნახ. 47.

ნუსებია  $l, m, n$  გავაგლოთ  $r$ -ვექტორი ( $r = OK$ ), რომლის კვადრატულ იქნება უცნობი ძაბვის ნორმალური კომპონენტის უკუპროპორციული სიდიდისა, ე. ი.

$$r^2 = \frac{C}{\sigma} = x^2 + y^2 + z^2,$$

სადაც  $C$  არის პროპორციულობის კოეფიციენტი;

$x, y$  და  $z$ —ვექტორის მდგენელებია კოორდინატთა ღერძების მიმართ.

ასეთ ვექტორთა რიცხვი მოცემულ წერტილში შეიძლება იყოს უსასრულოდ დიდი რაოდენობით შესაბამისად იმ უამრავ სიბრ-

ტყეებისა, რომელთა გავლება შეიძლება ერთ წერტილში. ამ  $r_1, r_2, \dots, r_n$  ვექტორთა ბოლოების გეომეტრიული ადგილი გვაძლევს რაღაც ზედაპირს, რ-მლის განტოლებასაც ჩვენ მივიღებთ (23) განტოლებიდან, თუ მასში ნორმალის ლერძების მიმართ დახრის კოსინუსებს  $l, m, n$  გამოვსახავთ  $r$  ვექტორის სიგრძითა და მისი ბოლოს კოორდინატებით.

ცხადია:

$$l = \frac{x}{r}, \quad m = \frac{y}{r} \quad \text{და} \quad n = \frac{z}{r}$$

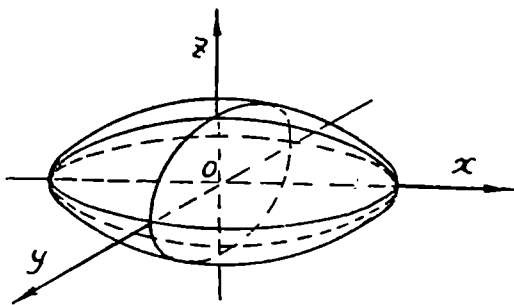
თუ ჩავსვამთ (23) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \sigma_n = \frac{C}{r^2} = \sigma_x \frac{x^2}{r^2} + \sigma_y \frac{y^2}{r^2} + \sigma_z \frac{z^2}{r^2} + 2\tau_{xy} \frac{xy}{r^2} + \\ + 2\tau_{xz} \frac{xz}{r^2} + 2\tau_{yz} \frac{yz}{r^2}, \end{aligned}$$

ანუ

$$\sigma_x x^2 + \sigma_y y^2 + \sigma_z z^2 + 2\tau_{xy} xy + 2\tau_{xz} xz + 2\tau_{yz} yz = C. \quad (25)$$

ამრიგად, ჩვენ მივიღეთ მეორე რიგის ზედაპირის განტოლება. ეს ზედაპირი არ შეიცავს უსასრულოდ დაშორებულ წერტილებს



ნახ. 48.

და ჩაკეტილი ზედაპირია. მეორე რიგის ზედაპირებში (ელიფსოიდი, ჰიპერბოლოიდი და პარაბოლოიდი) ერთადერთ ჩაკეტილ ზედაპირს წარმოადგენს ელიფსოიდი (ნახ. 48). ამრიგად, ვექტორთა ბოლოების გეომეტრიული ადგილი კმნის ელიფსოიდის ზედაპირს, რომელსაც გააჩნია ერთი სიმეტრიის ცენტრი და სამი სიმეტრიის ლერძი.

თუ კოორდინატთა ლერძებს ისე შემოვადრუნებთ, რომ მათ დავამთხვევთ ელიფსოიდის სიმეტრიის ლერძებს, მაშინ კოორდი-

ნატა შემცველი წევრების  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  და  $\sigma_z$  მაგივრად გვექნება  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$ , ხოლო ორმაგინდექსიანი კომპონენტები გაუტოლდებიან ნულს, მაშინ ზედაპირის გახტოლება მიიღებს სახეს:

$$\sigma_1 x^2 + \sigma_2 y^2 + \sigma_3 z^2 = C = r^2 \sigma_n, \quad (26)$$

აქედან

$$\sigma_n = \sigma_1 l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2, \quad (27)$$

ხოლო მხები ძაბვა  $\tau$  დანარჩენ ნებისმიერად დახრილ სიბრტყისათვის გამოსახული იგივე  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$  ნორმალური ძაბვებით იქნება

$$\tau^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2 - \sigma_n^2.$$

ვინაიდან:

$$S_x = \sigma_1 \cdot l;$$

$$S_y = \sigma_2 \cdot m;$$

$$S_z = \sigma_3 \cdot n;$$

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot l^2 + \sigma_2 \cdot m^2 + \sigma_3 \cdot n^2,$$

მაშინ

$$\tau^2 = \sigma_1^2 l^2 + \sigma_2^2 m^2 + \sigma_3^2 n^2 - (\sigma_1 l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2)^2. \quad (28)$$

მაშასადამე, წერტილის დაძაბული მდგომარეობა შეიძლება განვსაზღვროთ მხოლოდ ნორმალური ძაბვებით შემდეგ შემთხვევაში: თუ მოცემულ წერტილში გავლებულ სამი ურთიერთ მართობ სიბრტყეებში მხები ძაბვები ნულის ტოლია, და კოორდინატთა მიმართულებად მიღებულია ამ სიბრტყეთა ნორმალების მიმართულება, რომლებსაც მთავარ მიმართულებას, ანუ მთავარ ღერძებს უწოდებენ. ხოლო ამ სიბრტყეებსა და მათზე მოქმედ ძაბვებს უწოდებენ მთავარ სიბრტყეებსა და მთავარ ძაბვებს.

ამრიგად, როცა კოორდინატთა ღერძებად მიღებულია მთავარი ღერძები, ნორმალური ძაბვა  $\sigma_n$  და ნებისმიერ სიბრტყეში მხები ძაბვა  $\tau$ , გამოითვლებიან ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_1 \cdot l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2 \\ \tau^2 &= \sigma_1^2 l^2 + \sigma_2^2 m^2 + \sigma_3^2 n^2 - (\sigma_1 \cdot l^2 + \sigma_2 \cdot m^2 + \sigma_3 \cdot n^2)^2 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

გარდა მთავარი ნორმალურ ძაბვებისა, გვაქვს აგრეთვე მთავარი მხები ძაბვები. მთავარი ანუ მაქსიმალური, მხები ძაბვები ეწოდება იმ ძაბვებს, რომლებიც მოქმედებენ სიბრტყეებში, რომელთაგანაც თვითეული მიმართულია ერთ-ერთი მთავარი ღერძის მიმართისე, რომ დახარჩენ ორთან ქმნის  $45^\circ$ -იან კუთხეს. თუ სამივე მთა-



ვარი დაბევები განსხვავებული არიან ნულისაგან, მაშინ ასეთი სიბრტყეები გვაქვს სამი, რომლებშიც მოქმედი მხები დაბევები, თანახმად (28) ფორმულისა, გამოითვლება გამოსახულებით:

$$\tau_1 = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2},$$

$$\tau_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2},$$

$$\tau_3 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}.$$

აქედან გამომდინარეობს აგრეთვე, რომ:

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0$$

თუ მთავარ დაბევებს შორის გვექნება დამოკიდებულება:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3,$$

მაშინ ცხადია

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}.$$

თუ ერთ-ერთი მთავარი ნორმალური დაბევა ნულის ტოლია, მაშინ

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}.$$

ხოლო თუ ორი მთავარი ნორმალური დაბევა იქნება ნულის ტოლი, მაშინ მაქსიმალური მხები დაბევა

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1}{2},$$

ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \leq 0,$$

მაშინ:

$$\tau_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = 0; \quad \tau_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} = 0; \quad \tau_3 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2} = 0.$$

მთავარი მხები დაბევების სახელის ნაცვლად შემდგომში ვინმართ მაქსიმალურ მხებ დაბევას, ხოლო მთავარი ნორმალური დაბევის ნაცვლად უბრალოდ მთავარ დაბევას.

ადრე ჩვენ განვიხილეთ ხაზობრივი დაბებული მდგომარეობის შემთხვევაში ნებისმიერი კვეთისათვის  $\sigma_n$  და  $\tau$  დაბევათა პოვნის გრაფიკული მეთოდი. ეს ხერხი შეიძლება განვაზოგადოთ აგრეთვე მოკულობითი დაბებული მდგომარეობის შემთხვევისათვისაც.

კოორდინატთა ლერძებად ავიღოთ  $\sigma_n$  და  $\tau$ . გვეცოდინება რა  $l$ ,  $m$ ,  $n$  ე. ი. კვეთის ნორმალის მიმართულება და მთავარი ძაბვები  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$ , შეგვიძლია (29) ფორმულის მიხედვით გამოვიანგარიშოთ  $\sigma_n$  და  $\tau$ , ე. ი.  $l$ ,  $m$  და  $n$  მნიშვნელობის ყოველ სისტემას მოცემულ სამი მთავარი ძაბვის დროს, შეესაბამება განსაზღვრული წერტილი სიბრტყეზე ( $\sigma_n$ ,  $\tau$ ). როგორც ცნობილია  $l$ ,  $m$  და  $n$  ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან დამოკიდებულებით

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1.$$

ამ სამი სიდიდიდან თუ გვეცოდინება ორი, სავსებით საკმარისია ( $\sigma_n$ ,  $\tau$ ) სიბრტყეზე წერტილის კოორდინატების განსაზღვრისათვის. ამრიგად,  $\sigma_n$ ,  $\tau$ ,  $l$ ,  $m$  და  $n$  ურთიერთ დაკავშირებულნი არიან შემდეგი სამი განტოლებით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_1 l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2, \\ \tau &= \sigma_1^2 l^2 + \sigma_2^2 m^2 + \sigma_3^2 n^2 - (\sigma_1 l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2)^2, \\ l^2 + m^2 + n^2 &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

მაშასადამე, გვაქვს სამი განტოლება ხუთი უცნობით. თუ ამ განტოლებებიდან გამოვრიცხავთ ორ უცნობს, მაგალითად  $m$  და  $n$ -ს მაშინ შეგვიძლია დავამყაროთ დამოკიდებულება  $\sigma_n$ ,  $\tau$  და ნორმალის მიმართულების ერთ-ერთ კოსინუსთან, ამ შემთხვევაში  $l$ -თან. მაშინ  $l$ -ის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება რაღაც ერთი მრუდი სიბრტყეზე ( $\sigma_n$ ,  $\tau$ ).  $l$ -ის ყველა მნიშვნელობისათვის მივიღებთ მრუდთა მთელ ოჯახს. მრუდთა მეორე ოჯახს მივიღებთ  $m$ -ის მნიშვნელობათა სისტემისათვის და მესამე ოჯახს  $n$ -ისათვის. ამრიგად, ჩვენს მიერ შერჩეულ საკოორდინატო სიბრტყეში ( $\sigma_n$ ,  $\tau$ ) გვექნება მრუდეთა სამი ოჯახი. მიეცემთ რა გარკვეულ მნიშვნელობებს  $l$ ,  $m$  და  $n$ -ს, ამით ჩვენ ვირჩევთ თითო მრუდს ყოველ ოჯახიდან, ხოლო მათი გადაკვეთის წერტილი იქნება სწორედ ჩვენი საძიებელი წერტილი  $\sigma_n$  და  $\tau$  კოორდინატებით.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მრუდეთა თვითეული ოჯახის განტოლება, (30)-დან ვსაზღვრავთ სიდიდეებს:  $l^2$ ,  $m^2$  და  $n^2$ :

$$l^2 = \frac{(\sigma_n - \sigma_2)(\sigma_n - \sigma_3) + \tau^2}{(\sigma_1 - \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_3)}; \quad (31)$$

$$m^2 = \frac{(\sigma_n - \sigma_3)(\sigma_n - \sigma_1) + \tau^2}{(\sigma_2 - \sigma_3)(\sigma_2 - \sigma_1)}; \quad (32)$$

$$n^2 = \frac{(\sigma_n - \sigma_1)(\sigma_n - \sigma_2) + \tau^2}{(\sigma_3 - \sigma_1)(\sigma_3 - \sigma_2)}. \quad (33)$$

თუ  $l$ -ს მივცემთ რაიმე განსაზღვრულ მნიშვნელობას, მაშინ (31) განტოლების უბრალო გარდაქმნით მივიღებთ  $\sigma_n$  და  $\tau$ -ს მიმართ წრის განტოლებას. მართლაც:

$$\begin{aligned}(\sigma_n - \sigma_2)(\sigma_n - \sigma_3) + \tau^2 &= l^2(\sigma_1 - \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_3) \\ \sigma_n^2 - (\sigma_2 + \sigma_3)\sigma_n + \sigma_2\sigma_3 + \tau^2 &= l^2(\sigma_1 - \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_3) \\ \left(\sigma_n - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 &= (\sigma_1 - \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_3)l^2 - \sigma_2\sigma_3 + \left(\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2 \\ \left(\sigma_n - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 &= \text{const} = R_1^2,\end{aligned}$$

ე. ი. მივიღეთ წრის განტოლება სიბრტყეში  $(\sigma_n, \tau)$ , რომლის რადიუსიც ტოლია:

$$R_1 = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_3)l^2 - \sigma_2\sigma_3 + \left(\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2},$$

ხოლო წრის ცენტრი მდებარეობს  $\sigma_n$  ღერძზე, რომელიც კოორდინატთა სათავედან დაშორებულია მანძილით:

$$\sigma_{01} = \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}.$$

$l$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის მივიღებთ წრეების მთელ ოჯახს, რომელთაც ერთი საერთო ცენტრი ექნებათ, ხოლო რადიუსი სხვადასხვა, როცა  $l=0$  მივიღებთ წრეს შენდევით რადიუსით:

$$R_{01} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}. \quad (34)$$

შემდეგში მივიღოთ, რომ  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . ასეთი თანათარღობისას

$$R_1 \geq R_{01}.$$

ამრიგად,  $l$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ვღებულობთ კონცენტრულ წრეთა სისტემას, რომელთაგანაც თვითთული შეესაბამება  $l = \text{const}$ . მინიმალურ წრეს ვღებულობთ როცა  $l=0$ .

ანალოგიურად შეგვიძლია მივიღოთ წრეთა მეორე სისტემა  $m$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. ამ ოჯახის წრეთა განტოლება იქნება

$$\left(\sigma_n - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 = R_2^2,$$

სადაც

$$R_2 = \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_3)(\sigma_2 - \sigma_1) m^2 - \sigma_1 \sigma_3 + \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2}, \quad (35)$$

როცა  $m=0$  მაშინ, რადიუსი ტოლია

$$R_{02} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}.$$

როგორც (35)-დან ჩანს:

$$R_2 \leq R_{02}.$$

ამ ოჯახის ყველა წრის ცენტრი მდებარეობს  $\sigma_n$  ღერძზე, რომელიც კოორდინატთა სათავიდან დაშორებულია მანძილით:

$$oo_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}.$$

როგორც ვხედავთ ამ ოჯახის ყველა დანარჩენი წრე მდებარეობს

$$R_{02} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

რადიუსიან წრის შიგნით.

ბოლოს, სხვადასხვა  $n$ -ისათვის მივიღებთ წრეთა მესამე ოჯახს, რომლის განტოლება იქნება

$$\left(\sigma_n - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 = R^2_3,$$

სადაც

$$R_3 = \sqrt{(\sigma_3 - \sigma_1)(\sigma_3 - \sigma_2) n^2 - \sigma_2 \sigma_1 + \left(\frac{\sigma_2 + \sigma_1}{2}\right)^2}.$$

როცა  $n=0$  წრის რადიუსია

$$R_{03} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

და

$$R_3 \geq R_{03}.$$

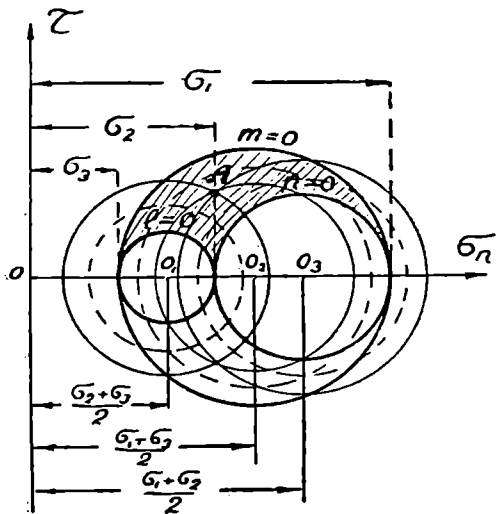
წრეთა ეს ოჯახიც მდებარეობს აგრეთვე  $\sigma_n$  ღერძზე და კოორდინატთა სათავიდან დაშორებულია მანძილით:

$$oo_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}.$$

როგორც  $R_{01}$ ,  $R_{02}$  და  $R_{03}$ -ის გამოსახულებიდან ჩანს:

$$R_{01} + R_{03} = R_{02}.$$

$R_{01}$ ,  $R_{02}$  და  $R_{03}$  რადიუსიან წრეებს უწოდებენ მთავარ წრეებს ( $l=0$ ,  $m=0$ ,  $n=0$ ), სამივე ჯგუფის წრეები ავილოთ სიბრტყეში (ნახ. 49). სქელი ხაზებით აგებულია მთავარი წრეები. თუ მოცემული გვაქვს ნორმალის მიმართულება ე. ი. ცნობილია ორი სიდიდე  $l$ ,  $m$  და  $n$ -დან (მესამე დამოკიდებული იქნება დანარჩენ ორზე), მაგალითად  $l$  და  $m$ , მაშინ მათ შესაბამის წრეთა გადაკვეთის წერტილის კოორდინატები გვაძლევენ ნორმალურ  $\sigma_n$  და



ნახ. 49.

შებ  $\tau$  ძაბვებს (ნახ. 49, წერტილი  $A$ ). ნახაზიდან აღვილად ჩანს, რომ მთავარი წრეები  $\sigma_n$  ღერძს კვეთენ მთავარ, ძაბვათა  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$  ტოლი მონაკვეთებით.

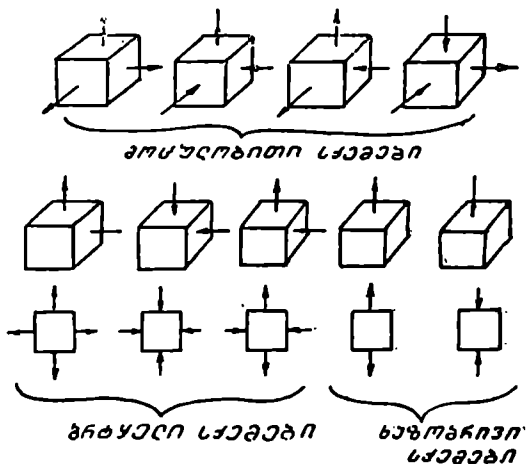
#### 4. მთავარ ძაბვათა სქემები

მთავარ ძაბვათა სქემა წარმოდგენს ისეთ გრაფიკულ გამოსახულებას, რომელიც ნათელ წარმოდგენას გვაძლევს მათ არსებობაზე და ნიშანზე, ე. ი. წერტილის დაძაბულ მდგომარეობაზე.

წარმოვიდგინოთ უსასრულოდ მცირე კუბი, რომლის ცენტრშიც იყოს გამოსაკვლევი წერტილი, თუ კუბის სამ წიბოს დავამ-

თხევით მთავარი ღერძების მიმართულებას, მაშინ მის გვერდით სამ წახნაგზე იმოქმედებს მთავარი ძაბვები, რომელთა არსებობა და ნიშანი სწორედ განსაზღვრავს წერტილის დაძაბულ მდგომარეობას.

მთავარი ძაბვების სქემის ცხრა სახე არსებობს (ნახ. 50). ოთხი მოცულობითი სქემა, რომელიც შეეხამება მოცულობით დაძაბულ მდგომარეობას, ე. ი. როდესაც სამივე მთავარი ძაბვა განსხვავებულია ნულისაგან. პირველი მოცულობითი სქემა ყოველმხრივ გამკვირვებულ დაძაბულობის მაჩვენებელია, ხოლო მეოთხე—ყო-



ნახ. 50.

ველმხრივი კუმშვისა. დანარჩენი ორი კი გაკვირვებისა და კუმშვის ერთდროული არსებობის მაჩვენებელია.

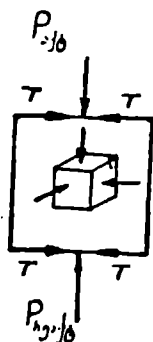
სამი სიბრტყითი სქემა, რომელიც შეესაბამება სიბრტყით დაძაბულ მდგომარეობას, ე. ი. როდესაც ერთ-ერთი მთავარი ძაბვა ნულის ტოლია. პირველი და მეორე მაჩვენებელია სიბრტყითი გაკვირვებისა და კუმშვისა, ხოლო მესამე მათი ერთდროული არსებობისა.

ორი ხაზობრივი სქემა, რომელიც შეესაბამება ხაზობრივ დაძაბულ მდგომარეობას, ე. ი. როდესაც მხოლოდ ერთი მთავარი ძაბვა არის განსხვავებული ნულისაგან, ერთი სქემა გვიჩვენებს ხაზობრივ კუმშვას, ხოლო მეორე ხაზობრივ გაკვირვებას.

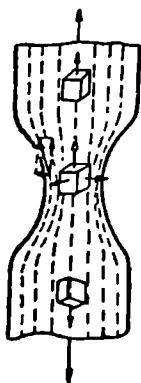
ლითონების წნევიტ დამუშავებაში ყველაზე უფრო გავრცელებ-

ბულია მოცულობითი სქეზები, განსაკუთრებით არათანაბარი კუმშვისა და კუმშვა-გაჭიმვის სქემები. ხაზობრივი კუმშვის სქემა ფაქტიურად არ გვხვდება, ვინაიდან საკონტაქტო ზედაპირზე არსებული ხახუნის ძალები იწვევენ ხაზობრივი სქემის მოცულობით სქემად გარდაქმნას (ნახ. 51), მხოლოდ ცალკეულ შემთხვევებში შეიძლება შევხვდეთ ხაზობრივი კუმშვის სქემას.

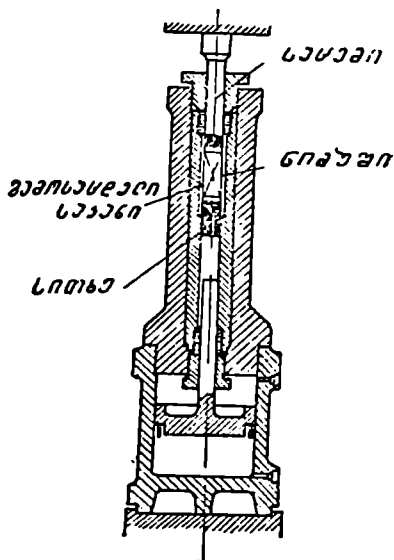
ხაზობრივი გაჭიმვის სქემას ჩვენ ვხვდებით თანაბარი განივ-



ნახ. 51.



ნახ. 52.



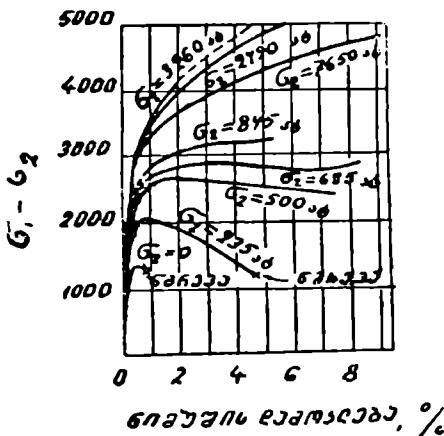
ნახ. 53. კარმანის ხელსაწყო.

კვეთის მქონე სხეულების გაჭიმვისას. თუ ნიმუში დეფორმაციის პროცესში მიიღებს ადგილობრივ შევიწროებას (ნახ. 52), მაშინ წარმოქმნილ ყელში გაჭიმვის ხაზობრივი სქემა ადგილს უთმობს ყოველმხრივ არათანაბარი გაჭიმვის მოცულობით სქემას.

სხეულის დაძაბული მდგომარეობის სქემის სახე დიდ გავლენას ახდენს მის პლასტიკურობაზე და დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე. ამის საუკეთესო დადასტურებას წარმოადგენს კარმანის ცდა მარმარილოზე. კარმანის ხელსაწყო (ნახ. 53) მარმარილოს ცილინდრული ნიმუშის ხაზობრივი კუმშვისა და გვერდითი ზედაპირული წნევის შექმნის საშუალებას იძლევა.

როდესაც მან იმოქმედა მხოლოდ ხაზობრივი კუმშვით ( $\sigma_1$ ) მარმარილო, როგორც მყიფე მასალა ყოველგვარი პლასტიკური დეფორმაციის გარეშე დაირღვა. გვერდითი წნევის ( $\sigma_2$ ) გაზრდით მარ-

მარილომ პლასტიკური დეფორმაციისადმი მიდრეკილება გამოამ-  
ქლავნა და მით მეტი იყო ეს მიდრეკილება, რაც მეტი იყო— $\sigma_2$ . ეს  
ნათლად ჩანს კარმანის მრუდებიდან (ნახ. 54). მრუდები გვიჩ-



ნახ. 54. მარმარილოს ყოველმხრივი კუმშვის მრუდები.

მოადგენს აგრეთვე ალუმინის შენადნობისაგან დღუშის ტვიფერა  
(ნახ. 55). როდესაც ტვიფერის დახრა ნაქედის გამოგდებისათვის

ვენებს. აგრეთვე მთავარი  
ძაბვების სქემის გავლენას  
დეფორმაციისადმი წინააღ-  
მდეგობაზე. თუ ავიღებთ  
ერთი და იგივე დეფორმა-  
ციის სიდიდეს, მაგალითად,  
5%-ს და გამოვთვლით სა-  
ჭირო ღერძულ ხვედრით  
წნევას  $\sigma_1$ , სხვადასხვა გვერ-  
დითი წნევების  $\sigma_2$  დროს  
და ანგარიშს დავაჯანებთ  
ცხრილის სახით, აშკარად  
დავინახავთ, რომ წინააღმ-  
დეგობა იზრდება გვერდითი  
ხვედრითი წნევის გაზრდით.

ძაბვათა სქემის პლასტი-  
კურ თვისებებზე გავლენის  
საუკეთესო მაგალითს წარ-

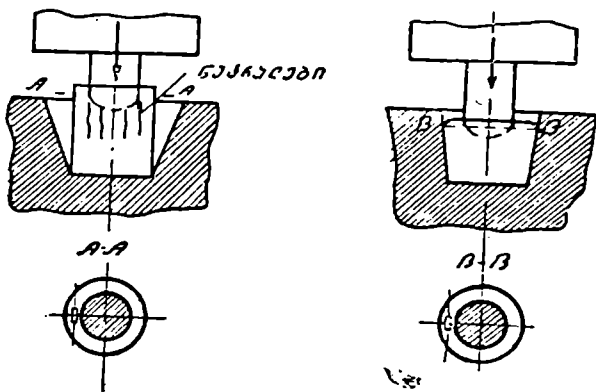
ცხრილი 3

№	სხვაობა $\sigma_1 - \sigma_2$ (ნახ. 54-ის თანახმად) კგ/სმ <sup>2</sup>	$\sigma_2$ კგ/სმ <sup>2</sup>	5% დეფორმაციის მისაღებად საჭირო წნევა კგ/სმ <sup>2</sup>	$\sigma_2/\sigma_1$
1	2500	500	3000	0,167
2	2800	685	3485	0,197
3	3200	845	4045	0,219
4	4300	1650	5950	0,272
	4850	2490	7340	0,339

საკმარისად დიდი იყო ( $5 \div 6^\circ$ ) ლებულობდნენ გვერდით ბზარებს,  
ვინაიდან ტანგენციალური მიმართულებით გამჭიმავი ძაბვები ჩნდ-  
ებოდა. მცირე დახრების ( $1 - 1,5^\circ$ ) გამოყენების შემდეგ ეს დეფექ-  
ტი თავიდან იქნა აცილებული. ნაქედის გამოგდებას ახდენენ სპე-  
ციალური გამოგდებით. უკანასკნელ შემთხვევაში აღგილი ჰქონდა  
ყოველმხრივ არათანაბარი მკუმშავი ძაბვების სქემის წარმოქმნას.

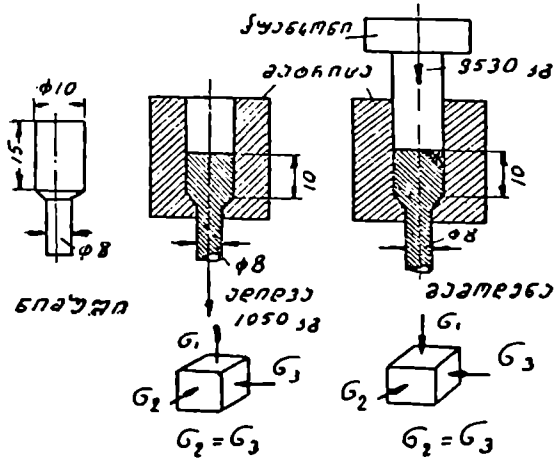


მთავარ ძაბვათა სქემის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე გავლენის თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს ს. ი. გუბკინის



ნახ. 55. დგუშის ტვიფრვა დიდი და მცირე დახრის ტვიფრებში.

შიერ ჩატარებული ცდა გამოდენისა და ადიდვის შემთხვევაში (ნახ. 56), როგორც გამოიჩენა სპილენძის ნიბუშის ერთი და იგი-

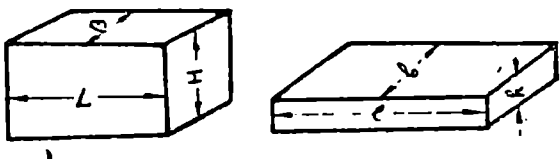


ნახ. 56. დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე მთავარ დაძაბულობათა სქემის გავლენის ექსპერიმენტი (გუბკინის მიხედვით).

ვე ხარისხით დეფორმირებისათვის ადიდვის შემთხვევაში დაგვიკირდა 1050 კგ დატვირთვის მიყენება, ხოლო გამოდენისას კი 3530 კგ. მიყენებულ ძალთა ასეთი სხვაობა სწორედ შედეგია ძაბვათა სქემის სხვადასხვაობისა. კუმშვა-გაქიმვის სქემის შემთხვევაში შედარებით ადილია კრიტიკული მხები ძაბვის მიღწევა ვიდრე ყოველმხრივ არათანაბარი კუმშვის სქემის დროს, ხოლო თუ კუმშვა ყოველმხრივ თანაბარია, თანახმად წინა პარაგრაფისა, მხები ძაბვები საერთოდ არ გვექნება (უფრო სწორედ სხეულის შიგნით ისინი ერთმანეთს გააბათილებენ) და, მაშასადამე, პლასტიკურობის განვითარებაც შეუძლებელი იქნება.

### § 3. მთავარი დეფორმაციები და მათი სქემები

პლასტიკურ დეფორმაციას მთავარი ღერძების მიმართულებით უწოდებენ მთავარ დეფორმაციებს. მთავარი დეფორმაციების გამოსახვის სხვადასხვა სახეთა ნათელსაყოფად განვიხილოთ რაიმე სხეულის დეფორმაცია. მაგალითისათვის ავიღოთ მარტივი, ვთქვათ მართკუთხა პარალელოპიპედის ფორმის მქონე სხეული, რომლის ზომებიც დეფორმაციამდე იყო  $H$ ,  $B$  და  $L$ , ხოლო დეფორმაციის შემდეგ  $h$ ,  $b$  და  $l$  (ნახ. 57).



ნახ. 57.

მთავარი ღერძების მიმართულებით ზომების ცვლილებას უწოდებენ აბსოლუტურ მთავარ დეფორმაციებს, ე. ი. აბსოლუტური მთავარი დეფორმაციებია:

$$\Delta h = H - h;$$

$$\Delta b = B - b;$$

$$\Delta l = L - l.$$

დეფორმაციებზე უფრო ნათელ წარმოდგენას იძლევა არა აბსოლუტური, არამედ ფარდობითი მთავარი დეფორმაცია, რომელიც წარმოადგენს აბსოლუტური მთავარი დეფორმაციის ფარდობას

შესაბამისი ზომის ერთეულთან. ფარდობით მთავარ პლასტიკურ დეფორმაციებს შემდეგში ჩვენ უწოდოთ უბრალოდ მთავარი დეფორმაციები და აღნიშნოთ ასოთი  $\delta$  (ან  $\varphi$ ) მთავარ დრეკად დეფორმაციას კი აღნიშნავენ ასოთი  $\varepsilon$ .

არჩევენ მთავარი დეფორმაციის სამ სახეს:

I სახის მთავარი დეფორმაცია წარმოადგენს ზომის აბსოლუტური ცვლილებების ფარდობას საწყის ზომასთან:

$$\left. \begin{aligned} \varphi'_1 &= \frac{\Delta h}{H}; \\ \varphi'_2 &= \frac{\Delta b}{B}; \\ \varphi'_3 &= \frac{\Delta l}{L}. \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

II სახის მთავარი დეფორმაცია წარმოადგენს ზომის აბსოლუტური ცვლილებების ფარდობას საბოლოო ზომასთან:

$$\left. \begin{aligned} \varphi''_1 &= \frac{\Delta h}{h}; \\ \varphi''_2 &= \frac{\Delta b}{b}; \\ \varphi''_3 &= \frac{\Delta l}{l}. \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

III სახის მთავარ დეფორმაციებს განსაზღვრავენ როგორც თანმიმდევრული მცირე დეფორმაციების ჯამს. ზოგადად, ვთქვათ გრძივი მიმართულებით გამოისახება ასე

$$\delta_x = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{l_{i+1} - l_i}{l_i}$$

საკმარისად მცირე ნაზრდის  $l_{i+1} - l_i$  ფარგლებში ჩვენ მივიღებთ:

$$\delta_x = \int_L^{L+\Delta l} \frac{dx}{x} = \ln \frac{L+\Delta l}{L} = \ln \left( 1 + \frac{\Delta l}{L} \right) = \ln \frac{l}{L}.$$

საბოლოოდ მესამე წესით გამოსახული მთავარი დეფორმაციები იქნება:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= l_n \frac{h}{H}; \\ \delta_2 &= l_n \frac{b}{B}; \\ \delta_3 &= l_n \frac{l}{L}. \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

დეფორმაციათა ამ უკანასკნელ გამოსახულებების უპირატესობა ის არის, რომ იგი აკმაყოფილებს პირობას: თანმიმდევრული დეფორმაციების ჯამი ტოლია ჯამური დეფორმაციისა.

ამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ ნიმუშის გაჭიმვის პროცესი. გაჭიმვა გავყოთ ორ სტადიად და გამოვიანგარიშოთ სამივე სახის ფორმულით თვითეული სტადიისათვის ფარდობითი დეფორმაციები და შევადაროთ იგივე ფორმულებით გამოანგარიშებულ ჯამურ დეფორმაციას. თვალსაჩინოებისათვის ანგარიში ვაწარმოოთ ცხრილის სახით.

ცხრილი 4

დეფორმაციის სახე	ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო ფორმულა	ნიმუშის სიგრძის ცვლილება, მმ		
		პირველი სტადია	მეორე სტადია	ორივე სტადიაში
		$L=36$ $L+\Delta l=36+8=44$	$L=44$ $L+\Delta l=44+8=52$	$L=36$ $L+\Delta l=36+16=52$
I	$\varphi' = \frac{\Delta l}{L}$	$\varphi' = \frac{8}{36} = 0,2222 = 22\%$	$\varphi' = \frac{8}{44} = 0,1818 = 18\%$	$\varphi' = \frac{16}{36} = 0,4444 = 44\%$
II	$\varphi'' = \frac{\Delta l}{l}$	$\varphi'' = \frac{8}{44} = 0,1818 = 18\%$	$\varphi'' = \frac{8}{52} = 0,1538 = 15\%$	$\varphi'' = \frac{16}{52} = 0,3077 = 31\%$
III	$\delta = l_n \frac{l}{L}$	$\delta = l_n \frac{44}{36} = 0,2007 = 20\%$	$\delta = l_n \frac{52}{44} = 0,1670 = 17\%$	$\delta = l_n \frac{52}{36} = 0,3677 = 37\%$

როგორც ვხედავთ პირველი ფორმულის გამოყენებისას ცალკეულ დეფორმაციათა ჯამი ( $0,2222 + 0,1818 = 0,4040$ ) ნაკლებია ჯამურ დეფორმაციაზე ( $0,4444$ ). მეორე ფორმულის დროს ცალკეულ დეფორმაციათა ჯამი ( $0,1818 + 0,1538 = 0,3356$ ) მეტია ჯამურ დეფორმაციაზე ( $0,3077$ ), ხოლო მესამე ფორმულის გამოყენებისას

ცალკეულ დეფორმაციათა ჯამი ( $0,2007+0,1670=0,3677$ ) ტოლია ჯამური დეფორმაციისა ( $0,3677$ ).

რადგან მესამე სახის დეფორმაციები გეაძლევენ ზუსტ წარმოდგენას სხეულის ფორმაცვლილებების ხარისხზე, ამიტომ მათ უწოდებენ ნამდვილ მთავარ დეფორმაციებს და განსხვავებით დანარჩენი ორი სახის დეფორმაციისაგან აღნიშნავენ  $\delta$  ასოთი.

პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია დეფორმაციის მთავარი კომპონენტების  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  გამოთვლა ათობით ლოგარითმებში, ვიდრე ნატურალურში. თუ გამოვიყენებთ გადასვლის მოდულს ( $M=2,303$ ) გვექნება:

$$\delta_1 = M \cdot \lg \frac{h}{H}, \quad \delta_2 = M \cdot \lg \frac{b}{B}; \quad \delta_3 = M \cdot \lg \frac{l}{L}.$$

ლითონების წნევით დამუშავებაში გაკიმვის დეფორმაცია მიღებულია დადებითად, ხოლო კუმშვის დეფორმაცია—უარყოფითად.

მთავარი დეფორმაციები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან გარკვეული დამოკიდებულებით, რომელიც გამომდინარეობს მოცულობის მუდმივობის პირობიდან. ეს პირობა იმაში მდგომარეობს, რომ მოცულობა დეფორმაციის პროცესში მიღებულია მუდმივად. ამ პირობის თანახმად სხეულის მოცულობა დეფორმაციამდე ტოლი უნდა იყოს მისი მოცულობისა დეფორმაციის შემდეგ, ე. ო.

$$V_{HBL} = V_{hbl}$$

მაშასადამე, მართკუთხა პარალელპიპედის დეფორმაციის დროს:

$$HBL = hbl$$

აქედან

$$\frac{h \cdot b \cdot l}{H \cdot B \cdot L} = 1$$

უკანასკნელის გალოგარითმებით მივიღებთ:

$$l_n \frac{h}{H} + l_n \frac{b}{B} + l_n \frac{l}{L} = 0,$$

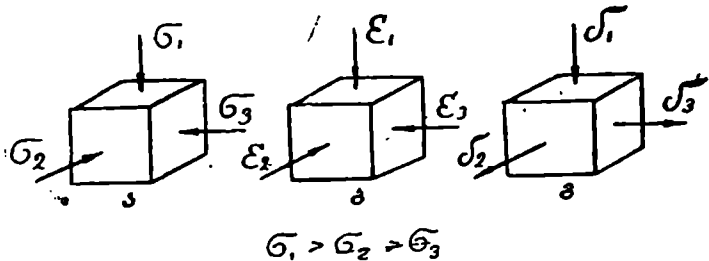
ე. ო.

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0.$$

ამრიგად, მთავარი დერძების გასწვრივ მთავარ ნამდვილ დეფორმაციათა ჯამი ნულის ტოლია. პრაქტიკული გამოთვლების სიზუსტის ფარგლებში ეს პირობა სავსებით მისაღებია და იგი ითვლება-

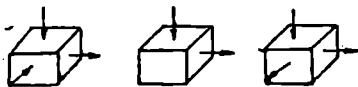
პლასტიკურობის ერთ-ერთ ძირითად კანონად. ეს კანონი მეტად დიდ დახმარებას გვიწევს სხეულის დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრის დროს. მართლაც თუ როგორმე დავადგენთ დეფორმაციის ორ მთავარ კომპონენტს, ამ კანონის თანახმად ადვილად გავიგებთ შესამესაყ.

მთავარი ძაბვების სქემების შესაბამისად არსებობს აგრეთვე მთავარი პლასტიკური დეფორმაციის სქემები, რომლებიც გვიჩვენებენ დეფორმაციათა არსებობას და მათ ნიშნებს. უნდა გავარჩიოთ ერთმანეთისაგან მთავარი პლასტიკური დეფორმაციის სქემა და მთავარი დრეკადი დეფორმაციის სქემა. ერთი და იგივე



ნახ. 58. მთავარი სქემების (ძაბვების, დრეკადი დეფორმაციის და პლასტიკური დეფორმაციის) შედარება: ა—მთავარი ძაბვების სქემა; ბ—მთავარი დრეკადი დეფორმაციის სქემა; გ—მთავარი პლასტიკური დეფორმაციის სქემა.

დაძაბულობის სქემის დროს მთავარი დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების სქემები შეიძლება განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან. მაგალითად, ყოველმხრივ არათანაბარი კუმშვისას, სამივე



ნახ. 59. მთავარი შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაციის შესაძლებელი სქემები.

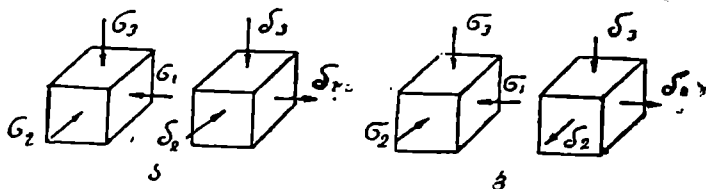
დრეკადი დეფორმაციები შეიძლება გვექონდეს მკუმშავი, მაშინ როდესაც სამ პლასტიკურ დეფორმაციისაგან ერთი გვექნება მკუმშავი, ხოლო დანარჩენი გაშეშავი (ნახ. 58).

შეუდგომში მთავარი პლასტიკური დეფორმაციის სქემას

უწოდოთ უბრალოდ მთავარი დეფორმაციის სქემა. მოცულობის მუდმივობის პირობის თანახმად, სამი მთავარი დეფორმაციიდან ერთ-ერთი ყოველთვის ტოლია დანარჩენი ორის ჯამისა და მათი საწინააღმდეგო ნიშანი აქვს. აქედან გამომდინარე მთავარ დეფორ-

მაციათა სულ სამი სქემა არსებობს (ნახ. 59), მათ შორის ორი მოცულობითია და ერთი სიბრტყობრივი.

მთავარ ძაბვათა და მთავარ დეფორმაციათა სქემის ერთობლიობა გვაძლევს დეფორმაციის მექანიკურ სქემას. დეფორმაციის მექანიკური სქემა სრულყოფილ წარმოდგენას იძლევა სხეულის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. დეფორმაციის პროცესები შეიძლება ჩაითვალოს მსგავსად მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ მათ ერთი და იგივე მექანიკური სქემა გააჩნიათ. მაშასადამე, დეფორ-



ნახ. 60. დეფორმაციის მექანიკური სქემები:  
ა—გამოდენა, ბ—მოცულობითი დასმა.

მაციის სხვადასხვა პროცესები შეიძლება დავაჯგუფოთ მათი მექანიკური სქემების მიხედვით. მაგალითად, გამოდენისა და დასმის მექანიკური სქემები წარმოდგენილია მე-60 ნახ-ზე.

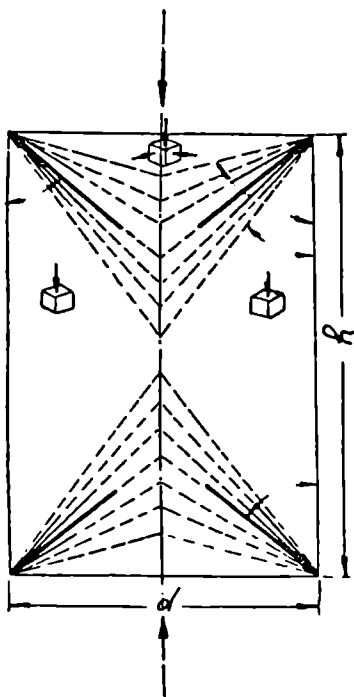
#### § 4. გარეგანი ხახუნი

პლასტიკური დეფორმაციის მსვლელობაზე დიდ გავლენას ახდენს გარეგანი ხახუნი. თუ დეფორმაციის პროცესში ლითონი გადაადგილდება მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის მიმართ, მაშინ ლითონსა და ინსტრუმენტს შორის გაჩნდება ხახუნის ძალა. განსხვავებით იმ ხახუნის ძალისაგან, რომელსაც ადგილი აქვს ერთი და იგივე სხეულის ცალკეული ნაწილების ურთიერთ გადაადგილებისას (შინაგანი ხახუნი), მას უწოდებენ გარეგანი ხახუნის ძალას. გარეგანი ხახუნის შედეგია:

1) დეფორმაციის პროცესში გარეგანი ხახუნის ძალები იწვევენ მთავარი ძაბვების სქემის შეცვლას და, მაშასადამე, დეფორმაციის მექანიკური სქემის შეცვლასაც. ვინაიდან ეს ძალები სხეულის მოცულობის მიმართ არაერთნაირად მოქმედებენ, ამიტომ მათ მიჰყვებათ როგორც ძაბვების ისე დეფორმაციების არათანაბარ განაწილებისაქენ. საკონტაქტო ზედაპირის მახლობლად, სადაც მოქმედებენ გარეგანი ხახუნის ძალები, ჩნდება ე. წ. გაძნელებული დეფორმაციის ზონა (ნახ. 61). საბოლოოდ ლითონის მოცულობის

დაყოფა დეფორმაციის სხვადასხვა ხარისხის უბნებად, ხდება მიზეზი დამატებითი ძაბვების წარმოქმნისა.

2) გარეგანი ხახუნის ძალები მოითხოვენ დამატებით მუშაობას მათ გადასალახავად, ზრდიან ლითონის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობას, და, მაშასადამე, დეფორმაციისათვის საჭირო ენერგიის ხარჯს.



ნახ. 61.

3) გარეგანი ხახუნის ძალები მოქმედებენ მადეფორმირებელ ინსტრუმენტას მუშაობის ხანგრძლიობაზე, იწვევენ მის გახურებას, მდგრადობის შემცირებას, ინტენსიურ ცვეთას და სხვა.

როგორც ვხედავთ ლითონების წნევით დამუშავებაში გარეგანი ხახუნი მეტად დიდ როლს თამაშობს.

ხახუნის ძალის სიდიდის რაოდენობრივი დახასიათებისათვის ტექნიკურ გამოთვლებში სარგებლობენ ხახუნის კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს ხახუნის ძალისა და ნორმალური დატვირთვის ფარდობას, ე. ი.:

$$f = \frac{T}{N}; \text{ აქედან } T = f \cdot N,$$

სადაც  $T$  არის ხახუნის ძალა;

$N$ —ნორმალური დატვირთვა ხახუნის სიბრტყეზე;

$f$ —პროპორციულობის, ანუ ხახუნის კოეფიციენტი.

ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ამონტონის კანონი, რომლის თანახმადაც შემხები ზედაპირების მოცემულ ფიზიკურ პირობებში, ალებულ მოხახუნე წყვილისათვის ხახუნის ძალის  $T$  შეფარდება ნორმალურ ძალასთან  $N$ , წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ამონტონის კანონი მეტად მიახლოებითია და იმით სარგებლობადასაშვებია მხოლოდ წნევათა ცვლილების მცირე ზღვრებში. ამი-



ტომ ხახუნის კოეფიციენტი წარმოადგენს ხახუნის ძალას მეტად მიახლოებით და პირობით რაოდენობრივ მახასიათებელს. გარდა ამისა იგი თვით პროცესის მიმდინარეობის დროსაც კი იცვლება და ძნელად შესასწავლი ხდება. ამის გამოა, რომ საკმარის სიძნელებებს ვაწყდებით ხახუნის რაოდენობრივ მახასიათებლების დადგენისა და გაზომვის დროს.

ხახუნის თეორიის ჩამოყალიბების პირველი ცდები ეკუთვნის გერმანელ მეცნიერს ლ. პრანდტლს (1925) და საბჭოთა მეცნიერს ი. ი. ფრენკელს (1926). ხახუნის ძალის წარმოქმნაში არსებით როლს თამაშობს მოლეკულური ძალები, რომლებიც მოქმედებენ მოხახუნე სხეულთა მოლეკულებს შორის. საბჭოთა მეცნიერმა ბ. ვ. დერიაგინმა, მხედველობაში მიიღო რა მოლეკულური მიზიდულობის ძალები, გამოიყვანა ე. წ. ხახუნის ორწევრა კანონი:

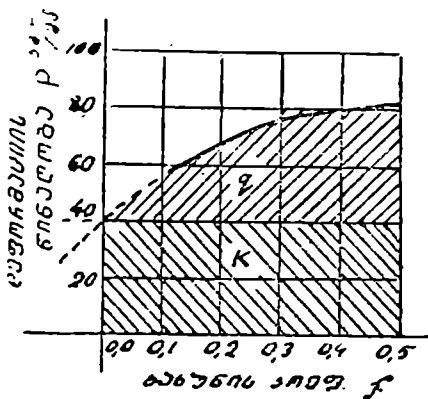
$$T = f(N + SP_0),$$

სადაც  $S$  არის ზედაპირების კვადრატული შეხების ფართი;

$P_0$  — ზეედრითი მოლეკულური შეჭიდულობის ძალა.

როგორც ბ. ვ. დერიაგინის, ვ. პ. ლაზარევის, ი. ვ. კრაგელსკის და სხვათა მიერ ჩატარებული მრავალი ექსპერიმენტი მეტყველებს, ხახუნის ეს უკანასკნელი კანონი გაცილებით ზუსტად ასახავს მოვლენას ვიდრე ზემოთ მოყვანილი ამონტონის კანონი.

დერიაგინი დიდ მნიშვნელობას ანიჭებს შემხებ ზედაპირთა უსწორმასწორობას. მაგრამ, ვინაიდან ხახუნს ადგილი აქვს აგრეთვე ოპტიკურად გაპარიალებულ მინის დროსაც, ამიტომ იგი უშეუბნებლად, რომ უსწორმასწორობას, რომელზედაც დამოკიდებულია ხახუნი, აქვს მოლეკულური რიგის ზომები, და იგი შედეგია მატერიის მარცვლოვანი აღნაგობისა. დერიაგინის ფორმულის გამოყვანა ემყარება შემდეგ მოსაზრებას. ორი სხეულის შეხებისას წარმოქმნილი ხახუნის  $T$  ძალა წარმოადგენს შემდეგი ძალების ჯამს; ნორმალუ-



წახ. 62. ხახუნის კოეფიციენტის გავლენა ლითონის დეფორმაციისა და წინააღმდეგობაზე.

რი წნევა  $N$ , მიზიდულობის ძალა  $A$  და განზიდვის ძალა  $R$ , რომლითაც მოქმედებენ სხეულის ზედაპირული ფენის ატომები ერთმანეთზე. როგორც  $A$  ისე  $R$  ძალა მიმართულია ზედაპირისადმი გარკვეული კუთხით.  $R$ -ის დახრის  $\alpha$  კუთხე (ნახ. 63) მაჩვენებელია შემხები ზედაპირების უსწორმასწორობისა და წარმოადგენს ელემენტარულ უსწორმასწორობათა (შვერილები) დახრის ერთგვარ საშუალო კუთხეს. დერიაგინის თანახმად

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_t}{R_n} = f = \text{const},$$

სადაც  $R_n$  და  $R_t$ — $R$  ძალის ნორმალური და ტანგენციალური მდგენელებია.  $A$ -ს ნორმალური და ტანგენციალური მდგენელები იყოს  $A_n$  და  $A_t$ , მაშინ:

$$R_t = T + A_t$$

და

$$R_n = N + A_n,$$

აქედან

$$T = f(N + A_n) - A_t.$$

ვინაიდან  $A_t$  ძალიან მცირეა, შეგვიძლია დავწეროთ .

$$T = f(N + A_n) = f(N + N_0). \quad (39)$$

აქ  $N_0$  შეკიდულობის ის ძალაა, რომელიც საჭიროა ზედაპირის აგლეჯისათვის.

$$N_0 \approx A_n.$$

თუ ორი ზედაპირის შეხების ქეშმარიტ ფართს აღვნიშნავთ  $S$ -ით, მაშინ  $P_0 = \frac{N_0}{S}$  იქნება ხვედრითი შეკიდულების სიდიდე, ანუ ხვედრითი მიკვრის სიდიდე.

(39) ტოლობა შეიძლება ასე დავწეროთ

$$T = f(N + SP_0), \quad (40)$$

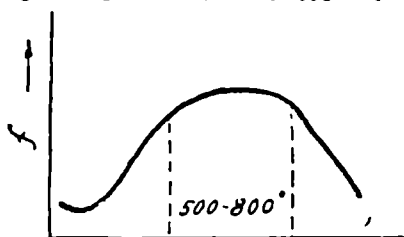
მაშასადამე, მივიღეთ ხახუნის კანონის ახალი გამოსახულება.

ჩვეულებრივად  $S$  სიდიდე ძალიან მცირეა და სრიალის ნორმალურ პირობებში ხახუნის კოეფიციენტზე გავლენას არ ახდენს. პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში ლითონის თელვის გამო ქეშმარიტი შეხების სიდიდე  $S$  ძალიან იზრდება, რის გამოც პლასტიკურ დეფორმაციისას გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტი შესამჩნევად იზრდება, ვიდრე ლითონთა იგივე წყვილისათვის ჩვეულებრივი სრიალის დროს.

გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის გაზრდას ხელს უწყობს აგრეთვე პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში ლითონის ახალ-ახალი ზედაპირული ფენების გამოსვლა. ლითონის ამ ახალი ფენის ზედაპირი ნაკლებ გაქუქუქიანებულია ვიდრე ნამზადის ზედაპირი, რის გამოც აღნიშნული კოეფიციენტის მნიშვნელობა მატულობს.

ხახუნის კოეფიციენტი ძირითადად დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: ლითონის გეარობაზე, ზედაპირულ მდგომარეობაზე, ტემპერატურაზე და დეფორმაციის სიჩქარეზე.

ერთ-ერთ ყველაზე რთულ ფაქტორს წარმოადგენს ტემპერატურის გავლენის ფაქტორი, რომელზედაც აგრეთვე დამოკიდებულია მთელი რიგი სხვა ფაქტორები როგორცაა: გლინების ზედაპირის და ლითონის ზედაპირის მდგომარეობა, საცხი მასალის მდგომარეობა და მოქმედება, საკონტაქტო ზედაპირზე ხვედრითი წნევა და სხვა. ამ ფაქტორების გავლენა ისეა გადახლართული ერთმანეთში, რომ ძნელი ხდება თვით „ტემპერატურული ფაქტორის“ გავლენის შესწავლა. ამით უნდა აიხსნას სწორედ ის გარემოება, რომ ხშირად რიგი მკვლევარებისა ერთმანეთის საწინააღმდეგო დასკვნებსაც კი იძლევიან. მიუხედავად ამისა დღემდე არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადოებით მივდივართ იმ დასკვნამდე, რომ არსებობს გარკვეული ხასიათის მრუდი, რომელიც გამოხატავს ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულებას ტემპერატურისაგან. ამ მრუდის (ნახ. 64) თანახმად ტემპერატურის დაბალ ზღვრებში ხახუნის კოეფიციენტი განიცდის შემცირებას, შემდეგ კვლავ—იზრდება 500—800°-ზე აღწევს მაქსიმუმს და ტემპერატურის შემდგომი ზრდით მნიშვნელოვნად ეცემა.



ლითონის ტემპერატურა

ნახ. 64. ლითონის ტემპერატურისაგან ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულების ზოგადი ხასიათი.

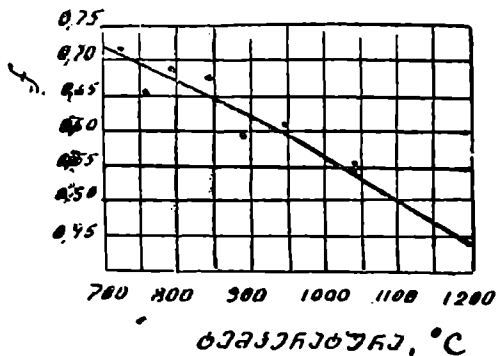
დაბალ ზღვრებში ხახუნის კოეფიციენტი განიცდის შემცირებას, შემდეგ კვლავ—იზრდება 500—800°-ზე აღწევს მაქსიმუმს და ტემპერატურის შემდგომი ზრდით მნიშვნელოვნად ეცემა.

გავეცნობთ ზოგიერთ ექსპერიმენტულ მონაცემებს:

ეკელუნდის (1927) ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან 700°-ის ზემოთ გამოიხატება დაცემული მრუდით (ნახ. 65). ხახუნის კოეფიციენტს იგი ანგარიშობდა შეტაცების კუთხის მიხედვით.

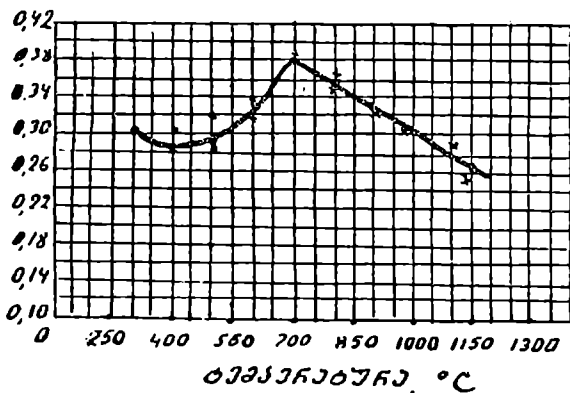
შემდგომ გამოკვლევებიდან აღსანიშნავია ნ. ნ. გეტის მონაცე-

ნების, რომელმაც ფოლადისათვის (0,5—0,8% C) მიიღო შემდეგი ხასიათის მრუდი (ნახ. 66), მაქსიმალური მნიშვნელობით 700°-ზე.



ნახ. 65. ხახუნის კოეფიციენტის დაცემა 700°-ის ზემოთ.

ნ. ფ. ლაშკოს, ჯ. ი. პეტრენკოს და გ. ი. სლობოდნიანოვის მონაცემებით ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აგრეთვე მაქ-



ნახ. 66. ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან (ფოლადისათვის-0,5—0,8% C).

სიმუშს აღწევს 700°-ზე (ნახ. 67). ცდებს აწარმოებდნენ ცილინდრული ნიმუშის საცემების დასმით.

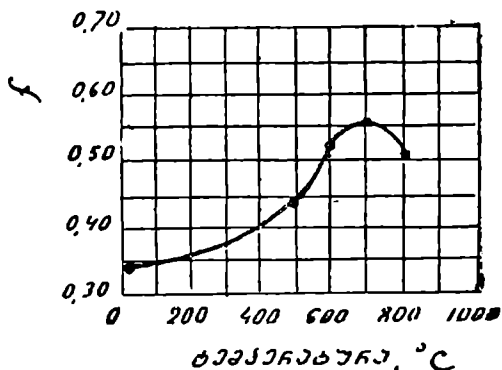
ტემპერატურასა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულებას ხშირად გამოსახავენ ემპირიული ფორმულებით. მათ შო-

რის აღსანიშნავია: ეკელუნდი, რომელიც ექსპერიმენტებზე (ნახ. 65) დაყრდნობით იძლევა სწორხაზობრივ დამოკიდებულებას:

$$f = k(1,05 - 0,0005 t),$$

სადაც  $t$  არის ტემპერატურა  $^{\circ}\text{C}$ ;

$k$ —კოეფიციენტი, ფოლადის გლინებისათვის უდრის 1,0. თუჯის გლინებისათვის—0,8.



ნახ. 67. ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან (არმკო რკინა ქრომონიკელიან ფოლადზე).

ი. მ. ჩიეიკოვი ხახუნის კოეფიციენტსა და ტემპერატურას შორის იძლევა შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$f = a(bt - ct^2)m,$$

სადაც  $t$  არის დეფორმაციის ტემპერატურა;

$b, c$ —ცდის კოეფიციენტები;

$a$ —კოეფიციენტი, რომელიც მხედველობაში იღებს გლინების შემადგენლობას და ზედაპირის მდგომარეობას;

$m$ —კოეფიციენტი, რომელიც მხედველობაში იღებს ფოლადის შემადგენლობას.

$a$  კოეფიციენტის მისაღებად ჩიეიკოვი იძლევა:

ფოლადის გლინები

I სხმული:

- |                       |             |
|-----------------------|-------------|
| 1) სუფთად გადაჩარხული | . 0,1       |
| 2) მუშაობაში მყოფი    | . 0,13—0,15 |

II. ნაქედი:

- |                         |        |
|-------------------------|--------|
| 1) სუფთად გადაჩარხული . | . 0,09 |
|-------------------------|--------|

- 2) მუშაობაში მყოფი 0,12—0,14
- 3) გაპრიალებული . 0,08
- III. ნაწრთობი:
- 1) გაპრიალებული . 0,05—0,07

თუჯის გლინები

- I. ნახევრად სალი:
- 1) სუფთად გადაჩარხული . 0,08
- 2) გაპრიალებული 0,07
- 3) მუშაობაში მყოფი . 0,10—0,12

- II. ნაწრთობი:
- 1. სუფთად გადაჩარხული . 0,07
- 2. გაპრიალებული . 0,04—0,06
- 3. მუშაობაში მყოფი . 0,08—0,10

III კოეფიციენტის შესარჩევად იგი იძლევა შემდეგ ცხრილს:

ცხრილი 5

ფოლადის ჯგუფები	ფოლადის მარკა	III კოეფიციენტი
დაბალნახშირბადიანი .	1	1,0
ლედებურიტული .	P18	1,10
პერლიტურ-მარტენსიტური .	III X15, 4X13	1,24—1,30
აუსტენიტური .	1X18H9T	1,40
აუსტენიტური კარბი ფაზით .	1X17KOA	1,45
ფერიტული .		1,55
აუსტენიტური კარბიდებით .	X15H6O	1,60

დაბალნახშირბადიან ფოლადისათვის სუფთად გადაჩარხულ გლინებში გლინვისას ხახუნის კოეფიციენტი ტოლია (ჩივიკოვი):

$$f = 0,1 (0,005 \cdot t - 0,006 \cdot e^{0,005t}).$$

რაც შეეხება სიჩქარის გავლენას იგი აშკარად ჩანს გლინვის პროცესის ცნობილ პირობიდან, რომ გლინების სიჩქარის გაზრდით შეტაცების პირობები უარესდება, რაც მიგვითითებს ხახუნის კოეფიციენტის დაცემაზე. 68-ე ნახ-ზე მოცემულია გლინების წრიულ სიჩქარესა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების მრუდი, სადაც უკანასკნელი განსაზღვრულია შეტაცების კუთხის მიხედვით. როგორც მოყვანილ მრუდიდან ჩანს არსებობს ე. წ. „სიჩქარის ბარიერი,“ სადაც ხახუნის კოეფიციენტი განიცდის მკვეთრ შეცვლას. ხახუნის კოეფიციენტის ცვლი-

ლების საერთო ზღვრები მდებარეობენ:  $f=0,46$ -დან  $f=0,18$ -მდე, ე. ი. შემცირდა 2,5-ჯერ.

მ. ვ. ვრაცკისა და სხვათა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები, სიჩქარის გავლენის შესახებ, აგრეთვე ძირითადად ზემოთ მოყვანილი მრუდის ხასიათს ატარებს.

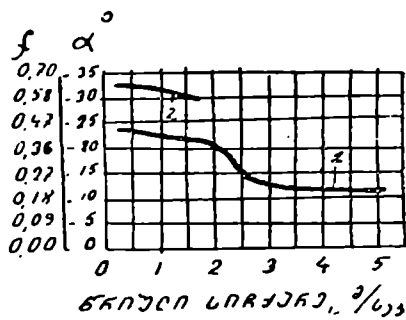
ხახუნის კოეფიციენტზე დიდ გავლენას ახდენს ხელოვნური დაზეთვა, რომელიც მეტწილად მიმართულია მის შესამცირებლად, რადგანაც ხახუნის კოეფიციენტის შემცირებასთან ერთად დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა მცირდება და, მაშასადამე, ენერჯიის ხარჯიც ნაკლებია. ამიტომ წნევით დამუშავებაში, სადაც კი შესაძლებელია იყენებენ ხელოვნურ დაზეთვას.

გამოყენებული საზეთავი მასალები შეიძლება დავეყოთ შემდეგ ძირითად ჯგუფებად: 1. მინერალური ზეთები; 2) მცენარეული ზეთები; 3) ცხოველთა ქონი; 4) საპონი (უფრო ხშირად ნატრიუმიანი და კალიუმიანი); 5) ცეცხლმდეგი ფხვნილები (მაგალითად, გრაფიტი, ტალკი); 6) სხვადასხვა ემულსიები.

ამა თუ იმ ზეთის შერჩევის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ტემპერატურული და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები.

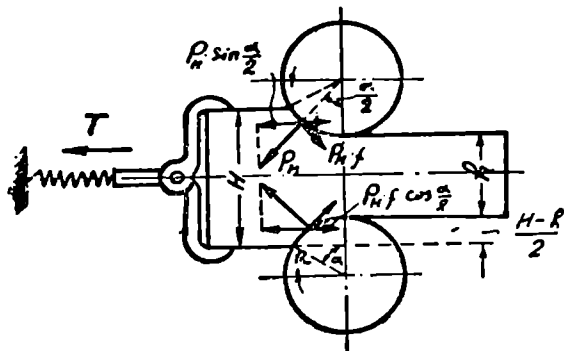
### § 5. დეფორმაციის პროცესში გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის ძირითადი მეთოდები

ცილინდრულ გლინებში ლითონის ხელოვნური დამუხრუჭების მეთოდი (ე. მ. პავლოვის მეთოდი). გლინის პროცესში ლითონის დამუხრუჭება ხდება მარწუხის საშუალებით, რომელიც დაკავშირებულია დინამომეტრთან. ზოლოვანი ლითონი მიეწოდება ცილინდრულ გლინებს, რომლებიც იწყებენ მის გაგლინვას. გაგლინვა გაგრძელდება მანამდის ვიდრე არ დაიკიმება დინამომეტრთან მიერთებული ყველა კავშირი და ბოლოს დინამომეტრის ზამბარა. მაშასადამე, მივიღებთ ზოლის ხელოვნურ დამუხრუჭებას და ზამბარის დაქიმულობის გამო დინამომეტრი გვიჩვენებს იმ ჰორიზონტალურ  $T$  ძალას, რომელიც იწვევს ამ დამუხრუჭებას. ცხადია, და-



ნახ. 68. ხახუნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება გლინების წრიულ სიჩქარეზე.

მუხრუქების მომენტებში ადგილი უნდა ქონდეს მოკმედ ძალთა წონასწორობას. ზოლის დამუხრუქების მომენტში მოკმედ ძალთა სქემა მოცემულია 68-ე ნახ.ზე. თუ ლითონზე მოკმედ ნორმალური ძალის მიყენების წერტილს მივიღებთ შეტაცების რკალის შუაში,



ნახ. 69. ლითონის გლინგებში ხელოვნური დამუხრუქებისას მოკმედ ძალთა სქემა.

მაშინ ძალთა წონასწორობიდან გამომდინარე, მივიღებთ (ორივე გლინისათვის)

$$2P_H \sin \frac{\alpha}{2} + T = 2P_H \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2},$$

აქედან

$$f = \frac{T}{2P_H \cos \alpha} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (41)$$

ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის ეს მეთოდი ითვლება ერთ-ერთ ზუსტ და მოსახერხებელ მეთოდად. (41) გამოსახულებაში შემავალი სამივე უცნობი ადვილი გამოსათვლელია.

$T$  ძალას მოგვცემს დინამომეტრის ჩვენება.

$\alpha$  შეტაცების კუთხე ადვილად განისაზღვრება თვით გლინის პარამეტრებიდან, როგორც სქემიდან ჩანს:

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{H-h}{4R}$$

ანდა

$$\alpha = \sqrt{\frac{H-h}{R}}.$$



ნორმალურ  $P_H$  ძალას კი გავიგებთ მესღოზის ჩვენებიდან. ერთ-ერთი დამწნევი ხრახნის ქვეშ მოთავსებული მესღოზის ჩვენება შეიძლება გამოვსახოთ როგორც ვერტიკალურ ღერძზე მოქმედი ძალების პროექცია:

$$P_a = \frac{P_H}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{P_H}{2} f \sin \frac{\alpha}{2}.$$

ვინაიდან ამ გამოსახულების მეორე წევრი საკმარისად მცირეა პირველთან შედარებით, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$P_a \approx \frac{P_H}{2} \cos \frac{\alpha}{2}, \text{ აქედან } P_H = \frac{2 \cdot P_a}{\cos \frac{\alpha}{2}}.$$

კონუსური საცემებით დასმის მეთოდი (ხ. ი. გუბჯინის მეთოდი). კონუსური საცემებით დასმის მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: იღებენ  $n$  კონუსური ფორმის საცემებს, რომელთა მსახველების დახრის კუთხეა

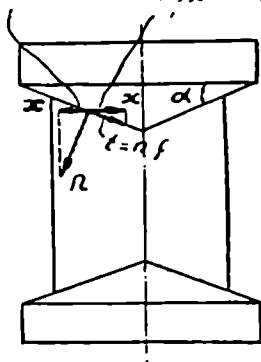
$\alpha$  და აწარმოებენ ისეთი ცილინდრული ფორმის ნამზადის ღერძულ დასმას, რომლის ტორსებიც დამზადებულია იგივე კონუსურობით ისე, რომ კონუსის წვეროები მიმართულია სხეულის შიგნით. ამრიგად საცემის კონუსი ზუსტად ჯდება ნამზადის ჩაღრმავებულ კონუსში (ნახ. 70), ამის შემდეგ ახდენენ დასმას და აკვირდებიან ნიმუშის ფორმას. დასმას აწარმოებენ სხვადასხვა კონუსურობით და იმ კონუსის შემთხვევაში, როდესაც ნიმუში დასმის შემდეგ ინარჩუნებს ცილინდრის ფორმას ხახუნის კოეფიციენტი ტოლი იქნება კონუსის მსახველის დახრის კუთხის ტანგენსისა.

ამ მეთოდის თეორიული საფუძველი შემდეგია: ნიმუშისა და საცემის საკონტაქტო ზედაპირზე მოქმედებს ნორმალური ხვედრითი წნევა  $n$  და ტანგენციალური ხვედრითი წნევა  $t$ , რომელიც განპირობებულია ხახუნის ძალის არსებობით.

ამ მეთოდის თეორიული საფუძველი შემდეგია: ნიმუშისა და საცემის საკონტაქტო ზედაპირზე მოქმედებს ნორმალური ხვედრითი წნევა  $n$  და ტანგენციალური ხვედრითი წნევა  $t$ , რომელიც განპირობებულია ხახუნის ძალის არსებობით.

$$t = n \cdot f.$$

$$(n)_x = n \sin \alpha \quad (t)_x = n \cdot f \cdot \cos \alpha.$$



ნახ. 70.

თუ მოკმედ ხვედრით წნევათა პროექციების ჯამს ავიღებთ პორიზონტალურ ლერძზე, მივიღებთ:

$$(n)_x = n \cdot \sin \alpha$$

და

$$(f)_z = (n \cdot f)_z = n \cdot f \cos \alpha.$$

თუ აღმოჩნდება, რომ

$$n \cdot \sin \alpha < n \cdot f \cos \alpha,$$

მაშინ დასმის პროცესში ზედაპირული წერტილები დამუხრუქდებიან ხახუნის ძალის გავლენით და ნიმუში მიიღებს კასრისებრ ფორმას. თუ აღმოჩნდება, რომ

$$n \cdot \sin \alpha > n \cdot f \cdot \cos \alpha,$$

მაშინ ზედაპირული წერტილები პორიზონტალურ მიმართულებით უფრო ინტენსიურად გადაადგილდებიან, ვიდრე დანარჩენი წერტი-



ნახ. 71. დასმული ნიმუშები.

ლები. ამის გამო ნამზადი მიიღებს შექცეულ ფორმას (ნახ. 71). თუ კონუსის კუთხე ისეა შერჩეული, რომ:

$$n \cdot \sin \alpha = n \cdot f \cdot \cos \alpha,$$

მ. ი.

$$f = \operatorname{tg} \alpha, \quad (42)$$

მაშინ ნამზადი დასმის შემდეგ შეინარჩუნებს ცილინდრულ ფორმას. მაშასადამე, დასმის შემდეგ ცილინდრული ფორმის მიღების დროს საეცებით თამამად შეგვიძლია ვისარგებლოთ (42) გამოსახულებით.

აღნიშნული მეთოდი საკმარისად ზუსტია და უბრალო. ამ მეთოდის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ის, რომ მოითხოვს რამოდენიმე ნიმუშის დამზადებას და მათი კუთხეების საცემის კუთხეებთან ზუსტ დამთხვევას.

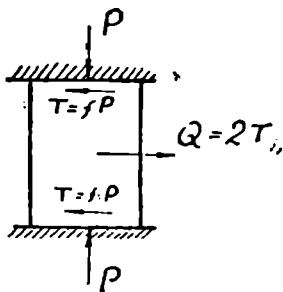
ს. ი. გუბკინის მონაცემებით ყველაზე კარგი შედეგის მიღწევა შეიძლება, მაშინ როცა ნიმუშის ზომების ფარდობაა  $h:d=1,5$  და დასმას ვაწარმოებთ  $20 \div 25\%$ .

დასმის პროცესში ნიმუშის გამოთრევის მეთოდი (პავლოვ-კოსტიჩევის მეთოდი). პავლოვ-კოსტიჩევის მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ დასმის პროცესში აწარმოებენ წნეხის საცემებიდან ლითონის ნიმუშის გამოთრევას. კუმშვის  $P$  ძალით და გამოთრევის  $T$  ძალით განსაზღვრავენ ხახუნის კოეფიციენტს. გამომთრევი  $T$  ძალა (ნახ. 72) შედგება ხახუნის ძალებისაგან, რომლებიც მოქმედებენ ზედა და ქვედა საკონტაქტო ზედაპირებზე და იგი ტოლია

$$T = 2 \cdot f \cdot P,$$

აქედან განსაზღვრავენ ხახუნის კოეფიციენტს:

$$f = \frac{T}{2P}. \quad (43)$$



(43) ტოლობა მართებულია იმ შემთხვევაში, როცა მოქმედებს მწრალი ხახუნის კანონი და მხედველობაში არ მიიღება მოხახუნე ზედაპირების მოლეკულიარული შეკიდულობის ძალები. (43) ფორმულით განსაზღვრული ხახუნის კოეფიციენტი არის ნამდვილი ხახუნის კოეფიციენტი. შეკიდულობის ძალების მხედველობაში მიღებისას გვაქვს:

$$T = 2f \cdot P + SP_0,$$

სადაც  $SP_0$  არის შეკიდულობის ძალა;

მაშინ

$$\frac{T}{2P} = f + \frac{SP_0}{2P} = f_0. \quad (44)$$

$f_0$  ხახუნის კოეფიციენტს უწოდებენ მოჩვენებითი ხახუნის კოეფიციენტს.

პავლოვ-კოსტიჩევის მეთოდით გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრელი დანადგარი შედგება ჰიდრაულიკური წნეხისა და გამომთრევე მოწყობილობისაგან.

გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის დანარჩენ მეთოდებს (გამოდენის, მოჭიმვის, მბრუნავი ფილერის და სხვა), რომლებითაც შედარებით ნაკლებად სარგებლობენ აქ აღარ განვიხილავთ.

## პლასტიკური დეფორმაციის ძირითადი კანონები

### § 1. მხვაი ქაბჟვის კანონი

მხები ძაბვების კანონი შეიძლება ჩამოყალიბებული იქნას შემდეგნაირად:

კრისტალურ სხეულში პლასტიკური დეფორმაციის პროცესი შეიძლება განვითარდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ამ სხეულში მოქმედებენ კრიტიკული მხები ძაბვები, რომელთა სიდიდეც დამოკიდებულია სხეულის ბუნებაზე და დეფორმაციის პირობებზე.

აღნიშნული კანონის სისწორეს ამტკიცებენ ის მრავალრიცხოვანი დაკვირვებანი, რომლებსაც ახდენენ კრისტალური სხეულის პლასტიკური დეფორმაციის პროცესზე. ამ დაკვირვებების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ პლასტიკური დეფორმაციის განვითარება ძირითადად ხდება: 1) კრისტალთშორისი გადაადგილებით; 2) გაორმაგებით; 3) დაცურებით; 4) თერმიული პლასტიკურობით. უკანასკნელი კრისტალურ სხეულებში თანდართული მექანიზმია და ნაკლებ მნიშვნელოვანია. ჩამოთვლილ პროცესებზე დაწვრილებით ჩვენ ადრე გვქონდა საუბარი.

როგორც ვიცით, პლასტიკური დეფორმაციის განვითარების მთავარი არსი მდგომარეობს სხეულის ერთი ნაწილის გადაადგილებაში მეორის მიმართ ისე, რომ მისი მთლიანობა არ დაირღვეს. იმ სიბრტყეებს, სადაც ეს გადაადგილება ხდებოდა, ჩვენ დაცურების ანუ ძვრის სიბრტყეები ვუწოდეთ, ხოლო ძაბვებს კი, რომელიც აღნიშნულ სიბრტყეებში მოქმედებენ—მხები ძაბვები. სხვადასხვა სხეულს მოცემულ პირობებში სხვადასხვა კრიტიკული მხები ძაბვის მნიშვნელობა შეესაბამება. ვიდრე არ იქნება მიღწეული მხები ძაბვის ეს კრიტიკული მნიშვნელობა, ადგილი არ ექნება სხეულის ერთი ნაწილის დაცურებას მეორის მიმართ (პლასტიკურ დეფორმაციას).

კრიტიკული მხები ძაბვის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მხოლოდ და მხოლოდ სხეულის ბუნებაზე დეფორმაციის სიჩქარესა და ტემპერატურაზე. იგი დამოკიდებული არ არის ნორმალურ ძაბვათა სიდიდეზე. მაშასადამე, თუ სხეულში მხები ძაბვები არა გვაქვს, ანდა თუ გვაქვს მათ კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ნაკლები სიდიდის, ცხადია, სხეული ვერ გამოამყლავნებს პლასტიკურ თვისებებს. თუ ნორმალურმა ძაბვებმა გადააქარბეს სხეულის სიმტკიცის ზღვარს, მივიღებთ მის ნგრევას ყოველგვარი პლასტიკურობის გარეშე, მას მყიფე ნგრევას უწოდებენ. პლასტიკურ ნგრევას კი უწოდებენ ისეთს, როდესაც მას წინ უსწრებს პლასტიკური დეფორმაცია.

მართლაც, კრიტიკული მხები ძაბვის მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული ძაბვათა სქემაზე, მაგრამ აღნიშნულ სქემას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დეფორმაციის განვითარების პროცესზე, ვინაიდან მასზე დამოკიდებულია თვით მხები ძაბვის სიდიდე, რომელიც სხეულის შიგნით აღიძვრება. ძაბვათა სხვადასხვა სქემის პირობებში ერთი და იგივე სხეულმა შეიძლება გამოამყლავნოს როგორც მყიფე, ისე ბლანტი თვისება. თუ ისეთი სქემა გვაქვს, რომ მხები ძაბვა უფრო ადრე აღწევს თავის კრიტიკულ მნიშვნელობას, ვიდრე ნორმალური ძაბვა, მაშინ სხეული ამყლავნებს პლასტიკურობის უნარს. პირიქით, თუ ნორმალური ძაბვები ადრე მიღწევენ სიმტკიცის ზღვრულ მნიშვნელობას და მოხდება ნგრევა, ამბობენ, რომ სხეული მყიფე თვისებისაა.

მხები ძაბვების კანონის საფუძველზე პლასტიკური დეფორმაცია შეუძლებელია, თუ სამივე მთავარი ძაბვა ერთმანეთის ტოლია და ერთი და იგივე ნიშნისაა, ე, ი. თუ გვაქვს ყოველმხრივი თანაბარი გაჭიმვა ან ყოველმხრივი თანაბარი კუმშვა. მართლაც, მთავარი ღერძების მიმართ ნებისმიერ კვეთში მოქმედი მხები ძაბვა, როგორც ვიცით, ტოლია:

$$\tau^2 = \sigma_1^2 l^2 + \sigma_2^2 m^2 + \sigma_3^2 n^2 - (\sigma_1 l + \sigma_2 m + \sigma_3 n)^2,$$

თუ

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma,$$

მაშინ

$$\tau^2 = \sigma^2(l^2 + m^2 + n^2) - \sigma^2(l + m + n)^2.$$

როგორც ვიცით:

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1,$$

$$\text{ამრიგად } \tau = 0.$$

მაშასადამე, ამ დროს პლასტიკური დეფორმაცია შეუძლებელია, რაც ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია.

მხები ძაბვების კანონი ითვლება პლასტიკური დეფორმაციის ყველაზე ძირითად კანონად. დანარჩენი კანონები ან გამომდინარეობენ მხები ძაბვების კანონიდან ანდა მეტ-ნაკლებად დაკავშირებული არიან მასთან.

## § 2. მოცულობის მუდმივობის კანონი

მოცულობის მუდმივობის კანონი მდგომარეობს შემდეგში:

პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში სხეულის მოცულობა მუდმივი რჩება.

ცხადია, ფაქტიურად დეფორმაციის პროცესში მოცულობის მცირეოდენ ცვლილებებთან გვაქვს საქმე, მაგრამ ეს იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულ გამოანგარიშებებში მას მხედველობაში არ იღებენ. როგორც ცნობილია, პლასტიკურ დამუშავებისას ლითონის სიმკვრივე არ რჩება მუდმივი, მაგალითად, ცივად დამუშავებისას, რასაც თან სდევს ლითონის ცივნაქედობა, ადგილი აქვს სიმკვრივის მცირეოდენ შემცირებას, რაც გამოწვეულია ლითონში უამრავი რაოდენობის მიკრონაბზარების წარმოქმნით, სიმკვრივის ეს შემცირება ჩვეულებრივად შეადგენს 0,01—0,2%. მაგრამ ცივად დამუშავებული ლითონი თერმული დამუშავებისას ნაწილობრივ კვლავ აღიდგენს სიმკვრივეს, ისე, რომ საბოლოო ჯამში მოცულობა თითქმის უცვლელია. ნაშადთა ცხლად გლინვისას უცვლელი რჩება აგრეთვე მოცულობა ცივნაქედობისა და რეკრისტალიზაციის პროცესთა ერთდროული მოქმედების შედეგად, ხოლო სხმულების ცხლად გლინვისას საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ სიფხვიერის აირებისა და სხვა სიცარიელეთა არსებობა. ი. მ. პავლოვის მონაცემებით მდულარა ფოლადის ხვედრითი წონა გლინვისას იცვლება 6,9-დან 7,85 ტ/მ<sup>3</sup>-მდე. რაც შეეხება ღრეკადი დეფორმაციით გამოწვეულ მოცულობის ცვლილებას, მასაც მხედველობაში არ იღებენ, ვინაიდან დატვირთვის მოხსნის შემდეგ ღრეკადი დეფორმაცია იხსნება.

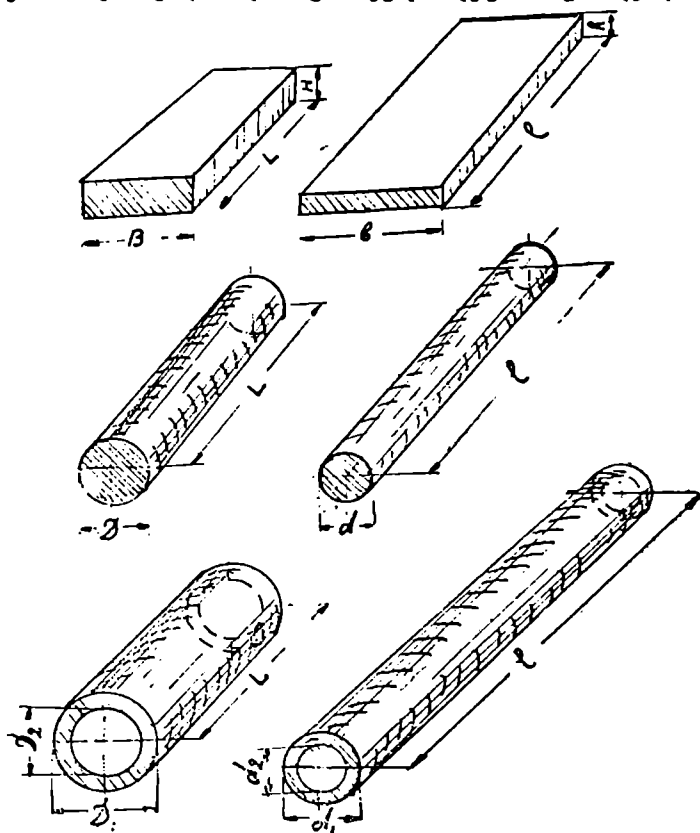
მოცულობის მუდმივობიდან ზემოთ აღნიშნული გადახრები იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად მას მხედველობაში არ იღებენ და თვლიან, რომ ლითონის მოცულობა დეფორმაციამდე და მის შემდეგ რჩება მუდმივი, ე. ი.

$$V_1 = V_2.$$

წინებით დამუშავების სხვადასხვა პროცესებში, ფორმა ცვლილებების რიგ ანგარიშებში, აღნიშნულ პირობას მეტად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

თუ გვეცოდინება სადეფორმირებო სხეულის მოცულობა გამო-

ხატული მის ძირითად ზომებში, მაშინ ადვილად შევძლებთ დეფორმაციამდე და მის შემდეგ სხეულის ზომების ურთიერთდაკავშირებას. ასე მაგალითად, თუ სხეული დეფორმაციამდე და მის



ნახ. 73. სხვადასხვა ფორმის სხეულთა ზომები დეფორმაციამდე და მის შემდეგ.

შემდეგ მართკუთხა პარალელებიპედიია, ზომებით  $H, B, L$  და  $h, b, l$  (ნახ. 73), მაშინ ზემოთ აღნიშნულ კანონზე დაყრდნობით შეგვიძლია დავწეროთ

$$HBL = hbl.$$

თუ სხეული ცილინდრულია:

$$\frac{\pi D^3}{4} L = \frac{\pi d^2}{4} l, \text{ ანუ } D^2 L = d^2 l,$$

თუ დრო ცილინდრია:

$$\left( \frac{\pi D_1^3}{4} - \frac{\pi D_2^3}{4} \right) L = \left( \frac{\pi d_1^3}{4} - \frac{\pi d_2^3}{4} \right) l,$$

ანუ

$$\frac{\pi}{4} (D_1^3 - D_2^3) L = \frac{\pi}{4} (d_1^3 - d_2^3) l,$$

აქედან

$$(D_1 - D_2)(D_1 + D_2)L = (d_1 - d_2)(d_1 + d_2)l.$$

თუ საქმე გვაქვს რთული პროფილის სხეულებთან, მაშინ საჭიროა სხეულის მოცულობა დავეოთ უბრალო გეომეტრიული ფორმის ცალკეულ უბნებად და ისე ვაწარმოთ ანგარიში.

### 5. 3. ღრეკადი დეფორმაციის თანაარსებობის კანონი

ეს კანონი მდგომარეობს შემდეგში:

სხეულის პლასტიკურ დეფორმაციას თან სდევს ღრეკადი დეფორმაცია, რომლის დაბეჭდვასთან დამოკიდებულება შეიძლება გამოისახოს ჰუკის კანონით.

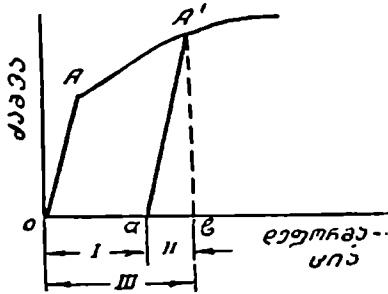
კრისტალურ სხეულებში პლასტიკურ დეფორმაციასთან ერთად ღრეკადი დეფორმაციის თანაარსებობა მათი აღნაგობიდან გამომდინარეობს. როგორც ვიცით, დაძაბულობის გავლენის ქვეშ მოქცეული ატომური გისოსი იცვლის თავის პარამეტრს ძალის გარკვეულ სიდიდემდე გაზრდისას და შემდეგი მოხსნით კვლავ უბრუნდება წონასწორულ მდგომარეობას. მაშასადამე, საჭირო ყოფილა ღრეკადობის ბარიერის გადალახვა იმისათვის, რომ გადავიდეთ პლასტიკურ არეში. პლასტიკური დეფორმაციის პროცესშიც მხებ დაბეჭდვებს მოუხდებათ ახალ-ახალი ბარიერების გადალახვა, ვინაიდან ეს დაბეჭდვები ყველგან ერთდროულად ვერ აღწევენ თავის კრიტიკულ მნიშვნელობას. დეფორმაციის შეწყვეტის შემდეგ ჩვენ ამ ორივე პროცესს ერთდროულად ვაჩერებთ, ხოლო დატვირთვის მოხსნისას ნაწილი ატომებისა დაუბრუნდება თავის წონასწორულ მდგომარეობას და ნაწილი კი გაიყინება ადგილზე. ამრიგად, ფორმა შეცვლილი სხეული ნაწილობრივ „ცდილობს“ დაუბრუნდეს პირვანდელ მდგომარეობას.



მოქმედ გარეშე ძაბვასა და დრეკად დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება მეტ წილ შემთხვევაში ზუსტად განისაზღვრება ჰუკის სწორხაზობრივი დამოკიდებულებით. დრეკადობა ჰუკის კანონს ემორჩილება, როგორც დატვირთვის დასაწყისში ისე მის მოხსნის შემდეგაც.

ამრიგად, დრეკადი დეფორმაციის თანაარსებობის გამო პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად მიღებული ნაწარმის ზომები არასდროს არ იქნება მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა ნაწილის ზომების ტოლი. ასე მაგალითად, მავთულის ადიდვისას მისი დიამეტრი ყოველთვის მეტია მატრიცის ფანჯრის დიამეტრზე; წნეხზე დასმული ცილინდრის სიმაღლე უფრო მეტია ვიდრე დეფორმაციის შეწყვეტის მომენტში წნეხის საცემებს შორის მანძილი; თუ გვსურს ზოლის მოღუნვა რაიმე  $\alpha$  კუთხით, მომღუნავემა ინსტრუმენტმა დეფორმაციის შეწყვეტის მომენტში იგი უნდა მოღუნოს  $\alpha$ -ზე ცოტათი უფრო ნაკლები კუთხით, რათა მივიღოთ სასურველი კუთხე. მაშასადამე, პლასტიკური დეფორმაციის შეწყვეტის შემდეგ ყოველთვის სწარმოებს ზომების გარკვეული აღდგენა, რაც გამოწვეულია დრეკადი დეფორმაციის მოხსნით. პრაქტიკაში ამ მოვლენას უწოდებენ ზამბარვას.

თუ გვაქვს მოცემული დიაგრამა, რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის (ნახ. 74), მაშინ დატვირთვის ნებისმიერ მომენტში დრეკადი დეფორმაციის სიდიდეს განსაზღვრავენ შემდეგნაირად: განსახილველი მომენტის შესაბამის წერტილიდან (ვთქვათ  $A'$ ) ივლებენ  $OA$ -ს პარალელურ და დეფორმაციის ღერძის მართობულ ხაზს, რომელთა გადაკვეთაც დეფორმაციის ღერძთან გვაძლევს საძიებელ მომენტში პლასტიკური და დრეკადი დეფორმაციის სიდიდეს (ნახ. 74). დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციის ჯამს უწოდებენ სრულ დეფორმაციას.

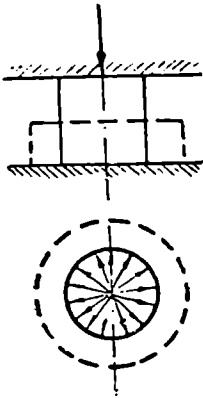


ნახ. 74. გაჭიმვის ინდიკატორული დიაგრამა:

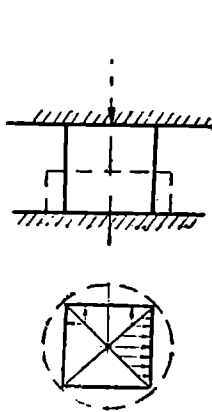
- I—პლასტიკური დეფორმაცია;
- II—დრეკადი დეფორმაცია;
- III—სხეულის სრული დეფორმაცია.

#### § 4. მინიმალური წინააღმდეგობის კანონები

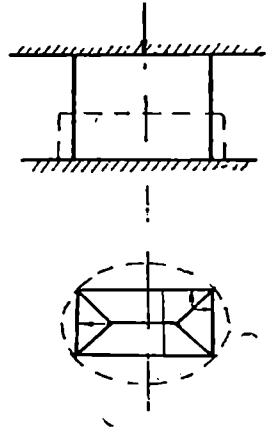
რამე სხეულის პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში ადგილი აქვს მისი ნაწილაკების გადაადგილებას. საერთო ჯამში ეს გადაადგილება წარმოებს სამი მთავარი ღერძის მიმართულებით. ყოვე-



ნახ. 75.



ნახ. 76. კვადრატის ფორმის შეცვლა დასმისას.



ნახ. 77. მართკუთხა განივკვეთის ფორმის შეცვლა დასმისას.

ლი ნაწილაკი ცდილობს გადაადგილდეს იმ მიმართულებით, საითაც იგი ნაკლებ წინააღმდეგობას შეხვდება. სწორედ ამაში მდგომარეობს მინიმალური წინააღმდეგობის კანონის არსი, რომლის თანახმადაც სხეულის ნაწილები მის თავისუფალი ფორმაცვლილების დროს ყოველთვის გადაადგილდებიან უმოკლესი მანძილით. ამ უმოკლეს მანძილს კი წარმოადგენს აღებულ წერტილში გამავალ, კვეთის პერიმეტრის მართობი.

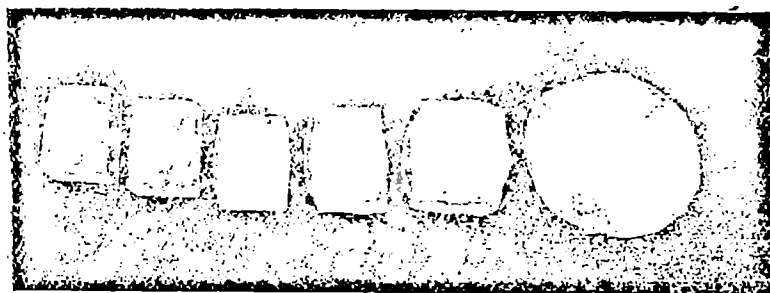
ყოველივე ზემოთ თქმული ადვილად მტკიცდება მრავალი უბრალო ცდით. მაგალითად, თუ ვკუმშავთ ცილინდრულ სხეულს ღერძის მიმართულებით, მაშინ მისი ყველა ნაწილაკი შეეცდება გადაადგილდეს უმოკლესი მანძილით, ე. ი. რადიუსით. ვინაიდან წრის პერიმეტრი ყველაზე მინიმალურია, ამიტომ ცილინდრი შეინარჩუნებს თავის განივკვეთის ფორმას (ნახ. 75). კვადრატული განივკვეთის ნიბუშის დასმისას ნაწილაკების ინტენსიურ გადაადგილებას მივიღებთ გვერდების მიმართულებით (ნახ. 76) და კვადრატული განივკვეთი დაუახლოვდება წრეს.

ანალოგიურ მოვლენას ვამჩნევთ მართკუთხა განივკვეთის ნიმუშის დასმისას. ჯერ მართკუთხა განივკვეთი დაუახლოვდება ელიფსს, ხოლო შემდგომი დასმისას ელიფსი მიისწრაფვის წრისაკენ. ამის საილუსტრაციოდ ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა მარტივი ცდა მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის მქონე ტყვიის ნიმუშის დასმაზე (ნახ. 78). მე-ნ ცხრილში ნათლად ჩანს რომ თანდათანობით დასმისას ნიმუშის ლერძების ფარდობა უახლოვდება ერთს, ე. ი. განივკვეთის პერიმეტრი მიისწრაფვის მინიმალურისაკენ—წრისაკენ.

ცხრილი 6

ფარდობითი მოკიმვა, %	0,00	9,73	18,51	34,33	53,35	80,69
ლერძების შეფარდება $\frac{a}{b}$	0,675	0,703	0,792	0,820	0,862	0,980

გლინვის პროცესში მინიმალური წინააღმდეგობის კანონის საილუსტრაციოდ ჩატარებული იქნა გლინვა წრიულ და განივ ნაკა-



ნახ. 78. მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის მქონე ნიმუშის თანდათანობითი დასმა.



ნახ. 79.

წრებიან გლინებში (ნახ. 79). ცხადია, განივი ნაკაწრებისას მიიღეს ზოლის დიდი გაფართოება და მცირე გამოკიბვა, ხოლო წრიული ნაკაწრების შემთხვევაში კი პირიქით.

საქიროა აღნიშნული კანონი მხედველობაში მივიღოთ ლითონების წნეებით დამუშავების მთელი რიგი ამოცანების გადაწყვეტის დროს, განსაკუთრებით ნამზადის განივკვეთის ფორმის შერჩევისას, და აგრეთვე მადეფორმირებელი იხსტრუქტურის ფორმისა და ზომების შერჩევის დროს.

**§ 5. დეფორმაციის ვიძანიურ სქემისაგან სხეულის ფორმაცვლილბის კოფინციალური ვნაკრბის დამოუკიდებლობის კანონი**

აღნიშნულ კანონს შევხვდებით აგრეთვე, გუბერ-მიზისის ზღვრული მდგომარეობის თეორიის<sup>1</sup> სახით, რომელსაც ენერგეტიკულ თეორიას უწოდებენ. ამ თეორიის (კანონის) თანახმად სხეულის ფორმაცვლილების ხვედრითი პოტენციალური ენერჯიის რაოდენობა დამოკიდებულია სხეულის ბუნებაზე, დეფორმაციის პირობებზე და არ არის დამოკიდებული დეფორმაციის მექანიკურ სქემაზე.

როგორც მე-3 პარაგრაფში აღნიშნეთ სხეულის პლასტიკურ დეფორმაციას თან სდევს აგრეთვე დრეკადი დეფორმაცია. მაშასადამე, დეფორმაციის სრული ხვედრითი პოტენციალური ენერჯია წარმოადგენს ორი წევრის ჯამს, რომელთაგანაც პირველია დეფორმაციის პროცესში მოცულობის შეცვლის ხვედრითი ენერჯია  $U_1$ , ხოლო მეორე სხეულის ფორმის შეცვლის ხვედრითი ენერჯია  $U_2$ , ამრიგად

$$U = U_1 + U_2,$$

აქედან

$$U_2 = U - U_1.$$

განესაზღვროთ ცალ-ცალკე  $U$  და  $U_1$  და გავიგოთ ჩვენთვის საძიებელი ფორმაცვლილებების ხვედრითი ენერჯია —  $U_2$ .

როგორც დრეკადობის თეორიიდან არის ცნობილი, დეფორმაციის სრული ხვედრითი ენერჯია, მთავარი დეფორმაციებითა  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  და  $\epsilon_3$  და მთავარი ძაბვებით გამოისახება შემდეგნაირად

$$U = \frac{\epsilon_1 \sigma_1}{2} + \frac{\epsilon_2 \sigma_2}{2} + \frac{\epsilon_3 \sigma_3}{2}.$$

ჰუკის კანონის გამოყენებით:

<sup>1</sup> დიდი ღვაწლი მიუძღვის აგრეთვე: ჯენკის, რომელმაც გვიჩვენა ამ თეორიის ფიზიკური არსი.

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)], \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

სადაც  $\mu$  — პუასონის კოეფიციენტი.

თუ მთავარი დეფორმაციის მნიშვნელობებს ჩავსვამთ  $U$ -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$U = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2 \cdot \sigma_3 + \sigma_3 \cdot \sigma_1)].$$

ეხლა განვსაზღვროთ მოცულობის ცვლილების ხვედრითი ენერგია  $U_1$ , რომელიც ტოლია მოცულობის ფარდობითი ცვლილებებისა და საშუალო წნევის ნახევრის ნამრავლისა, ე. ი.

$$U_1 = \frac{\sigma_{\text{ს.ა.შ.}} \cdot \Delta V}{2 \cdot V}.$$

აქ საშუალო წნევის მნიშვნელობა იცვლება დაწყებული ნულიდან.

$$\sigma_{\text{ს.ა.შ.}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3},$$

ხოლო მოცულობის ფარდობითი ცვლილება ტოლია

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_0(1 + \varepsilon_1)(1 + \varepsilon_2)(1 + \varepsilon_3) - V_0}{V_0}.$$

თუ მეორე და მესამე ხარისხის წევრებს უგულებელვყოფთ, მივიღებთ:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3.$$

საბოლოოდ

$$U_1 = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{6}$$

თუ დეფორმაციების მნიშვნელობებს შევიტანთ (45)-დან, მაშინ:

$$U_1 = \frac{(1 - 2\mu)}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2. \quad (46)$$

მაშასადამე, მივიღეთ დრეკადი დეფორმაციისათვის საჭირო ენერგია, რომელიც ლატვირთვის მოხსნის შემდეგ ქრება.

თუ  $U$ -ს და  $U_1$ -ის მნიშვნელობებს შევიტანთ  $U_2$ -ის გამოსახულებაში მივიღებთ:

$$U_2 = U - U_1 = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] - \frac{(1-2\mu)}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2.$$

უბრალო ალგებრული გარდაქმნების შედეგად გვექნება:

$$U_2 = \frac{1+\mu}{6E}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2].$$

მაგრამ, თუ შევიტანთ ძვრის მოდულის მნიშვნელობას:

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

გვექნება

$$U_2 = \frac{1}{12G}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]. \quad (47)$$

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ ფორმის შეცვლის ხვედრითი პოტენციალური ენერგია, რომელიც გააჩნია პლასტიკურ სხეულს მისი დეფორმაციისას, დამოკიდებულია სხეულის ბუნებაზე, დეფორმაციის ხარისხზე, სიჩქარეზე და ტემპერატურაზე და არ არის დამოკიდებული დეფორმაციის მექანიკურ სქემაზე. ამრიგად, თუ მოვახდენთ ერთი და იგივე პლასტიკურობის მქონე სხეულის ფორმის შეცვლას, დეფორმაციის ერთი და იგივე პირობებში, მხოლოდ სხვადასხვა მექანიკური სქემის დროს, ხვედრითი პოტენციალური ენერგია იქნება მუდმივი სიდიდე, მაშასადამე,

$$U_2 = \frac{1}{12G}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \text{const.}$$

ეს განტოლება წარმოადგენს ზემოთ აღნიშნული კანონის ანალიზურ გამოსახულებას. რადგანაც მოცემულ სხეულისათვის  $G = \text{const.}$ , ამიტომ დავწერთ:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = \text{const.} \quad (48)$$

როგორც ვიცით

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \tau_1;$$

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} = \tau_2;$$

$$\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2} = \tau_3.$$

სადაც  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  და  $\tau_3$  მთავარი მხები ძაბვებია

მაშინ 
$$\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 = \text{const.}$$

მაშასადამე, ჩვენი კანონი მეორენაირად ასე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ: დეფორმაციის ერთი და იგივე პირობებში პლასტიკური სხეულის ფორმაცვლილებებისას მთავარ მხებ ძაბვათა კვადრატების ჯამი, დამოუკიდებლად დეფორმაციის მექანიკური სქემისა, წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს.

(48) განტოლების ორივე ნაწილი გავამრავლოთ  $1/9$ -ზე, მივიღებთ:

$$\frac{1}{9} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \text{const.} \quad (49)$$

როგორც მეორე თავის მეორე პარაგრაფიდან ვიცით, ელემენტის წონასწორობიდან გამომდინარე, ნებისმიერ სიბრტყეში მოქმედი მხები ძაბვის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\tau^2 = \sigma_1^2 l^2 + \sigma_2^2 m^2 + \sigma_3^2 n^2 - (\sigma_1 l^3 + \sigma_2 m^3 + \sigma_3 n^3)^2.$$

განვსაზღვროთ მხები ძაბვის სიდიდე ოქტაედრის სიბრტყისათვის (ნახ. 80), რომლისთვისაც

$$l^2 = m^2 = n^2 = \frac{1}{3}.$$

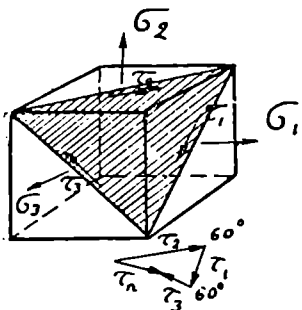
$$\begin{aligned} \tau_m^2 &= \frac{1}{3} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - \frac{1}{9} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 = \\ &= \frac{1}{9} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2], \end{aligned} \quad (50)$$

სადაც  $\tau_m$  არის ოქტაედრული მხები ძაბვა.

⟨49) და (50) განტოლებათა შედარებით ვასკენით, რომ

$$\tau_n = \text{const.}$$

აქედან გამომდინარე კანონის მესამე ფორმულირება იქნება: პლასტიკური სხეულის დეფორმაციისას ოქტაედრული მხები ძაბვის სიდიდე დამოუკიდებლად დეფორმაციის მექანიკურ სქემისა წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს.



ნახ. 80. ოქტაედრის სიბრტყე (დამტრიხული) და მასზე მოქმედი მხები ძაბვები.

პლასტიკურ სხეულების ფორმაციის დროს ოქტაედრული ძაბვის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ და მხოლოდ სხეულის ბუნებაზე, დეფორმაციის ხარისხზე, ტემპერატურაზე და სინჰარეზე! (50) განტოლების თანახმად ოქტაედრულ ძაბვასა და ხაზობრივი კუმშვისას დენადობის ზღვარს  $\sigma_m$  შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$[\tau_n^2 = \frac{2}{9} \sigma_m^2, \quad (51)$$

რადგანაც ხაზობრივი დაძაბულობისას  $\sigma_1 = \sigma_m$ , ხოლო  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ . ვინაიდან ლითონების წნევათი დამუშავების თეორიაში მთავარი ძაბვების  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$  ქვეშ გულისხმობენ ქვეშარტი მთავარ ძაბვებს, ე. ი. ძალა შეფარდებული ნამდვილ ფართზე, რომელიც გააჩნია სხეულს დეფორმაციის ნებისმიერ მომენტში და არა საწყის ფართზე, ამიტომ დენადობის ზღვარის სიდიდე უნდა შეიცვალოს  $p$  სიდიდით, სადაც  $p$  არის ქვეშარტი ძაბვა ხაზობრივი გაჭიმვისას. ამრიგად,

$$\tau_n = \frac{\sqrt{2}}{3} p. \quad (52)$$

(50) და (52) განტოლებებიდან გვექნება

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2p^2. \quad (53)$$

ამ უკანასკნელ განტოლებას უწოდებენ პლასტიკურობის განტოლებას.

პლასტიკურობის განტოლებას მეტად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს პლასტიკურ სხეულთა მექანიკისა და ლითონების წნევით დამუშავების მთელი რიგი ამოცანების გადაწყვეტის საქმეში



იგი ამყარებს დამოკიდებულებას მთავარ ძაბვებსა და ისეთ სიდიდეებს შორის, როგორიცაა: ოქტაედრული მხები ძაბვა, კემმარიტი ძაბვა ხაზობრივი გაქიმვისას და დენადობის ზღვარი. პლასტიკურობის განტოლება გვიჩვენებს, თუ მთავარ ძაბვათა რა თანაფარდობის დროს წარმოებს სხეულის პლასტიკური დეფორმაცია.

## § 6. მსგავსების კანონი

მასალათა ამა თუ იმ თვისებების გამოკვლევისას არსებითი მნიშვნელობა აქვს ნიჟუშის გეომეტრიულ და ფიზიკურ მხარეს. ცნობილია, რომ ერთი და იგივე მახასიათებლების მისაღებად არ შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი ფორმისა და ზომის ნიმუშები. ეინაიდან ძაბვათა და დეფორმაციათა განაწილების ხასიათი არსებითად დამოკიდებულია ნიმუშის ფორმაზე და დატვირთვის ხასიათზე. ამიტომ თუ გვინდა, რომ მივიღოთ ამა თუ იმ მასალის ან პროცესის რეალური მახასიათებლები და არა აღებული ნიმუშის მახასიათებლები, ამისათვის საჭიროა დავიცვათ გარკვეული დამოკიდებულება რეალურ პირობებსა და ცდის პირობებს შორის.

კანონს, რომელიც გვიჩვენებს აღნიშნული პირობების ურთიერთდამოკიდებულებას უწოდებენ მსგავსების კანონს.

ამ საკითხებზე პირველად წარმოდგენა მოგვცა ნიჟუშონმა, ხოლო შემდეგ 1865 წელს ტრესკმა. საბოლოოდ იგი ჩამოყალიბებული იქნა 1879 წელს ფ. კიკის მიერ: „გეომეტრიულად მსგავსი და ერთი და იგივე მასალის სხეულთა (ერთნაირი შინაგანი აღნაგობის) ერთი და იგივე ფორმის შეცვლისათვის საჭირო მუშაობათა სიდიდეები ისე შეეფარდებიან ერთმანეთს, როგორც მათი მოცულობები ან წონები“.

გეომეტრიულად მსგავს სხეულებად ითვლებიან ისეთი სხეულები, რომელთა ფართების შეფარდებაც ტოლია მათი ხაზობრივი ზომების ფარდობის კვადრატისა, ე. ი.

$$\frac{F_1}{F_2} = a^2,$$

სადაც  $a$  არის ხაზობრივი ზომების შეფარდება. შესადაარებელ სხეულთა მოცულობების ფარდობა ტოლია მათი ხაზობრივი ზომების ფარდობათა კუბისა, ე. ი:

$$\frac{V_1}{V_2} = a^3.$$

აკად. ნ. ნ. დავიდენკოვმა მოგვცა გეომეტრიულად მსგავსი სხეულების მექანიკური მსგავსების კანონი, მათი სტატიკური დატვირთვის დროს: გეომეტრიულად მსგავსი სხეულების მექანიკური მსგავსებისათვის საჭიროა დაცული იყოს შესაბამისი შეყურსული ძალების ერთ-ერთი შესადარებელი ზომის კვადრატთან ფარდობის მუდმივობა და აგრეთვე გარეშე წნევის ტოლობა“.

აქედან გამომდინარე აღნიშნული მსგავსების პირობა მოითხოვს:  
1) გარეშე ძალებითა და წნევით სტატიკური დატვირთვისას:

$$\frac{P}{l^3} = Idem; \quad p = Idem.$$

სადაც  $l$  არის სხეულის ერთ-ერთი შესადარებელი ზომა, სმ;

$P$  — გარეშე ძალა, კგ;

$p$  — გარეშე წნევა, კგ/სმ<sup>2</sup>.

თუ დიდი წონის სადეფორმაციო სხეულთან გვაქვს საქმე, საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ აგრეთვე მოცულობითი ძალები და უნდა დაუმატოთ პირობა

$$\rho l = Idem.$$

სადაც  $\rho$  არის მასალის სიმკვრივე.

2) ძალთა დარტყმითი ნოქმედებისას (როცა პლასტიკური დეფორმაცია გვაქვს) საჭიროა დავიცვათ პირობა:

$$\frac{v}{l} = Idem, \quad \frac{m}{l} = Idem,$$

სადაც  $v$  არის სიჩქარე დარტყმის მომენტში;

$m$  — საცემის მასა.

გარდა გეომეტრიული და მექანიკური მსგავსებისა არსებობს აგრეთვე ფიკიკური მსგავსების პირობა:

ა) სხეული უნდა იყოს ერთგვაროვანი ქიმიური შემადგენლობისა და სტრუქტურის მიხედვით;

ბ) პლასტიკური დეფორმაციისას სადეფორმაციო სხეულებს უნდა ჰქონდეთ ერთი და იგივე ტემპერატურა.

ამრიგად, დეფორმაციის მსგავსი პირობები შეიძლება ეწოდოს დეფორმაციის ისეთ პირობებს, როდესაც დაცულია გეომეტრიული, მექანიკური და ფიზიკური მსგავსების ზემოთ ჩამოთვლილი პირობები.

როგორც ვიცით პლასტიკურ დეფორმაციას თან სდევს ტემპერატურის გამოყოფა, ე. ი. სხეულის ტემპერატურა მატულობს,

ამავე დროს სხეული ტემპერატურას გადასცემს გარემო სივრცეს. ტემპერატურის გადაცემა გარემო სივრცეში მით მეტი იქნება, რაც ნაკლებია ფარდობა  $\frac{F}{V}$  (სადაც  $F$ —სხეულის ზედაპირია და  $V$ —მისი მოცულობა). პატარა სხეული უფრო ინტენსიურად ცივდება, ვიდრე დიდი. ამიტომ მსგავსი სხეულების დეფორმაციისას მცირე ზომის სხეული უფრო მეტ ხვედრით მუშაობას შთანთქავს, ვიდრე დიდი. ვინაიდან დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა სწორედ სხეულის ტემპერატურის უკუპროპორციულია.

მაშასადამე, ლითონების წნევით დამუშავებაში, განსაკუთრებით ცხელი დამუშავებისას, დიდ როლს ასრულებს ფარდობა  $\frac{F}{V}$ ,

რომელიც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული.

მსგავსების კანონს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, მაგრამ როგორც ამ კანონის ანალიზიდან ჩანს, მისი გამოყენება მოითხოვს დეფორმაციის პირობების მსგავსების ზუსტ დადგენას და იმ ცდომილებათა მხედველობაში მიღებას, რომელიც გამოწვეული იქნება მსგავსების ამა თუ იმ პირობის დარღვევით. ამიტომ ლაბორატორიულ კვლევათა ყველა შედეგები, რომლებიც გვიჩვენებენ დახარჯული მუშაობის სიდიდეს, მეტად ფრთხილად უნდა იქნეს გამოყენებული საწარმოო პირობებში მიმდინარე დეფორმაციის მუშაობის ანგარიშისათვის.

როდესაც ცნობილია მცირე ნიმუშის დეფორმაციაზე დახარჯული ხვედრითი მუშაობა, შეგვიძლია გავიგოთ გეომეტრიულად მსგავსი დიდი ნიმუშისათვის საჭირო ხვედრითი მუშაობა, თუ გამოვიყენებთ ს. ი. გუბკინის მიერ მოცემულ ფორმულას, რომელიც ითვალისწინებს ფიზიკური მსგავსების დარღვევით გამოწვეულ ცდომილებას.

$$A_{\pi z} (\text{ანუ } K_{\pi}) = A_{\pi 0} (\text{ანუ } K_{\pi 0}) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0 - T_{0\pi}}{T_0} \right)^\beta \cdot \left( 1 - \frac{1}{a} \right) \right], \quad (54)$$

სადაც  $A_{\pi z}$ , ანუ  $K_{\pi}$  არის დიდი ნიმუშის მოცულობის ერთეულზე მოსული მუშაობა (ანუ დენადობის ხვედრითი წნევა)—ხვედრითი მუშაობა;

$A_{\pi 0}$ , ანუ  $K_{\pi 0}$ —მცირე ნიმუშის დეფორმაციის ხვედრითი მუშაობა (ანუ დენადობის ხვედრითი წნევა);

$\beta$ —შესაღარებელი გეომეტრიულად მსგავს სხეულთა ხაზობრივი ზომების შეფარდება;

β—დეფორმაციის პირობების და თბოგამტარებლობის (ლითონის და ინსტრუმენტის) კოეფიციენტი; თეორიულად იგი იცვლება 0-დან 1-მდე. პრაქტიკულად შეიძლება მივიღოთ  $\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}$ . ინსტრუმენტის თბოგამტარებ-

ლობის გაზრდით β მცირდება;

$T_0$ —ნიმუშის დეფორმაციის აბსოლუტური ტემპერატურა;

$T_{\infty}$ —ინსტრუმენტის აბსოლუტური ტემპერატურა.

### § 7. დამატებითი ძაბვების კანონი

ჩვეულებრივ პირობებში პლასტიკურ ფორმაშეცვლას ყოველთვის თან სდევს სხეულში ძაბვების და დეფორმაციების არათანაბარი განაწილება, რომელთა ძირითადი მიზეზებიც შემდეგია:

1) დასამუშავებელი სხეულის არაერთგვაროვნობა (ქიმიური შემადგენლობა, სტრუქტურა, ანიზოტროპიულობა, ტემპერატურა, ცინაქცელობა და სხვა);

2) საკონტაქტო ზედაპირზე ხახუნის ძალების არსებობა;

3) ინსტრუმენტის მუშა ნაწილისა და სადეფორმაციო სხეულის ფორმა;

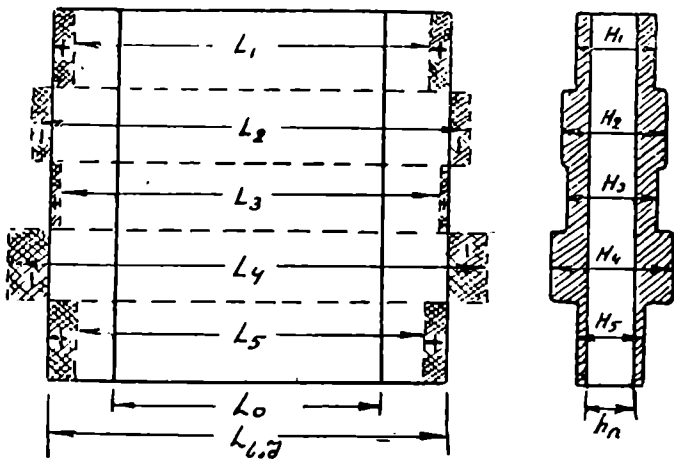
4) ძადეფორმირებელი ძალის მიყენების განსაკუთრებული ხასიათი (ლუნვა, გრეხვა და სხვა).

ძაბვებისა და დეფორმაციების არათანაბარი განაწილების გამო სხეულის ცალკეული უბნები მოისწრაფვიან სხვადასხვანაირად შეიცვალონ თავიანთი ზომები, რასაც ხელს უშლის სხეულის მთლიანობა. ვინაიდან ეს უბნები (ელემენტები) სხეულის მთლიანობის გამო დაკავშირებულნი არიან ერთმანეთთან, ამიტომ ისინი გარკვეული ძალებით იმოქმედებენ ერთმანეთზე და საბოლოოდ მთელი სხეული რაღაც ჯამურ დეფორმაციას მიიღებს. მაგალითად, თუ ცილინდრულ გლინებში გაეატარებთ სხვადასხვა სისქის მქონე, ერთ ნიმუშს და მოკვიმავთ საერთო ( $\epsilon_n$ ) სისქემდე (ნახ. 81) ვნახავთ, რომ მთელი ნიმუში მიიღებს რაღაც საშუალო გამოკვიმვას. ამავე დროს ელემენტები 1, 3, 5 ცდილობენ ნაკლებად წაგრძელდნენ ვიდრე 2, 4 ელემენტები. ამის გამო 1, 3 და 5 ელემენტებში წარმოიქმნებიან გაკვიმავი (+) ძალები, ხოლო 2 და 4 ელემენტებში—მკუმშავი (—) ძალები.

სწორედ აქედან გამომდინარეობს დამატებითი ძაბვების კანონი: სხეულის პლასტიკური დეფორმაციისას მასში ჩნდებიან დამატებითი ძაბვები, რომლებიც ერთმანეთს აწონანსწორებენ.

არჩევნ სამი რიგის დამატებითი ძაბვებს:

1. როცა სხეულის მოცულობის დიდი ნაწილები ერთმანეთს აწონასწორებენ;
2. როცა ერთმანეთს აწონასწორებენ ორი ან რამდენიმე კრისტალიტი;
3. როცა ვაწონასწორება ხდება სხეულის ერთეულ კრისტალიტში (მარცვალში). ურთიერთგამწონასწორებელი დამატებითი დაბ-



ნახ. 81. ზოლის გაგლინვა არათანაბარი მოქიმივით.

ვები პლასტიკური დეფორმაციის შეწყვეტის შემდეგ რჩებიან დეფორმირებულ სხეულში და მათ განიხილავენ როგორც ნარჩენ დაბევებს.

დამატებითი დაბევების კანონს დიდი მნიშველობა აქვს პლასტიკურ სხეულთა მექანიკისა და ლითონების წნეითი დამუშავების მთელი რიგი ამოცანების გადაწყვეტის დროს, განსაკუთრებით, როდესაც საქმე გვაქვს ნარჩენ დაბევებთან. გარდა ამისა, იმისათვის, რომ პლასტიკური სხეულების დაბებულ მდგომარეობაზე გვეკონდეს რეალური წარმოდგენა, საკმარისი არ არის განვიხილოთ გარეშე ძალების მოქმედების სქემა, არამედ მხედველობაში უნდა მივიღოთ აგრეთვე სხეულში არსებული დამატებითი დაბევები. ამიტომ არის, რომ მთავარ დაბევათა რეალური მუშა სქემა მთელ რიგ შემთხვევაში შეიძლება განსხვავებული იყოს ძირითად დაბევათა სქემისაგან.

ხშირია შემთხვევა, როდესაც ვამჩნევთ დეფორმაციის პროცესში სხეულის ნგრევას გამჭიმავი დაბევების მოქმედებით, მაშინ რო-

დესაც ძირითადი მთავარი დაბეგების სქემაში გამჭვირვადი დაბეგები არ ვეჭონია, მაგალითად, ყოველმხრივ არათანაბარი კუმშვის სქემის დროს. ცხადია ეს გარემოება შეიძლება აიხსნას მხოლოდ დამატებითი დაბეგების მოქმედებით, რომლებიც ძირითად დაბეგასთან ერთად ქმნიან რაღაც ახალ მუშა დაბეგას.

ამიტომ უნდა გვახსოვდეს, რომ სერიოზული შეცდომების თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ძირითად მთავარ დაბეგათა სქემის ანალიზის დროს მხედველობაში მივიღოთ დამატებითი დაბეგები, რომელთა ერთდროული განხილვა გვაძლევს ნამდვილ მუშა დაბეგებს.

---

# მეორე განყოფილება გლიწვის თეორიის საშუალებები

თ ა ვ ი მ ე ო თ ხ ე

## გლიწვის პროცესის არსი

გლიწვის დროს ლითონი გადის ორ მბრუნავ გლიწვებს შორის, სადაც ის განიცდის დეფორმაციას, რაც მდგომარეობს ზოლის სიმაღლის შემცირებაში, ხოლო რიგ შემთხვევებში მისი ფორმის ცვლილებაში.

გლიწვები ლითონს იტაცებს ხახუნის ძალების მეშვეობით, რომლებიც წარმოიშობიან ლითონის გლიწვებთან შეხების ზედაპირზე, ზოლის სიმაღლეზე მოქიშვისას წარმოშობილი წნევის გავლენის შედეგად.

### § 1. დეფორმაციის კერა და მისი პარამეტრები

გასაგლიწვაი ზოლის დეფორმაცია (მოქიშვა) იწყება მისი გლიწვების ხახაში შესვლისა და მთავრდება გლიწვებიდან გამოსვლის მომენტში. ზოლის დეფორმაცია ერთდროულად მიმდინარეობს არა მის მთელ სიგრძეზე, არამედ განსაზღვრულ უბანზე, რომელსაც დეფორმაციის კერას უწოდებენ.

დეფორმაციის კერა (ნახ. 82) ხასიათდება გრძივი (ა) და განივი (ბ) კვეთებით. დეფორმაციის კერის განივეკვითის ფორმა დამოკიდებულია გასაგლიწვაი ზოლის განივეკვითის ფორმაზე. მას შეიძლება ჰქონდეს კვადრატული მრგვალი, ოვალური ორტესებრი, რელსის მაგვარი და სხვა მარტივი და რთული ფორმის კვეთები. როცა გლიწვა გლუვ ცილინდრულ კასრზე წარმოებს, დეფორმაციის კერას აქვს მართკუთხოვანი ფორმის კვეთი.

დეფორმაციის კერის გრძივი ვერტიკალური კვეთი ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით: ზოლის სიმაღლე გლიწვების ხახაში შესვლის მომენტში —  $H$ , ზოლის სიმაღლე გლიწვების ხახიდან გამოსვლის მომენტში —  $h$ , სიგრძე —  $l$ , რომელიც წარმოადგენს შეტაცების რკალის  $AB$ -ს ჰორიზონტალურ პროექციას და  $AB$  რკალით, რომელსაც განსაზღვრავს გლიწვების რადიუსი.

82-ე ნახ-დან ჩანს, რომ  $ABC$  და  $ABE$  სამკუთხედები მსგავსია. ამიტომ შესაძლებელია დაიწეროს შემდეგი ტოლობა:

$$\frac{AB}{BC} = \frac{BE}{AB},$$

აქედან

$$AB^2 = BE \cdot BC.$$

რადგან

$$AB^2 = AC^2 + BC^2$$

შესაბამისად

$$AC = \sqrt{BE \cdot BC - BC^2}, \quad (55)$$

ან

$$l = AC = \sqrt{\frac{2r(H-h)}{2} - \left(\frac{H-h}{2}\right)^2}$$

საბოლოოდ

$$l = \sqrt{\Delta hr - \frac{\Delta h^2}{4}}, \quad (56)$$

სადაც  $\Delta h = H - h$  არის ხაზობრივი, ანუ აბსოლუტური მოკიშვა.

ხშირად დეფორმაციის კე-

რის სიგრძეს გამოსახავენ შეტაცების რკალის სიგრძით— $AB$ .

ქორლის სიგრძე  $AB$  უდრის:

$$l = AB = \sqrt{\Delta hr} \quad (57)$$

თვით  $AB$  შეტაცების რკალის სიგრძე უდრის:

$$\overset{\frown}{AB} = \frac{2\pi\alpha}{360},$$

სადაც  $\alpha$  არის გლინის ცენტრიდან  $A$  და  $B$  წერტილებზე გამავალ რადიუსებს შორის მდებარე კუთხე და მას შეტაცების კუთხეს უწოდებენ.

მოკიშვა ერთ გატარებაზე  $(H-h)$  დამოკიდებულია გლინების



დიამეტრზე ( $d$ ) და ზოლის შეტაცების კუთხეზე ( $\alpha$ ). მათ შორის კავშირის პოვნისათვის მივმართოთ 82-ე ნახ-ს. საიდანაც ჩანს, რომ:

$$CB = OB - OC;$$

ვინაიდან:

$$CB = \frac{H-h}{2},$$

$$OB = r,$$

$$OC = r \cos \alpha,$$

ამიტომ

$$\frac{H-h}{2} = r - r \cos \alpha,$$

აბ

$$H-h = 2r(1 - \cos \alpha) = d(1 - \cos \alpha). \quad (59)$$

## § 2. დეფორმაციის კერის ზოგის დახასიათება

დეფორმაციის კერის გრძივი კვეთის ფორმა შეიძლება იცვლებოდეს სხვადასხვანაირად, რაც დამოკიდებულია მისი პარამეტრების ფარდობაზე ( $H$ ,  $h$  და  $l$  მოცემული  $r$  რადიუსისათვის).

ამ პარამეტრების ცვლილების სამი შესაძლებლობა არსებობს:

1.  $H$ —მუდმივი,  $h$  და  $l$ —ცვალებადი
2.  $h$ —მუდმივი,  $H$  და  $l$ —ცვალებადი
3.  $l$ —მუდმივი,  $H$  და  $h$ —ცვალებადი.

მესამე პირობის შესრულებისათვის საჭიროა აბსოლუტური მოკიშვა  $\Delta h = H - h$  იყოს მუდმივი, ეს გამომდინარეობს შემდეგი განტოლებიდან:

$l = \sqrt{\Delta h r}$ , რომლის მიხედვით  $l$  და  $r$  სიდიდეების მუდმივობისას  $\Delta h = H - h$  უნდა იყოს მუდმივი.

ზემოთ აღნიშნული სამი პირობისათვის (როცა  $\Delta h = \text{const}$ ,  $H = \text{const}$ ,  $h = \text{const}$  (დეფორმაციის კერის გრძივი კვეთის პარამეტრების ცვალებადობა განისაზღვრება ტოლობიდან:

$$u = \frac{H-h}{H} = \frac{\Delta h}{H}, \quad (60)$$

რომელიც იძლევა კავშირს ფარდობით მოკიშვასა ( $u$ ) და დეფორმაციის კერის პარამეტრებს შორის.

როცა  $\Delta h = \text{const} = a, \quad (61)$

სადაც  $a$  არის ნებისმიერი დადებითი რიცხვი, მივიღებთ:

$$H_{\Delta a} = \frac{a}{u}; \quad (62)$$

$$h_{\Delta a} = \frac{a(1-u)}{u}; \quad (63)$$

$$l_{\Delta a} = \sqrt{\Delta h r} = \sqrt{a r} = k, \quad (64)$$

სადაც  $k$  არის მუდმივი, დადებითი რიცხვი.

როცა  $H = \text{const} = a$ ,

$$(65)$$

მაშინ:

$$h_H = a(1-u); \quad (66)$$

$$\Delta h_H = au; \quad (67)$$

$$l_H = \sqrt{a r u} = k_1 \sqrt{u} \quad (68)$$

როცა  $h = \text{const} = a$ ,

$$(69)$$

მაშინ:

$$H_h = \frac{a}{1-u}; \quad (70)$$

$$\Delta h_h = \frac{au}{1-u}; \quad (71)$$

$$l_h = k_2 \sqrt{\frac{u}{1-u}} \quad (72)$$

მიღებული ფორმულები იძლევიან დამოკიდებულებას დეფორმაციის კერის პარამეტრებსა და ფარდობით მოჭიმვას შორის.

ჩვეულებრივად ყველა მოვლენას, რომელიც თან სდევს გლინვის პროცესს და მიმდინარეობს დეფორმაციის კერაში (გაფართოება, დეფორმაციის წინაღობა და სხვა) იხილავენ ფარდობით მოჭიმვასთან დამოკიდებულებით, ვინაიდან უკანასკნელი ახასიათებს დეფორმაციის კერის ცვალებადობას.

### § 3. დეფორმაციის ძირითადი კოეფიციენტები და მათ შორის კავშირი

მოცულობის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$V_1 = V_2.$$

თუ მოცულობას გამოვსახავთ ზოლის ზომებით, მივიღებთ:

$$HB_1L_1 = hB_2L_2, \quad (73)$$

სადაც  $H$  და  $h$  არის ზოლის სიმაღლე გაგლინვამდე და გაგლინვის შემდეგ;

$B_1$  და  $B_2$ —ზოლის სიგანე გაგლინვამდე და გაგლინვის შემდეგ;

$L_1$  და  $L_2$ —ზოლის სიგრძე გაგლინვამდე და გაგლინვის შემდეგ.

(73) განტოლება შემდეგნაირად გადაიწერება:

$$\frac{hB_2L_2}{HB_1L_1} = 1. \quad (74)$$

ზოლის ხაზობრივი ზომების ფარდობას დეფორმაციის კოეფიციენტებს უწოდებენ.

ფარდობა

$$\eta = \frac{h}{H} \quad (75)$$

გვიჩვენებს დეფორმაციას სიმაღლეზე და მას მოკიშვის კოეფიციენტს უწოდებენ.

ფარდობა

$$\beta = \frac{B_2}{B_1} \quad (76)$$

გვიჩვენებს დეფორმაციას სიგანეზე, ანუ განივ დეფორმაციას და უწოდებენ გაფართოების კოეფიციენტს.

ფარდობა

$$\lambda = \frac{L_2}{L_1} \quad (77)$$

გვიჩვენებს დეფორმაციას სიგრძეზე, ანუ გრძივ დეფორმაციას და უწოდებენ გამოკიშვის კოეფიციენტს.

თუ აღნიშნავთ ზოლის განივკვეთის ფართს დეფორმაციამდე  $F_1 = B_1H$ , ხოლო დეფორმაციის შემდეგ  $F_2 = B_2h$  და ჩავსვათ მათ მნიშვნელობებს (73) განტოლებაში, მივიღებთ, რომ

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{F_1}{F_2} = \lambda,$$

ე. ი. გამოკიშვის კოეფიციენტი უდრის ზოლის სიგრძეების ფარდობას გატარების შემდეგ და გატარებამდე ან ზოლის განივკვეთის ფართების ფარდობას.

ვინაიდან  $L_2 > L_1$  და  $F_1 > F_2$ , გამოკიმვის კოეფიციენტი ყოველ-  
თვის მეტია ერთზე.

რამდენიმე გატარებით გლინვის შემთხვევაში გამოკიმვის კოეფი-  
ციენტი შეიძლება იყოს კერძო და ჯამური. გამოკიმვას მოცემული  
გატარებისათვის უწოდებენ კერძოს. ჯამური გამოკიმვის კოეფი-  
ციენტი წარმოადგენს საწყისი სხმულის ან ნამზადის განიკვეთის  
ფართის შეფარდებას მზა პროფილის ფართთან.

სიმაღლის შემცირების კოეფიციენტი ყოველთვის ნაკლებია ერთ-  
ზე, რადგან  $h < H$ .

(74) განტოლება შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს

$$\eta\beta = 1. \quad (78)$$

ის გვიჩვენებს, რომ სიმაღლეზე, სიგანეზე და სიგრძეზე დეფორ-  
მაციის კოეფიციენტების ნამრავლი უდრის ერთს.

თუ (78) განტოლებას გავალოგარიტმებთ, მივიღებთ

$$\lg \eta + \lg \beta + \lg \lambda = 0,$$

ე. ი. დეფორმაციის კოეფიციენტების ლოგარიტმების ჯამი უდრის  
ნულს.

(78) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\lambda = \frac{1}{\eta\beta}. \quad (79)$$

თუ მივიღებთ, რომ გაფართოებას ადგილი არ აქვს. ე. ი.  $B_2 =$   
 $= B_1$  ანუ  $\beta = \frac{B_2}{B_1} = 1$ , მაშინ გვექნება:

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{\frac{h}{H}} = \frac{H}{h}. \quad (80)$$

#### § 4. დეფორმაციის ხაზობრივი და შარღობითი სიდიდეები

გლინვის ყველა შემთხვევისათვის  $H > h$ ;  $B_2 > B_1^1$  და  $L_2 > L_1$ .  
ამ სიდიდეების სხვაობას აბსოლუტურ ციფრებში გამოსახულს (მა-  
გალითად, მმ-ში) უწოდებენ ხაზობრივ მოკიმვას:

$$\Delta h = H - h;$$

<sup>1</sup> განსაკუთრებულ პირობებში შესაძლებელია  $B_2 = B_1$  და  $B_2 < B_1$ . ამ შემთხვე-  
ვაში ლითონის ნაწილაკების გადაადგილება მიმდინარეობს სიგრძეში.

ხაზობრივ გაფართოებას:

$$\Delta b = B_2 - B_1;$$

ხაზობრივ გამოკიშვას

$$\Delta l = L_2 - L_1;$$

ხაზობრივი მოკიშვის შეფარდებას ზოლის საწყის სიმაღლესთან უწოდებენ ფარდობით მოკიშვას:

$$u = \frac{\Delta h}{H} = \frac{H-h}{H}.$$

ფარდობითი მოკიშვა შეიძლება იცვლებოდეს მხოლოდ 0-დან 1-მდე, ან 0-დან 100%-მდე, როცა იგი გამოსახულია პროცენტებში:

$$u = \frac{H-h}{H} \cdot 100\%.$$

ანალოგიური წესით გამოითვლება ფარდობითი წაგრძელება და გაფართოება.

#### § 5. გადაადგილებული მოცულობა

პლასტიკური დეფორმაციის სწორი რაოდენობრივი შეფასების გარეშე არ შეიძლება წარმატებით იქნას გადაწყვეტილი დეფორმირებული სხეულის ფორმაცვლილების ანგარიშის მეთოდები. უნდა აღინიშნოს, რომ ჯერჯერობით არ არსებობს საერთოდ მიღებული გამოსახულებანი, რომლებიც განსაზღვრავს დეფორმაციის სიდიდეს.

უფრო ხშირად მოკიშვის სიდიდეს გამოსახავენ პროცენტებში  $\frac{\Delta h}{H}$  სახით და იშვიათად  $\frac{\Delta h}{h}$  სახით.

ასეთი გამოსახულებანი სიმაღლეზე დეფორმაციის სიდიდის რაოდენობრივი შეფასებისათვის ნასესხებია დრეკადობის თეორიიდან, სადაც ჩვეულებრივად განხილულია მცირე დეფორმაციები. თუ  $L_1$  საწყისი სიგრძის მქონე ღერო გაკიშვის შემდეგ მიიღებს  $\Delta L$  ნაზრდს, რომელიც საწყის სიგრძესთან შედარებით ძალიან მცირეა, მაშინ ფარდობითი წაგრძელების ანგარიშის შედეგი პრაქტიკულად დამოკიდებული არ არის იმაზე  $\Delta L$  ნაზრდი საწყის სიგრძეზე იყოფა თუ საბოლოოზე. თუ ღეროს სიგრძე მნიშვნელოვან ნაზრდს ღებულობს, მაშინ ფარდობითი წაგრძელების სიდიდე ძლიერ დამოკიდებულია იმაზე თუ რასთანაა შეფარდებული აბსო-

ლუტური წაგრძელება—საწყის თუ საბოლოო სიგრძესთან. მხოლოდ მცირე დეფორმაციის შემთხვევაში ეს განსხვავება ისპობა.

ამრიგად, დეფორმაციის სიდიდის შეფასება  $\frac{\Delta h}{H}$  და  $\frac{\Delta h}{h}$

და სხვა მათი მსგავსი ფარდობებით უნდა ჩაითვალოს მიახლოებითად. ცდომილება მდგომარეობს იმაში, რომ პროცესის ყველა სტადიების მთლიანობაში განხილვის მაგივრად ვიხილავთ ამ პროცესის მხოლოდ ცალკეულ მომენტებს (მოცემული შემთხვევისათვის გლინვის საწყის და საბოლოო მომენტებს). ასე მაგალითად, ფარდობითი

მოქიშვა  $\frac{\Delta h}{h}$  ითვისწინებს მხოლოდ ზოლის საბოლოო სიმაღლეს (პროცესის ბოლო მომენტი), ხოლო ამ სიმაღლის მიღწევის გზები მხედველობაში არაა მიღებული.

დეფორმაციის სიდიდის რაოდენობრივი შეფასებისათვის აუცილებელია ავიღოთ სხეულის ზომების ფარდობითი ცვლილება დიფერენციალურ ფორმაში და სათანადო საზღვრებში ინტეგრირებით მივიღებთ დეფორმაციის კუმულირებულ მნიშვნელობას, ასე მაგალითად, ფარდობითი წაგრძელება უსასრულოდ მცირე დროის ერთეულში შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\frac{dL}{L},$$

სადაც  $dL$  არის სიგრძის ნამატი უსასრულოდ მცირე დროის ერთეულში;

$L$ —ზოლის სიგრძე აღებულ მომენტში.

სრული ფარდობითი წაგრძელება იქნება:

$$\int_{L_1}^{L_2} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_2}{L_1},$$

შესაბამისად, კუმულირებული დეფორმაცია გრძივი მიმართულებით უდრის ზოლის სიგრძის ჯერადი ცვლილების ნატურალურ ლოგარითმს.

ანალოგიური წესით გამოითვლება კუმულირებული დეფორმაციის სიდიდე ნებისმიერი მიმართულებით. მაგრამ ზომის ჯერადი ცვლილების ნატურალურ ლოგარითმსაც არ შეუძლია მოგვეცეს ფორმაციის ცვლილების ამომწურავი რაოდენობრივი შეფასება. ა. ფ. გოლოვინმა გვიჩვენა, რომ პლასტიკურ დამუშავებაზე დახარჯული მუშაობა გადაადგილებული მოცულობის პროპორციულია. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ პლასტიკურ დამუშავებაზე დახარჯული

მუშაობა მჭიდროდაა დაკავშირებული პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდესთან იმ დასკვნამდე მივალთ, რომ დეფორმაციის სიდიდე რაიმე მიმართულებით განისაზღვრება ამავე მიმართულებით გადაადგილებული მოცულობით.

გადაადგილებული მოცულობის ქვეშ რაიმე მიმართულებით ივულისხმება მოცულობა, რომელსაც შემოწერს მისი ზედაპირი იმავე მიმართულებით სხეულის დეფორმაციისას, მთელი ტანის უძრაობის პირობებში.

ეს ფორმულირება სამართლიანია მხოლოდ იმ პირობით, რომ ლითონის მოცულობა, რომელიც იმყოფება ინსტრუმენტის უშუალო მოკმედების ქვეშ დეფორმაციის პროცესში უნდა იყოს მუდმივი.

გამოვიყენოთ გადაადგილებული მოცულობის ცნება მართკუთხოვანი პარალელებიპედის დასმის შემთხვევისათვის. შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$h_0, h_1, h$ —პარალელებიპედის სიმაღლე დასმის საწყის, ბოლო და ნებისმიერ შუალედ მომენტში;

$b_0, b_1, b$ —იგივე, პარალელებიპედის ფუძის სიგანისათვის (მცირე გვერდი);

$l_0, l_1, l$ —იგივე, პარალელებიპედის ფუძის სიგრძისათვის (დიდი გვერდი);

$V$ —პარალელებიპედის მოცულობა.

ვთქვათ დასმის რაიმე მომენტში პარალელებიპედს ჰქონდა ზომები  $h$ ;  $b$  და  $l$ . მივცეთ პარალელებიპედს უსასრულოდ მცირე დასმა ( $-dh$ )<sup>1</sup>. ამ დროს პარალელებიპედის ფუძის გვერდები მიიღებენ სათანადო ნაზრდს  $db$  და  $dl$  (ნახ. მ3).

პარალელებიპედის სიმაღლის მიმართულებით გადაადგილებული ელემენტარული მოცულობა იქნება:

$$dV_h = bl (-dh). \quad (81)$$

იგივე პარალელებიპედის ფუძის სიგანის მიმართულებით

$$dV_b = l h db. \quad (82)$$

იგივე პარალელებიპედის ფუძის სიგრძის მიმართულებით

$$dV_l = b h dl. \quad (83)$$

<sup>1</sup> მინუს ნიშანს იღებენ იმიტომ, რომ პარალელებიპედის სიმაღლე დასმისას მცირდება.

(იხილეთ შესაბამისად დაშტრიხული არეები 83-ე ნახ-ზე).

პარალელეპიპედის დამახინჯება (კასრის წარმოქმნა, ფუძის

გვერდების გამობურცვა და სხვ). მხედველობაში არაა მიღებული.

მოცულობის მუდმივობის პირობის საფუძველზე გადაადგილებული მოცულობა სიმალეზე უდრის გადაადგილებული მოცულობების ჯამს სიგანეზე და სიგრძეზე, ამიტომ

$$dV_h = dV_b + dV_l \quad (84)$$

(84) განტოლებაში ელემენტარული მოცულობების გამოსახულებების ჩასმით მივიღებთ:

$$lh \cdot db + bh \cdot dl = bl(-dh).$$

თუ მხედველობაში მივი-

ღებთ, რომ  $blh = V = const$ , მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$V \frac{db}{b} + V \frac{dl}{l} = V \frac{(-dh)}{h}.$$

უკანასკნელი ტოლობის ინტეგრირებით სათანადო საზღვრებში მივიღებთ:

$$V \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} + V \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = V \int_{h_0}^{h_1} \frac{(-dh)}{h};$$

$$V \cdot \ln \frac{b_1}{b_0} + V \cdot \ln \frac{l_1}{l_0} = V \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (85)$$

(85) განტოლების თვითეული წევრი წარმოადგენს სათანადო მიმართულებით გადაადგილებულ მოცულობას.

ამრიგად, ნებისმიერი მიმართულებით გადაადგილებული მოცულობა უდრის სხეულის მთელი მოცულობისა და ამავე მიმართულებით ხაზობრივი ზომის ფარდობითი ცვლილებების ნატურალური ლოგარითმის ნამრავლს.



უკანასკნელი განტოლება შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით.

$$V_A = V_b + V_c. \quad (86)$$

84-ე ნახ.ზე წარმოდგენილია სხვადასხვა მიმართულებით გადაადგილებული მოცულობანი.

როგორც ზემოთ გვექონდა აღნიშნული, ხაზობრივი ზომების უარდობით ცვლილებას ჩვენ ვუწოდებთ დეფორმაციის კოეფიციენტები, ამიტომ (85) ტოლობა შემდეგ სახეს მიიღებს.

$$V \cdot \ln \frac{1}{\eta} = V \cdot \ln \beta + V \ln \lambda.$$

გავეთ უკანასკნელი განტოლების ყველა წევრი

$V \cdot \ln \frac{1}{\eta}$  სიდიდებზე, მივიღებთ

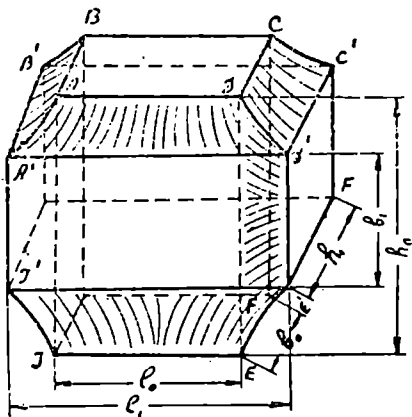
$$\frac{\ln \beta}{\ln \frac{1}{\eta}} + \frac{\ln \lambda}{\ln \frac{1}{\eta}} = 1.$$

ვინაიდან პრაქტიკული ანგარიშებისათვის ნატურალური ლოგარითმების მაგივრად ათობითი (ლოგარითმებით სარგებლობა უფრო მოსახერხებელია, ამიტომ უკანასკნელ ტოლობას შემდეგ სახეს აძლევენ:

$$\frac{\lg \beta}{\lg \frac{1}{\eta}} + \frac{\lg \lambda}{\lg \frac{1}{\eta}} = 1. \quad (87)$$

(87) განტოლების მარცხენა ნაწილის თვითველ წევრს აქვს პრაქტიკული ანგარიშებისათვის საჭირო მნიშვნელოვანი ფიზიკური აზრი. ფარდობა  $\frac{\lg \lambda}{\lg \frac{1}{\eta}}$  გვიჩვენებს, რომ სიმაღლეზე გადაადგი-

ლებული მოცულობის რა ნაწილს შეადგენს გრძივი მიმართულებით



ნახ. 84. პარალელებიპედის სიმაღლეზე, სიგანეზე და სიგრძეზე გადაადგილებული მოცულობის სქემა.

გადაადგილებული მოცულობა. ფარდობა  $\frac{\lg \beta}{\lg \frac{1}{\eta}}$  გვიჩვენებს განივი

მიმართულებით გადაადგილებულ მოცულობას.

მაგალითად, როცა  $\frac{\lg \beta}{\lg \frac{1}{\eta}} = 0,6$ , მაშინ (87) განტოლების სა-

ფუძველზე  $\frac{\lg \lambda}{\lg \frac{1}{\eta}} = 0,4$ ; ეს ნიშნავს, რომ სიმაღლეზე გადაადგილე-

ბული მოცულობის 40% გადაინაცვლებს გრძივი მიმართულებით, ხოლო 60% განივი მიმართულებით.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ არ უნდა აურიოთ ერთმანეთში სხეულის მოცულობა და გადაადგილებული მოცულობის ცნება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე გადაადგილებული მოცულობა დაკავშირებულია სხეულის მოცულობასთან, მაგრამ მათი გაიგივება არ შეიძლება. სინამდვილეში პლასტიკური დეფორმაციის დროს ტანის მოცულობა რჩება უცვლელი, ხოლო გადაადგილებული მოცულობა, მაგალითად, სიმაღლეზე ყოველთვის იცვლება და დასმის გაზრდასთან ერთად მატულობს. გადაადგილებული მოცულობა დასმის ცნობილი სიდიდისათვის შეიძლება გახდეს ტანის მოცულობის ტოლი და დასმის შემდგომი გადიდებით გადააჭარბოს მას.

ასე მაგალითად, თანახმად (85) და (86) ტოლობებისა სიმაღლეზე გადაადგილებული მოცულობა

$$V_h = V \cdot \ln \frac{h_0}{h_1},$$

ან

$$\ln \frac{h_0}{h_1} = \frac{V_h}{V}.$$

დასმის იმ მომენტში, როცა სიმაღლეზე გადაადგილებული მოცულობა უდრის სხეულის მოცულობას, გვაქვს:

$$\frac{V_h}{V} = 1,$$

ან

$$\ln \frac{h_0}{h_1} = 1,$$

უკანასკნელს ეთანადება

$$\frac{h_0}{h_1} = 2,73.$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებს იყენებენ როგორც დასმის, ასევე გლინვის დროს.

### § 6. დეფორმაციის სიჩქარე

დეფორმაციის სიჩქარის ცნების ქვეშ იგულისხმება ხვედრითი გადაადგილებული მოცულობის შეფარდება დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მოცულობა გადაადგილდება.

საერთო სახით დეფორმაციის სიჩქარე შეიძლება გამოისახოს შემდეგი განტოლებით:

$$w = \frac{V_{b_3}}{t} \quad (88)$$

სადაც  $V_{b_3}$  არის ხვედრითი გადაადგილებული მოცულობა რაიმე მიმართულებით;

$t$ —ამ მოცულობის გადაადგილების დრო, სექ;

$w$ —დეფორმაციის სიჩქარე  $\frac{l}{\text{სექ}}$ .

მოცულობის გადაადგილების დრო გამოითვლება ფორმულით:

$$t = \frac{\sqrt{\Delta hr}(1+\lambda)}{2v}, \quad (89)$$

სადაც  $\lambda$  არის გამოკიმვის კოეფიციენტი;

$v$  გლინვის სიჩქარე.

(89) განტოლებაში გამოსახულება  $\frac{\sqrt{\Delta hr} + \sqrt{\Delta hr} \cdot \lambda}{2}$  წარ-

მოადგენს დეფორმაციის კერაში ლითონის ნაწილაკების მიერ გავლილი გზის საშუალო სიგრძეს.

გლინვის დროს ხვედრითი გადაადგილებული მოცულობა ზოლის სიმაღლეზე იქნება:

$$V_{b_3} = \frac{V_h}{v} = \frac{V \ln \frac{H}{h}}{v} = \ln \frac{H}{h} \quad (90)$$

(89) და (90) გამოსახულებების (88) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ გლინვის დროს დეფორმაციის სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობის საანგარიშო ფორმულას.

$$\omega = \frac{\ln \frac{H}{h} \cdot 2\nu}{\sqrt{\Delta hr}(1+\lambda)}. \quad (91)$$

(91) განტოლებაში  $\lambda$ -ს მაგიერად შევიტანოთ მისი მნიშვნელობა:

$$\lambda = \frac{F_1}{F_2} = \frac{HB_1}{hB_2},$$

მივიღებთ:

$$\omega = \frac{\ln \frac{H}{h} \cdot 2\nu h B_2}{\sqrt{\Delta hr}(HB_1 + hB_2)}. \quad (92)$$

თუ გაფართოებას აღვიღებთ, ე. ი.  $B_1 = B_2$ , მაშინ:

$$\omega = \frac{\ln \frac{H}{h} \cdot 2\nu/h}{\sqrt{\Delta hr}(H+h)}. \quad (93)$$

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ დეფორმაციის სიჩქარე არ უნდა აურიოთ გლინვის სიჩქარეში, რომელიც უღრის

$$\nu = \frac{\pi d n}{60}, \quad (94)$$

სადაც  $d$  არის გლინის დიამეტრი;

$n$ —გლინის ბრუნვათი რიცხვი წუთში;

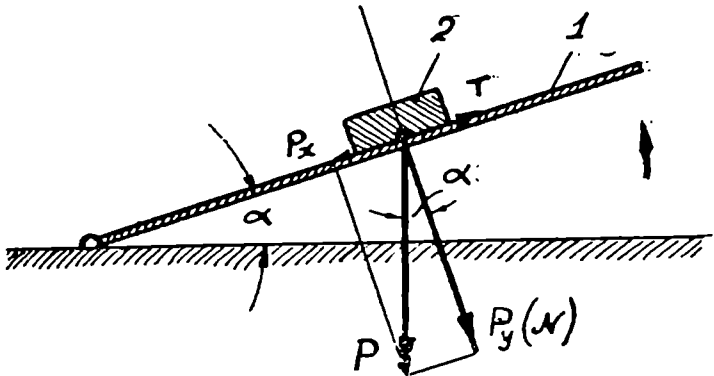
$\nu$ —გლინვის სიჩქარე.

თავი მეხუთე

გლინების მიერ ლითონის შეტაცება

§ 1. გლინების მიერ ლითონის შეტაცებისას მოძვედი ძალები

გლინების პროცესის განხორციელებისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს გლინების მიერ ლითონის შეტაცება, რომელიც ხორციელდება ხახუნის აქტიური ძალების მოქმედებით. ხახუნისძალების გარეშე გლინების პროცესი შეუძლებელი იქნებოდა. რო-



ნახ. 85. ხახუნის კუთხისა და ხახუნის ძალის განსაზღვრის სქემა.

გორც გრძივი, ისე განივი გლინების განხორციელებისათვის საკირობა დაცული იყოს გარკვეული დამოკიდებულება ხახუნის კუთხესა და შეტაცების კუთხეს შორის.

ხახუნის კუთხეზე წარმოდგენის ნათელსაყოფად განვიხილოთ ცნობილი მაგალითი დახრილი სიბრტყის შესახებ (ნახ. 85) თუ  $\alpha$ -ს გაეზრდით 0-დან თანდათანობით, მაშინ დადგება მომენტი როცა 2 სხეული დახრილი 1 სხეულზე დაიწყებს ძვრას ან თანაბარი სიჩქარით მოძრაობას. ეს მოხდება მაშინ როცა:

$$T = P_x = P_y \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (95).$$

ამ მომენტის შესაბამის კუთხეს აღნიშნავენ  $\beta$ -თი და მას ხახუნის კუთხეს უწოდებენ, ხოლო მისი ტანგენსის მნიშვნელობა კი მიღებულია ხახუნის კოეფიციენტად  $f$ .

$$T = P, \operatorname{tg} \beta = N \cdot f, \quad (96)$$

სადაც  $T$  არის ხახუნის ძალა;

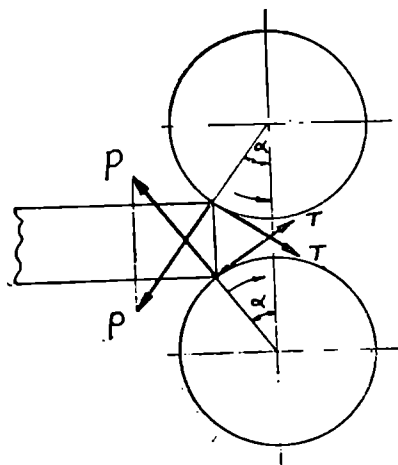
$N$ —ნორმალური ძალა.

ამრიგად, ყოველ ნებისმიერ ორ მოხახუნე სხეულს ერთი და იგივე პირობებში გააჩნია ხახუნის კუთხის (ხახუნის კოეფიციენტის)

მუდმივი მნიშვნელობა. მაშასადამე, თუ განვიხილავთ გლინსა და ლითონს როგორც მოხახუნე სხეულებს, მათ გააჩნიათ ხახუნის კუთხის გარკვეული მნიშვნელობა.

შეტაცების კუთხე ეწოდება იმ კუთხეს, რომელიც მოიცავს გლინების ლითონთან შეხების რკალს (ნახ. 86).

ხახუნის ძალის მიმართულებას განსაზღვრავს გლინების ბრუნვის მიმართულება, ხოლო მის სიდიდეს, გლინებსა და ლითონს შორის მოქმედი ნორმალური ძალა (ნახ. 86) და ხახუნის კოეფიციენტი.



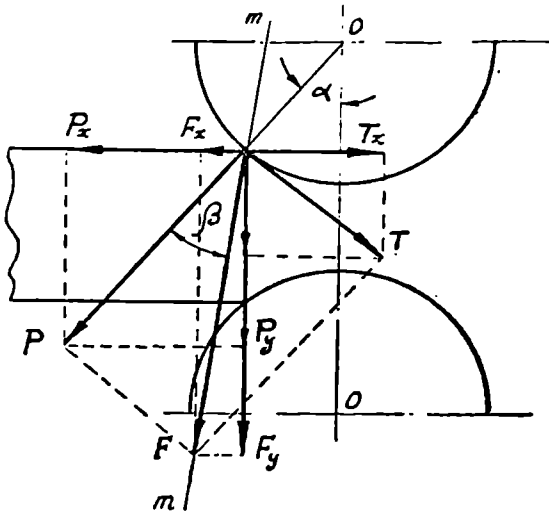
ნახ. 86. გლინების მიერ ლითონის შეტაცებისას მოქმედი ძალების სქემა.

## § 2. შეტაცების პირობები

როგორც ადრე აღვნიშნეთ გლინების მიერ ლითონის შეტაცებისათვის საჭიროა დაცული იყოს გარკვეული დამოკიდებულება ხახუნის კუთხესა და შეტაცების კუთხეს შორის. ამ დამოკიდებულების დასადგენად განვიხილოთ მაგალითი თვით გლინვის პროცესზე. ლითონის შეტაცება განხორციელდება იმ შემთხვევაში, თუ მასზე მოქმედი ყველა ძალების ტოლქმედი მიმართული იქნება გლინების ხახისაკენ, წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი ექნება უკუგდევას.

გლინებიდან ლითონზე მოქმედი ნორმალური ძალა არის  $P$  (ნახ. 87), ხოლო ხახუნის კუთხე— $\beta$ . ვთქვათ ხახუნის კუთხე ნაკლებია შეტაცების კუთხეზე, მაშინ ხახუნის ძალა თანახმად (96) ტოლობისა იქნება:  $T = P \operatorname{tg} \beta$ , რომელიც მოქმედებს გლინების მხე-

ბად, როგორც 87-ე ნახ-დან ჩანს მათი ტოლქმედი  $F$  მიმართულია გლინებიდან გარეთ, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეტაცება შეუძლებელია, უკუმგდები  $P_x$  ძალა მეტია შეტაც  $T_x$  ძალაზე.

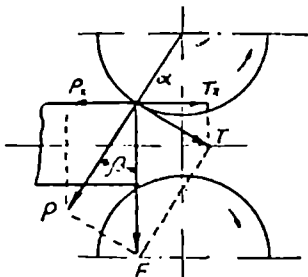


ნახ. 87. ძალთა მოქმედების სქემა, როცა  $\beta < \alpha$ .

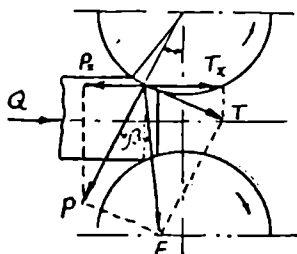
ტოლქმედი  $F$  ნეიტრალურ მდგომარეობაში იქნება მაშინ, თუ  $m \parallel$  წრფე (ნახ. 88) პარალელური იქნება გლინების ლერძებზე გამავალ სიბრტყისა, ე. ი. ადგილი ექნება ტოლობას  $\alpha = \beta$ . ეს მოხდება იმ შემთხვევაში, თუ  $\alpha$ -ს შევამცირობთ  $\beta$ -მდე, ანდა  $\beta$ -ს გავზრდით  $\alpha$ -მდე. პირველი ხორციელდება გლინების ერთმანეთთან დაცილებით ან ლითონის საწყისი სიმაღლის შემცირებით, ხოლო მეორე — გლინების ან ლითონის ზედაპირის ხარისხის გაუარესებით. როცა  $\alpha = \beta$  გვაქვს წონასწორული მდგომარეობა (ნახ. 88), შეტაცება შეიძლება მოხდეს, შეიძლება არა. ეს დამოკიდებულია გარეშე ფაქტორებზე. ყოველი ღონისძიება, რომელიც ხელს უწყობს უტოლობას  $\alpha < \beta$ , დადებითად მოქმედებს შეტაცების პროცესზე და პირიქით.

ხახუნისა და შეტაცების კუთხეთა ზემოთ განხილული დამოკიდებულების საფუძველზე არჩევენ შეტაცებას ბუნებრივსა და ხელოვნურს. ბუნებრივი შეტაცების დროს  $\alpha \leq \beta$ , ანუ  $P_x \leq T_x$ , ხელოვნური შეტაცება ხორციელდება გარეშე  $Q$  ძალის ჩარევით, რომელიც მოქმედებს გლინების ხახისაკენ (ნახ. 89) და ამით ამცირებს უკუმგდებ ძალას  $P_x$ -ს.

გლინვის დამყარებული პროცესის დროს, საჭიროა წონასწორობისათვის მხედველობაში მივიღოთ არა მთელი კუთხე  $\alpha$ , არამედ მისი ის ნაწილი, რომელსაც კმნის ელემენტარული რეაქციის ძალების ტოლქმედი (ნახ. 91).



ნახ. 88. ძალთა წონასწორობა ბუნებრივ შეტაცების დროს ( $\alpha = \beta$ ).

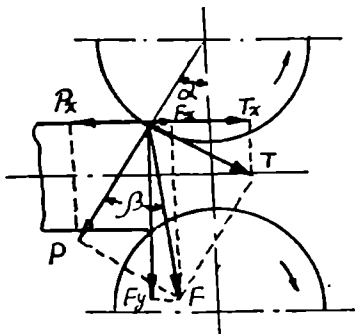


ნახ. 89. ხელოვნურ შეტაცებისას მოქმედი ძალები.

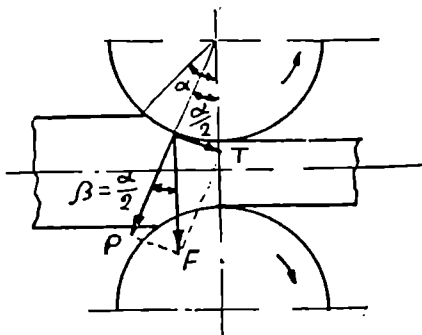
რამდენადაც ეს კუთხე ახლოს არის  $\frac{\alpha}{2}$ -თან, ამიტომ წონასწორობის პირობა ხასიათდება ტოლობით

$$\frac{\alpha}{2} = \beta, \text{ ანუ } \alpha = 2\beta.$$

ამრიგად, გლინვის დამყარებული პროცესის განხორციელება გაცილებით ადვილია, ვიდრე მისი დასაწყისი სტადია. ვინაიდან



ნახ. 90. შემთხვევა, როცა შეტაცების კუთხე ნაკლებია ხაზუნის კუთხეზე ( $\alpha < \beta$ ).

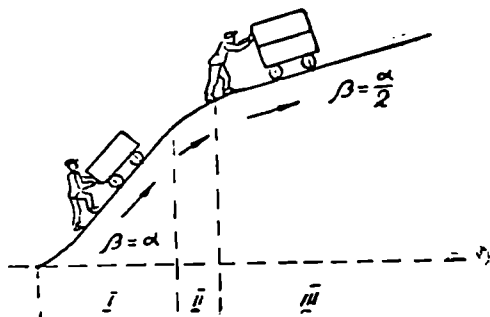
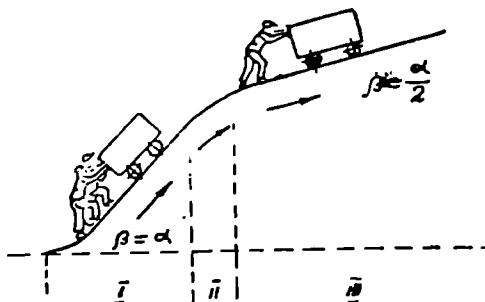


ნახ. 91. ძალთა წონასწორობა გლინვის დამყარებული პროცესის დროს.

გლინვის თითქმის ყოველი შემთხვევა (თუ არ მივიღებთ მხედველობაში ხელოვნურ შეტაცებას) იწყება ლითონის ბუნებრივი შე-



ტაცებით, ამიტომ, გლინების ხახის ლითონით შევსების შემდეგ (გლინის დამყარებული პროცესში) წარმოიქმნება ხახუნის ძალის ნაქარბი, რაც შეესაბამება  $\alpha = \beta$  პირობიდან  $\alpha = 2\beta$  პირობაზე გა-



ნახ. 92. გლინების მიერ ზოლის შეტაცებიდან გლინის დამყარებულ პროცესზე გადასვლის მოდელი (პავლოვის მიხედვით).

დასვლას, ხახუნის ძალის ეს ნაქარბი იხარჯება ე. წ. წინსწრებაზე (იხ. VIII თავი). ხახუნის ამ ქარბი ენერგიის გამოყენებაზე ქვემოთ გვექნება საუბარი.

გლინების მიერ ზოლის ბუნებრივ შეტაცებიდან დამყარებულ პროცესზე გადასვლის საინტერესო მოდელს იძლევა პროფ. ი. მ. პავლოვი (ნახ. 92).

### § 3. დამოკიდებულება შეტაცების კუთხესა, გლინების დიამეტრსა და ხაზობრივ მოქიმივას შორის

შეტაცების კუთხესა, გლინების დიამეტრსა და ხაზობრივ მოქიმივას შორის დამოკიდებულება პირველად წამოყენებული იქნა ვ. ე. გრუმ-გრეიმაილოს მიერ და იგი ითვლება გლინების ერთ-ერთ ძირითად განტოლებად.

აღნიშნული დამოკიდებულების დასადგენად მივმართოთ 82-ე ნახ-ს, რომლის თანახმადაც

$$H-h = \Delta h = 2r(1 - \cos\alpha) = d(1 - \cos\alpha),$$

სადაც  $d$  გლინების დიამეტრია,

$\Delta h = H-h$  — აბსოლუტური, ანუ ხაზობრივი მოქიმივა;

ამ უკანასკნელი განტოლებიდან:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{d}, \quad (97)$$

ან

$$1 - \cos\alpha = \frac{\Delta h}{d} \quad (98)$$

### § 4. სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა შეტაცების უღვრულ პირობებზე

გლინების წარმოებაში დიდი ხნის განმავლობაში იყო გაბატონებული კირხბერგის „ზღვრული თეორია“, რომლის თანახმადაც მოქიმივისა და გამოქიმივის კოეფიციენტებს გააჩნდათ ზღვრული მნიშვნელობანი. მაგალითად, ზოლის გამოქიმივა შეიძლება ნებისმიერი სიდიდისა ყოფილიყო მაგრამ არა უმეტეს ორჯერადისა. კირხბერგის ეს მოსაზრება ყოველგვარ მეცნიერულ დასაბუთებას მოკლებული იყო. იგი გამოდიოდა ნაგლინის ზედაპირული დეფექტების (ნაბზარების) დაუშვებლობიდან, მაგრამ ვერ გაითვალისწინა, რომ ამ დეფექტების მიზეზი უმთავრესად ლითონის ხარისხია და არა მალალი მოქიმივა.

სამწუხაროდ ამ თეორიას ბევრი პრაქტიკოსი და თეორეტიკოსი იზიარებდა; რამაც საკმარისად შეაფერხა გლინების წარმოების განვითარება წარსულში. პირველი მეცნიერი, რომელიც ამ თეორიის წინააღმდეგ გამოვიდა იყო ვ. ე. გრუმ-გრეიმაილო. მან ცდებით დაამტკიცა კირხბერგის თეორიის მცდარობა. ამჟამად საბჭოთა მეცნიერებისა და პრაქტიკოსების მიერ ზღვრული თეორია საბოლოოდ იქნა უკუგდებული. მაგრამ, ხარისხული და მალაღნიხშირბადიანი ფოლადების გლინებისას, ჩვენს პრაქტიკაშიც კპოვა მხარ-

დაქერა ე. წ. „ფრთხილმა მოქიშვებმა“, განსაკუთრებით პირველი გატარებებისათვის. უკანასკნელ წლებში, მთელ რიგ საბჭოთა ქარხნებში და კვლევით ლაბორატორიებში ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ცდებით დამტკიცებული იქნა, რომ აბსოლუტური მოქიშვის სიდიდეს ძირითადად განსაზღვრავს არა ლითონის ხარისხი და მისი ქიმიური შემადგენლობა, არამედ გლინვის ძალოვანი პირობები, რომლებიც ხასიათდებიან დეფორმაციის მექანიკური სქემებით—მთავარ ძაბვებისა და მთავარ დეფორმაციების სქემებით.

გლინვისას ლითონის პლასტიკურ ფორმა-ცვალებადობაზე დეფორმაციის მექანიკური სქემის გავლენის შესწავლაში დიდი ლეწული მიუძღვით პროფ. ს. ი. გუბკინს და პროფ. ი. ი. ტარნოვსკის. მალალნახშირბადიან და ლეგირებული ფოლადების პლასტიკურობის შესწავლაში მნიშვნელოვანი წვლილი მიუძღვის აგრეთვე ი. მ. ჩიკოვს.

მაშასადამე, თუ ლითონის ხარისხიდან დაბრკოლება არ იქნება, მალალი და ზემალალი მოქიშვების განხორციელებისათვის, დგანის სიმტკიცისა და სიმძლავრის პირობების გარდა გვრჩება მხოლოდ ერთი ძირითადი პირობა—გლინების მიერ ლითონის შეტაცება. შეტაცების ზღვრულ პირობაზე, რომელიც პირდაპირ კავშირშია მალალი მოქიშვების გამოყენებასთან, გადამწყვეტ გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები: ხახუნის კოეფიციენტი, ნაწილის გლინებში მიწოდების ძალა და გლინების წრიული სიჩქარე.

მოკლედ განვიხილოთ თვითეული მათგანის გავლენა.

### 1. ხახუნის კოეფიციენტის გავლენა

ბუნებრივი შეტაცების ზღვრულ პირობებში მაქსიმალური მოკიშვის დამოკიდებულება ხახუნის კოეფიციენტთან და გლინების დიამეტრთან შეიძლება განვსაზღვროთ განტოლებით:

$$\Delta h = d(1 - \cos\alpha)$$

მაქსიმალურ მნიშვნელობებისას განტოლება იღებს სახეს

$$\Delta h_{max} = d(1 - \cos\alpha_{max}).$$

თუ შევცვლით

$$\cos\alpha_{max} = \frac{\cos\alpha_{max}}{\sqrt{\sin^2\alpha_{max} + \cos^2\alpha_{max}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha_{max}}},$$

მივიღებთ:

$$\Delta h_{max} = d \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha_{max}}} \right).$$

როგორც ვიცით შეტაცების ზღვრულ მდგომარეობაში  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta = f$ , მაშინ

$$\Delta h_{\max} = d \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}} \right). \quad (99)$$

ხახუნის კოეფიციენტი განისაზღვრება ეკელუნდის ემპირული ფორმულებით. ფოლადის გლინებისათვის

$$f_{\bullet} = 1,05 - 0,0005t \quad (100)$$

თუჯის გლინებისათვის

$$f_{\bullet} = 0,8(1,05 - 0,0005t) \quad (101)$$

სადაც  $t$  არის გასაგლინი ზოლის ტემპერატურა, °C.

თუ (99) ფორმულის ფრჩხილებში გამოსახულ სიდიდეს აღვნიშნავთ  $A$ -თი, მაშინ

$$\Delta h_{\max} = Ad \quad (102)$$

$A$  კოეფიციენტის სიდიდე განისაზღვრება გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდით, რომელიც დამოკიდებულია გლინვის ტემპერატურაზე. (102) ფორმულით მაქსიმალური მოქიზვის პრაქტიკული ანგარიშისათვის  $A$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია მე-7 ცხრილში.

ცხრილი 7

ტემპერატურა °C	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
კოეფიციენტი $A$	0,162	0,152	0,142	0,132	0,123	0,114	0,106	0,098	0,090	0,082

$A$  კოეფიციენტის საზღვრავენ აგრეთვე ნოსელის ფორმულით: ფოლადის გლინებისათვის  $A = 0,3 - 0,0175 \frac{t}{100}$ ,

თუჯის გლინებისათვის  $A = (0,66 \div 0,70) \left( 0,3 - 0,0175 \frac{t}{100} \right)$ .

ამ დროს შეცდომა არ აღემატება  $\pm 2\%$ .

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებიდან შეიძლება დავასკვნათ:

- 1) რაც მეტია ხახუნის კოეფიციენტი, მით მეტია შემტაცი ძალა და, მაშასადამე, შეტაცებაც უფრო საიმედოა;
- 2) გლინების დიამეტრის გაზრდით, როცა  $\Delta h = \cos t$ , შეტაცების პირობები უმჯობესდება.

შეტაცების პირობებზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ზედაპირული ზენჯი, რომელიც აუარესებს მას.

გლინვის პროცესში ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის მეთოდი იხილეთ მეორე თავში.

## 2. ნამზადის გლინებში მიწოდების ძალა

ნამზადის გლინებში მიწოდების ძალა, ანუ მიჭერის ძალა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს შეტაცების საწყის მომენტში, ჯერ ერთი მის პროპორციულად იზრდება შემტაცი ძალა და მეორეს მხრივ ნამზადის წინა ნაწიბურები ბლაგვდება, რასაც მივეყვართ მოქმედი ძალების გადანაწილებისაკენ. ამის შედეგად უმჯობესდება შეტაცების პირობები და, მაშასადამე, აბსოლუტური მოქიმვის გაზრდის შესაძლებლობანი.

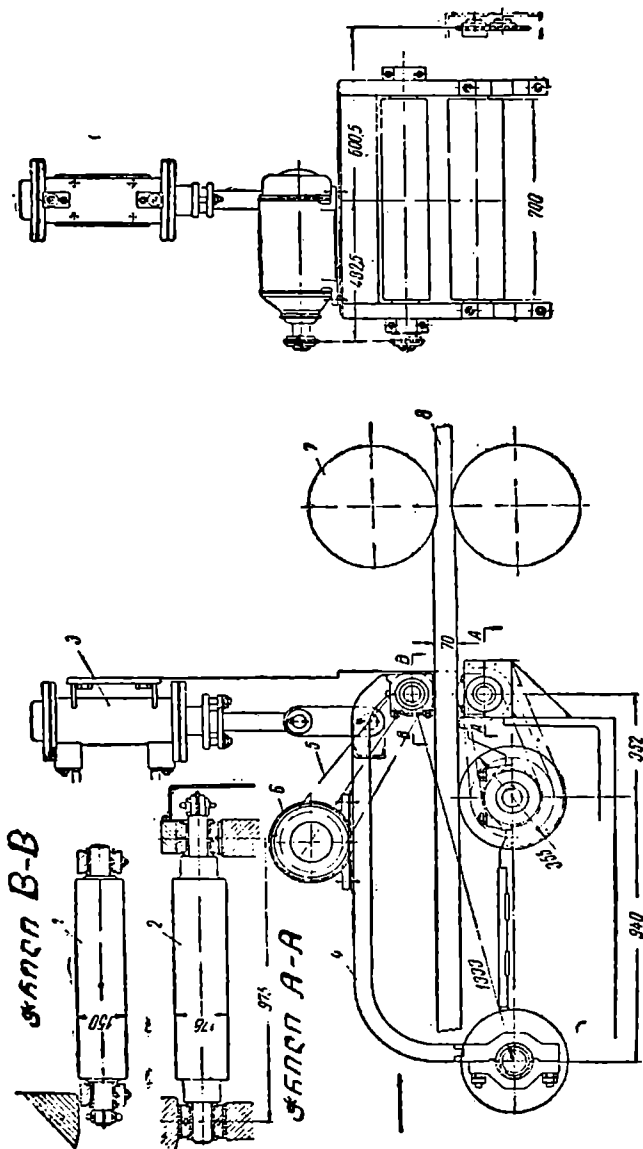
უკანასკნელ დროს დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ ნამზადის გლინებზე მიჭერის ძალის ხელოვნურ გაზრდას. ამ მიზნით წამოყენებული იქნა სხვადასხვა მექანიზმები და მოწყობილობანი. ერთ-ერთი მათგანი მოყვანილია 93-ე ნახ.ზე. ამ დანადგარში საგლინავი გალის წინ მერხვე ჩარჩოზე დამაგრებულია დამკერი გორგოლაკი. გორგოლაკის დაკერა ნამზადზე ხორციელდება პნემატური ან ჰიდრაულიკური ცილინდრის საშუალებით. გორგოლაკი მოძრაობაში მოჰყავს ჩარჩოზე დაყენებულ ძრავს ჯაქვეური გადაცემის საშუალებით.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა ეს დანადგარები საკმარისად ართულებენ საგლინავ დანადგარს და მისი ავტომატიზაციის პირობებს.

## 3. გლინების წრიული სიჩქარის გავლენა შეტაცების პირობებზე

უნდა აღინიშნოს, რომ სიჩქარის გავლენის ეს მეტად მნიშვნელოვანი საკითხი ჯერჯერობით საკმარისად არ არის შესწავლილი. არსებული დგანების წარმადობის გაზრდის მიზნით ხშირად ზრდიან გლინების სიჩქარეს, მაგრამ ამას მივეყვართ არადამაკმაყოფილებელ შეტაცებისაკენ და ზოგჯერ სულ შეუძლებელიც ხდება შეტაცება.

გლინების წრიული სიჩქარის გაზრდით ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება, შეტაცების პირობები უარესდება და პირიქით. აღნიშნულ საკითხზე მეტად მცირე შრომებია მიძღვნილი. მნიშვნელოვანი შედეგები აქვს მიღებული ვ. ა. ტიაგუნოვს, რომელიც იკვლევდა



ნახ. 93. საგლინავ-უჯრაში ნაზადის იძულებით მიმწოდებელი დანადგარი.



მაშინ, გლინვის დამყარებულ პროცესში სამართლიანია ტოლობა

$$f = \operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

§ 2-ის თანახმად შეტაცების მომენტიდან დამყარებულ პროცესზე გადასვლისას რჩება ხახუნის ჭარბი ძალა, რომელიც განისაზღვრება პირველ და მეორე პროცესში ხახუნის ძალების სხვაობით.

$$f - f_1 = \operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}.$$

ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისა და საკონტაქტო ზედაპირზე ხახუნის ძალების გადასალახავი სიმძლავრე შეიძლება განისაზღვროთ ი. მ. პავლოვის ფორმულით:

$$N = FBD\alpha v f,$$

სადაც  $P$  არის ხვედრითი წნევა;

$B$ —გასაგლინი ზოლის სიგანე გაგლინვამდე;

$D$ —გლინის დიამეტრი;

$\alpha$ —შეტაცების კუთხე, რომელიც განისაზღვრება ხახუნის კოეფიციენტით;

$v$ —გლინვის სიჩქარე.

მაშასადამე, ჭარბი სიმძლავრე იქნება:

$$N_{\text{ჭარბ}} = PBD\alpha_1 v (f - f_1) = PBD\alpha_1 v \left( \operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \right) \quad (103)$$

აქ  $\alpha_1$ —შეტაცების ნამდვილი კუთხე რადიანებში.

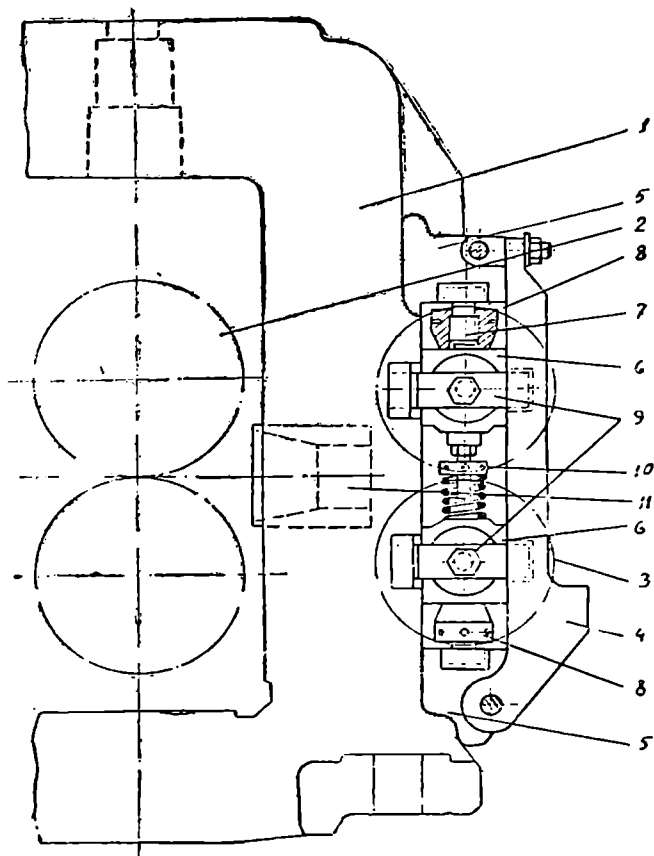
როგორც ნ. ვ. ლიტოვჩენკოს მონაცემებიდან ჩანს გლინვის ტემპერატურების სხვადასხვა ზღვრებში შეტაცების ზღვრულ პირობებში ხახუნის ჭარბი ძალები შეადგენენ 52—55%. ეს ნიშნავს, რომ გლინვის დამყარებულ პროცესში გამოიყენება ხახუნის აქტიური ძალების მხოლოდ 45—48%. მცირე შეტაცების კუთხეების დროს ეს ჭარბი ძალები კიდევ უფრო მატულობს. ასე მაგალითად, თუ  $\alpha = 5—15^\circ$  და  $t = 700—1300^\circ$ , მაშინ  $N_{\text{ჭარბ}} = 93—67\%$ .

### 1. ხახუნის ჭარბი ძალების გამოყენება

ამეამად არსებობს ხახუნის ჭარბი ძალების გამოყენების რამდენიმე ვარიანტი. ეს ძალები პრაქტიკაში ჯერჯერობით გამოიყენება უწყვეტ დგანებზე გასაგლინი ზოლის გადაბრუნებისათვის ან გელიკოიდალური არმატურის (გადამბრუნებელი გამყვანები) ანდა ინტ. ს. ვ. მერეკინის მიერ დამუშავებულ სპეციალური დანად-



გარის (გადამბრუნებელი გორგოლაკები) საშუალებით (ნახ. 96 და 97). როგორც ძრავის სიმძლავრის გაზომვები გვიჩვენებს, ზოლის

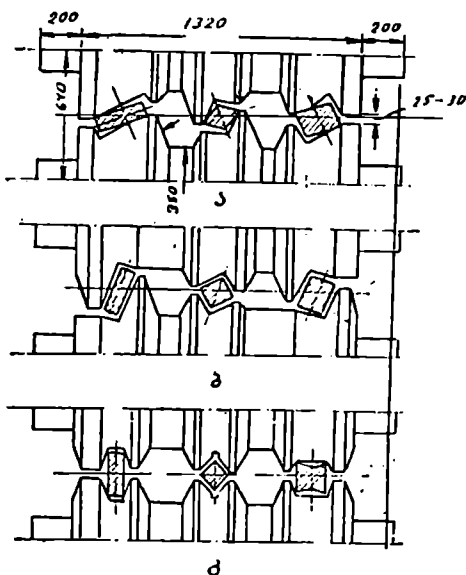


ნახ. 96. გამოყვანილი გადაყრავებული გლინების დაყენება მომუშავე დგანზე.

ან ზღუმსის გელიკოიდალურ გამყვანების საშუალებით გადაბრუნებისას, ენერჯის ხარჯი, ტემპერატურისა და ნაგლინის კვეთისაგან დამოკიდებულებით იზრდება 25—35%-ით. მერეკინის სისტემის გადამბრუნებელი გორგოლაკების გამოყენებისას ენერჯის

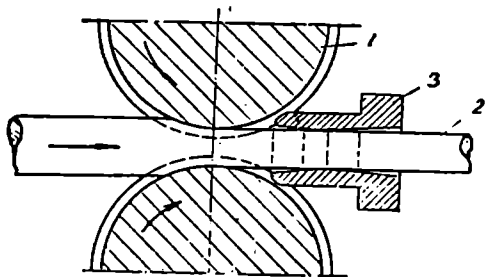
ბარჯი მცირდება მინიმუმამდე, რაც სრიალის ხახუნის, გორვის ხახუნით შეცვლით აიხსნება.

არის ცდები ხახუნის კარბი ძალებით გამოწვეული ზოლის



ნახ. 97. გადაყირავებელი გლინების ტიპები:  
 ა—გამომყვანი; ბ—შემყვანი; გ—სუფთა უჯრის  
 გამომყვანი.

„დაწნევის“ გამოყენებისა მისი ნომინალური ზომების მისაღებად. ამ მიზნით სუფთა გალის წინ (ნაგლინის გამოსვლის მხრიდან) აყენებენ სპეციალურ მაკალიბრებელ თვალს (ნახ. 98).



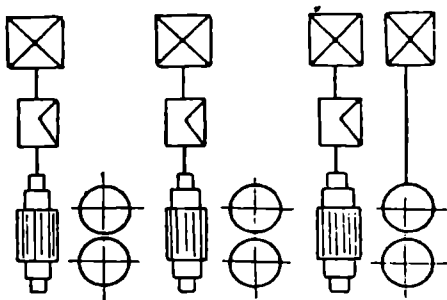
ნახ. 98. დამკალიბრებელი თვალის დაყენების სქემა.

## 2. დგანები, რომლებიც მუშაობენ ხახუნის ძალების გამოყენებით

ხახუნის კარბი ძალები შეიძლება გამოყენებული იქნას სპეციალური კონსტრუქციის დგანებში: უწყვეტ დგანებში ან უწყვეტ-ჯგუფთან პერიოდული გლინვის დგანებში.

ნამზადთა გლინვისათვის შეიძლება რეკომენდირებულ იქნას უწყვეტ-სანამზადო დგანი (ნახ. 99), რომელსაც გააჩნია გაღების წყვილი რაოდენობა. გაღები განლაგებულია ისე, რომ ჰორიზონტალურ გლინებიანის შემდეგ დადგმულია ვერტიკალურ გლინებიანი. ჰორიზონტალურ გლინებიანი გაღები მოიყვანებიან მოძრაობაში, ხოლო ვერტიკალურ გლინებიანი კი არა. გლინვის მიმართულებით უკანასკნელი გალიც ამძრავია.

ასეთი დგანების დაგეგმარებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული შემდეგი თავისებურებანი: არა ამძრავ გლინებში ზოლის მოკიშვა დაკავშირებულია ამძრავ გლინებში ხახუნის კარ-



ნახ. 99. უწყვეტ-სანამზადო დგანის სქემა (არა ამძრავი გაღებით).

ბი ძალებით გამოწვეულ დამწწნეე ძალასთან, რომელიც ზოლზე ღერძულად მოქმედებს. თუ თავისუფალ გლინებში წინააღმდეგობა და გაღებს შორის მანძილიც საკმარისად დიდია, მაშინ შეიძლება მივიღოთ ზოლის გაღუნვა. ამიტომ გაღებს შორის მანძილი და უქმ გლინებში მიმწოდებელი ძალა უნდა ვიანგარიშოთ ისე, რომ ადგილი არ ექნეს ზოლის გაღუნვას.

უწყვეტ-სანამზადო დგანის მეორე ვარიანტია დანადგარი მხოლოდ ჰორიზონტალური გლინებით, ხოლო ამ დროს ამძრავ გაღებს შორის საკიროა ს. მ. მერეკინის გადამბრუნებელი გორგოლაქების დაყენება.

მაგნიტოგორსკის მეტალურგიული კომბინატის უწყვეტი დგანის „300“-ის მუშაობის პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ამძრავ და არა-ამძრავ გლინების ერთდროული არსებობა სადაც გამოყენებულია ხახუნის კარბი ძალები, საყვებით შესაძლებელია და ეკონომიურიც. არის. დგანი მეტად კომპაქტური გამოდის.

**ლიტონის გაფართოება გლინვის დროს**

**§ 1. გაფართოების საკითხის შესწავლის მდგომარეობა და მისი პრაქტიკული მნიშვნელობა**

გლუვ კასრზე გლინვისას ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ზოლის მოცემული საწყისი ზომებისა და მოქიშვის მიხედვით განვსაზღვროთ მისი ზომები გაგლინვის შემდეგ. ზოგჯერ მოცემულია ზოლის ზომები გატარების შემდეგ და მოქიშვა, უნდა განვსაზღვროთ ზოლის საწყისი ზომები. როგორც პირველი, ისე მეორე შემთხვევისათვის უცნობია ზოლის სიგრძე და სიგანე.

მოცულობის მუდმივობის კანონის საფუძველზე დეფორმაციის კოეფიციენტებს შორის შემდეგი სახის დამოკიდებულება არსებობს:

$$\frac{1}{\eta} = \beta \lambda.$$

რადგან  $\frac{1}{\eta}$ , მოცემული  $H$  და  $h$  ზომების მიხედვით ადვილად განისაზღვრება. უცნობი სიდიდეებია: გაფართოება  $\beta$  და გამოქიშვა  $\lambda$ , მათი განსაზღვრისათვის აუცილებელია გვექონდეს ორი განტოლება. ერთ-ერთ მათგანს წარმოადგენს მოცულობის მუდმივობის განტოლება, ხოლო მეორეს ზოლის გაფართოების საანგარიშო ფორმულები. ამიტომ ზოლის გაფართოების ანგარიშისათვის საიმედო ფორმულის არსებობა წყვეტს გამოქიშვის ანგარიშის საკითხსაც და შესაბამისად შესაძლებელი ხდება ზოლის ყველა ზომების ანგარიში გატარების შემდეგ და პირიქით. აქედან ჩანს გლინვის დროს გაფართოების საანგარიშო ფორმულის არა მარტო თეორიული, არამედ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც.

უკანასკნელი 50—60 წწ. განმავლობაში ჩატარებულია მთელი რიგი სამუშაოები გლინვის დროს გაფართოების საკითხის შესწავლაზე. ყველა საანგარიშო ფორმულების დაწერილებითი ანალიზის გაკეთებას ჩვენ აქ არ მოვახდენთ, მხოლოდ შემოვიფარგლებით მათი ზოგადი დახასიათებით.

გაფართოების საკითხის მკაცრი თეორიული გადაწყვეტისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ დაძაბული მდგომარეობა დეფორმაციის კერის ყოველ წერტილში, მაგრამ მიუხედავად პლასტიკურობის მათემატიკური თეორიის დიდი მიღწევებისა (პირველ რიგში საბჭოთა მკვლევარების მიღწევები) ეს თეორია არ იძლევა გლინვის დროს ზოლის გაფართოების საკითხის გადაწყვეტის შესაძლებლობას.

ამიტომ ყველა ავტორმა, რომელიც გლინვის დროს გაფართოების საკითხზე მუშაობს აიჩრია უფრო მარტივი გზა, სახელდობრ თვითეული ავტორი, საფუძვლად იღებს ამა თუ იმ ჰიპოტეზას და ლებულობს გაფართოების საანგარიშოდ განსაზღვრულ ფორმულას. მიღებული ფორმულების შემოწმებისათვის ჩატარებულია ცდები, რომელთა შედეგები შედარებულია საანგარიშო გაფართოებასთან, ვინაიდან თვითეული ამ ფორმულებიდან არ ითვალისწინებს ყველა ფაქტორებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ გაფართოებაზე; ცდით მიღებულ და საანგარიშო გაფართოებას შორის სხვაობა ხშირად მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს.

გაფართოების საანგარიშო ფორმულებში, მათი ცდის მონაცემებთან შეთავსების მიზნით, შეჰყავთ შემასწორებელი კოეფიციენტი. ამ გზით მიღებული ფორმულები გლინვის განსაზღვრული კერძო შემთხვევებისათვის გამოსაყენებელი ხდება. ამ ფორმულების გამოყენების საზღვრების გადიდებისათვის მთელი რიგი ავტორები შემასწორებელ კოეფიციენტებს თვლიან ცვალებად სიდიდეებად, რომლებიც დამოკიდებულია გლინვის პირობებზე.

სხვადასხვა ავტორების მიერ გამოყვანილი გაფართოების საანგარიშო ფორმულების უმრავლესობა არ შეიცავს გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტს, რაც ამ ფორმულების ერთ-ერთ უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს. ფაქტიურად თანაბარი დეფორმაცია გლინვის დროს შეუძლებელია და გარეგანი ხახუნის ძალების არსებობა ჰქმნის ლითონის დენადობის სხვადასხვაობას გრძივი და განივი მიმართულებებით. გარეგანი ხახუნის ძალები, როგორც ცნობილია, დამოკიდებულია, დეფორმირებული სხეულის ფორმაზე (მისი ზომების ფარდობაზე) და გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტზე. ვინაიდან სხვადასხვა ავტორების მიერ გამოყვანილი გაფართოების საანგარიშო ფორმულების უმრავლესობა არ შეიცავს გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტს, ისინი შესაბამისად არ ითვალისწინებენ ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს, რომელიც განსაზღვრავს გაფართოებისა და დამოკიდების თანაფარდობას.

უცხოელი ავტორების სამუშაოები გაფართოების გამოკვლევის საკითხის შესახებ ხასიათდებიან ემპირიზმით. ამის ნათელ მაგალი-

თად შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ სხვადასხვა ლითონებისათვის იძლევიან გაფართოების საანგარიშო ცალკეულ ფორმულებს.

საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ გლინვის თეორიაში არ არსებობს გაფართოების საანგარიშო ზუსტი ფორმულა გლუვ კასრზე გლინვის მარტივი შემთხვევისათვისაც კი, ხოლო რაც შეეხება გლინვის რთულ შემთხვევებს—მარტივ და ფასონურ კალიბრებში გლინვას, მათთვის გაფართოების და გამოკიშვის ანგარიშის მეთოდით არ არსებობს.

გლუვ კასრებზე გლინვის დროს გაფართოების საანგარიშო ფორმულებიდან ყველაზე უფრო ზუსტ შედეგებს იძლევა გუბკინისა და ეკელუნდის ფორმულები.

გუბკინის ფორმულა:

$$\Delta B = (1 + \mu) \left( f \sqrt{\Delta h r} - \frac{\Delta h}{2} \right) \mu, \quad (104)$$

სადაც  $\mu = \frac{H-h}{H}$ ;  $r$ —გლინების რადიუსია;  $f$ —ხახუნის კოეფიციენტი.

ეს ფორმულა ითვალისწინებს ხახუნის კოეფიციენტს, მაგრამ არ ითვალისწინებს ზოლის სიგანის გავლენას, რაც მის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს.

ეკელუნდის ფორმულა:

$$\Delta B = \sqrt{4n^2(H+h)^2 \left( \frac{x_0}{B_1} \right)^2 + B_1^2 + 4nx_0(3H-h) - 2n(H+h) \frac{x_0}{B_1} - B_1}, \quad (105)$$

სადაც

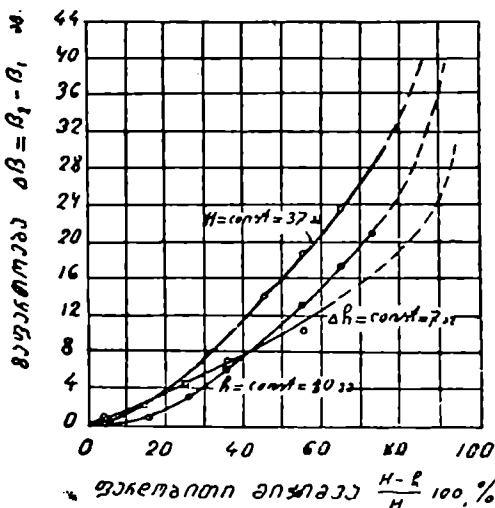
$$n = \frac{1,6fx_0 - 1,2\Delta h}{H-h}; \quad x_0 = \sqrt{\Delta h r}.$$

ეს ფორმულა გუბკინის ფორმულასთან შედარებით რთულია, მაგრამ იგი ითვალისწინებს როგორც ხახუნის კოეფიციენტის, ასევე ზოლის სიგანის გავლენას.

## § 2. მოჭიმვის გავლენა გაფართოებაზე

მოკიშვა წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს, რომელიც გავლენას ახდენს გაფართოებაზე. მისი გავლენა უნდა მივაწეროთ

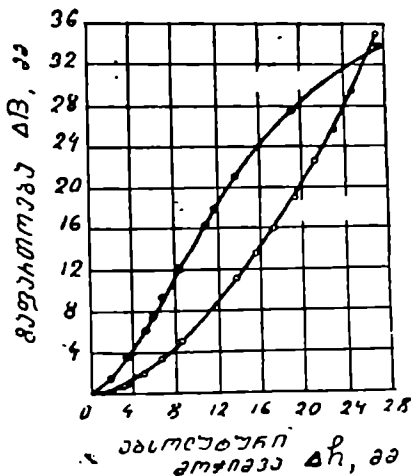
დეფორმაციის კერის გრძივი კვეთის ფორმის ცვლილებას. მოკიშვის გადიდებით გაფართოება იზრდება, ამასთან ზრდის ხასიითი



ნახ. 100. გაფართოების ( $\Delta B$ ) დამოკიდებულება ფარდობით მოკიშვასთან.

დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ იცვლება დეფორმაციის კერის ფორმა მოკიშვის გადიდებით.

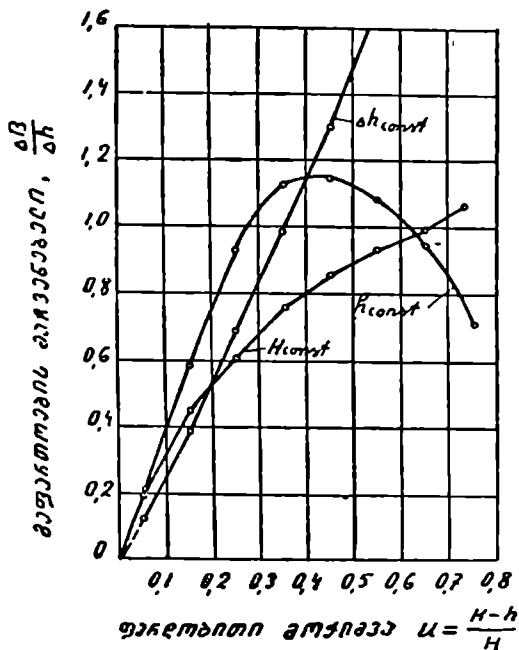
ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე [6] ფარდობითი და აბსოლუტური მოკიშვების გავლენა გაფართოებაზე წარმოდგენილია მე-100 და 101-ე ნახ.ზე.



ნახ. 101. გაფართოების დამოკიდებულება აბსოლუტურ მოკიშვასთან  $H$  და  $h$  სიდიდეების მუდმივობის პირობებში: ფოლადი  $C_{T-1}$ , ტემპერატურა  $900^{\circ}$ ,  $d = 400$  მმ.

გაფართოების დამახასიათებელ სიდიდედ ხშირად იღებენ ხაზობრივი გაფართოების ( $\Delta B$ ) შეფარდებას ხაზობრივ მოკიშვასთან ( $\Delta h$ ). აღნიშნული სიდიდის ( $\frac{\Delta B}{\Delta h}$ ) დამოკიდებულება ფარდობით მოკიშვასთან ნაჩვენებია 102-ე ნახ.ზე.

მოყვანილი მრუდები გვიჩვენებენ, რომ გაფართოებაზე ფარდობითი მოკიშვის გავლენის ხასიათი მისი ცალკეული პარამეტრ-

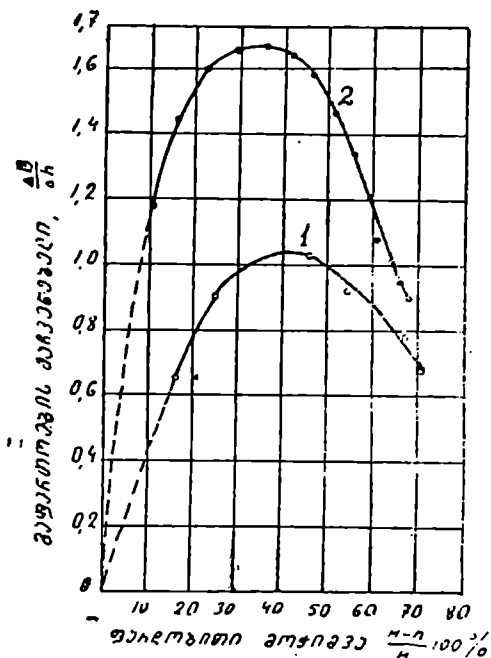


ნახ. 102. გაფართოების მაჩვენებლის დამოკიდებულება ფარდობით მოკიშვასთან  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  სიდიდეების მუდმივობის პირობებში.

რების ( $H$ ,  $h$  და  $\Delta h$ ) მუდმივობის პირობებში იცვლება. ი. მ. ჩიეცკოვის ცდების თანახმად ყველა დანარჩენი ფაქტორები (გარდა მოკიშვისა) როგორცაა: ზოლის სიგანე, გლინების დიამეტრი, ხახუნის კოეფიციენტი და სხვა არ ცვლიან მოკიშვისა და გაფარ-



თოების დამოკიდებულების მრუდების თვისობრივ ხასიათს. ეს ჩანს მაგალითად, 103-ე და 104-ე ნახ-დან, სადაც ნაჩვენებია გაფართოების მაჩვენებლის დამოკიდებულება ფარდობითი მოკიშვისაგან, როცა  $h = \text{const}$ ,  $B_1 = \text{const}$  და იცვლება გლინების დიამეტრი (400—700 მმ), მოცემული დიამეტრის გლინებზე სხვადასხვა სივანის ზოლების გლინვისას.

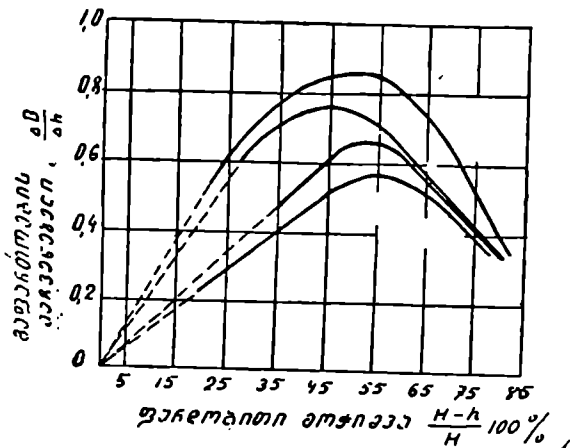


ნახ. 103. გაფართოების მაჩვენებლის დამოკიდებულება ფარდობით მოკიშვასა და გლინების დიამეტრთან, როცა  $h$  მუდმივია ( $B_1=36$  მმ,  $t=1120^\circ$ , ფოლადი Ст. 1):

- 1) ფოლადის გლინები,  $d=400$  მმ,  $v=1,1$  მ/სეკ;
- 2) თუჯის გლინები,  $d=700$  მმ,  $v=2,6$  მ/სეკ.

უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც ერთი და იგივე ხაზობრივი, ასევე ფარდობითი მოკიშვისათვის გაფართოება შეიძლება იყოს სხვადასხვა, რაც ჩვენი აზრით მასშტაბის ფაქტორის გავლენას უნდა მივაწეროთ. ამიტომ ცდებით მიღებული მონაცემების საფუძველზე

ზოგადი კანონზომიერების გამოყენების მიზნით საჭიროა გლინების დროს მოდელირების კრიტერიუმის შემუშავება, რაც ჯერჯერობით არა გვაქვს.

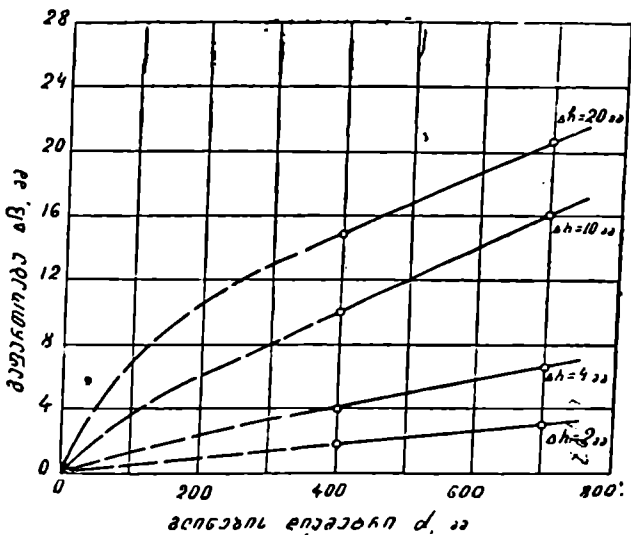


ნახ. 104. გაფართოების მაჩვენებლების დამოკიდებულება ფარდობით მოჭიმვასა და ზოლის სიგანესთან, როცა ( $h$ ) მუდმივია (ლითონი-ტყვია,  $d=400$  მმ).

### § 3. გლინების დიაგნოზის გავლენა გაფართოებაზე

შეგინავებისათვის ცნობილია, რომ გლინების დიაგნოზის გადიდებით, სხვა თანაბარ პირობებში აბსოლუტური (ხაზობრივი) გაფართოება იზრდება (ნახ. 105). ნახ-ზე ნაჩვენები მრუდები დაახლოებით პასუხობენ გამოსახულებას:  $\Delta B = \sqrt{r}$ .

გაფართოების ზრდა გლინების დიაგნოზის გადიდებით უნდა აიხსნას შემდეგი მიზეზით: გლინების დიაგნოზის გადიდებით ერთი და იგივე მოჭიმვისათვის იზრდება დეფორმაციის კერის სიგრძე, ვიცირდება შეტაცების კუთხის სიდიდე, ტოლქმედი რადიალური წნევის გადახრის კუთხე ვერტიკალიდან კლებულობს, იცვლება პროცესის ძალოვანი პირობა, წინაღობა გამოჭიმვისადმი უფრო სწრაფად იზრდება, ვიდრე გაფართოებისადმი და მასთან დაკავშირებით უმცირესი წინაღობის კანონის შესაბამისად გამოჭიმვა ვიცირდება, ხოლო გაფართოება მატულობს.



ნახ. 105. გაფართოების დამოკიდებულება გლინების დიამეტრზე.

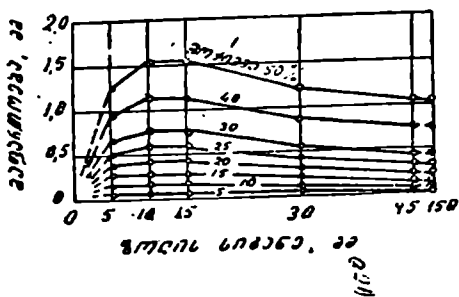
#### § 4. ზოლის სიგანის გავლენა გაფართოებაზე

ზოლის სიგანის გადიდებით სხვა თანაბარ პირობებში მცირდება გადაადგილებული ხვედრითი მოცულობა ( $V_{\text{გ}}$ ) სიგანის მიმართულებით ან რაც იგივეა მცირდება ფარდობითი გაფართოება  $\beta$ .

რაც შეეხება აბსოლუტურ გაფართოებას, იგი ზოლის სიგანის გაზრდით შეიძლება მცირდებოდეს ან მატულობდეს, გლინის სხვა დანარჩენი პარამეტრების მიხედვით, ხოლო რიგ შემთხვევებში ზოლის საწყისი სიგანის ცვლილებით იგი უმნიშვნელოდ მერყეობს განსაზღვრული სიდიდის გარშემო. უკანასკნელი შეიძლება ჩაითვალოს გაფართოების ძველი ფორმულების წარმოშობის მიზეზად, რომლებსაც საფუძვლად უდევს მცდარი ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ აბსოლუტური გაფართოება დამოკიდებული არ არის ზოლის სიგანეზე.

ამ ჰიპოთეზის სიმცდარე მტკიცდება მით, რომ იგი ეწინააღმდეგება ცდების მონაცემებს და უმცირესი წინააღმდეგობის კანონს. სინამდვილეში კი სიმალეზე გადაადგილებული მოცულობა იყოფა ორ ნაწილად, რომელთაგან ერთი მიდის გაფართოებაზე, ხოლო მეორე გამოჰიმეაზე. გრძივი და განივი დეფორმაციების ფარ-

დობას განსაზღვრავს უმცირესი წინაღობის კანონი და დამოკიდებულია გრძივი და განივი მიმართულებებით წინაღობების ფარდობაზე, ხოლო ეს ფარდობა თავის მხრივ, დამოკიდებულია დეფორაციის კერის სიგანის სიგრძესთან ფარდობაზე ანუ დეფორ-



ნახ. 106. ფოლადის (0,08% C) გაფართოება ზოლის სიგანესთან დამოკიდებულებით.

ლება დასკვნის გაკეთება, რომ დიდი სიგანის ზოლების გაფართოებას ადგილი არ აქვს. ასეთი მოსაზრება, რომელიც ემყარება პრაქტიკის მონაცემებს, აიხსნება მით, რომ პრაქტიკულ პირობებში დიდი სიგანის ზოლებისათვის ჩვეულებრივად სიმაღლე უმნიშვნელოა (ფურცლების გლინვა). ამ პირობებში, ე. ი. როდესაც ფარდობა  $B:H$  საკმაოდ დიდია, გაფართოება უნდა იყოს უმნიშვნელოა. თუ ფართო ზოლების სიმაღლეს გავადიდებთ ( $B/H$  ფარდობას შევამცირებთ), მუდმივი ფარდობითი მოჭიმვის პირობებში მისი გაფართოება საკმაოდ გაიზრდება.

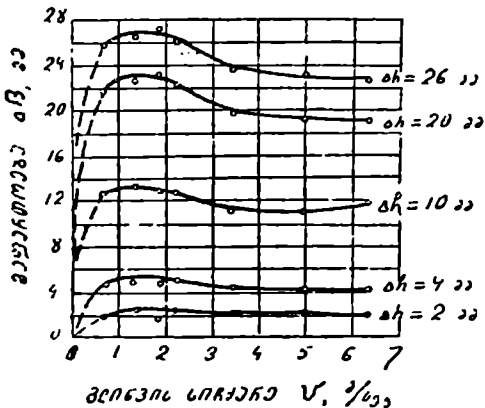
### § 5. გლინვის სიჩქარის გავლენა გაფართოებაზე

107-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია გლინვის სიჩქარის გავლენა გაფართოებაზე. მაქსიმალურ მნიშვნელობას გაფართოება აღწევს, როცა გლინვის სიჩქარე დაახლოებით 1,5 მ/სეკ შეადგენს. გლინვის სიჩქარის გადიდებით 4 მ/სეკ ზევით გაფართოება პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

გლინვის სიჩქარის გავლენის ხარისხი მოჭიმვის გადიდებით იზრდება.

გაფართოებაზე გლინვის სიჩქარის გავლენის მიზეზად ძირითადად უნდა ჩაითვალოს ხახუნის კოეფიციენტის ცვლილება, რომელიც  $1,5 \div 2$  მ/სეკ სიჩქარის ზემოთ მცირდება, რაც გამოიწვევს გაფართოების შემცირებას.

მოცემული შემთხვევისათვის გლინვის სიჩქარის ცნების ქვეშ გულისხმობენ გლინების წრიულ სიჩქარეს.



ნახ. 107. გაფართოების დამოკიდებულება გლინვის სიჩქარესთან, ფოლადი Ст. 1,  $t=1000^\circ$ ,  $E_1=37$  მმ,  $d=400$  მმ.

### § 6. ტემპერატურის გავლენა გაფართოებაზე

ლიტერატურული მონაცემების თანახმად ტემპერატურის გაფართოებაზე გავლენის საკითხის შესახებ არსებობს ოთხი სხვადასხვა თვალსაზრისი:

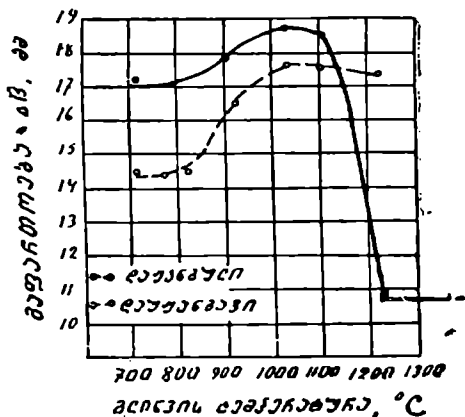
1. ტემპერატურის გადიდებით გაფართოება მცირდება;
2. ტემპერატურის გადიდებით გაფართოება იზრდება;
3. გაფართოება ტემპერატურის შემცირებით და გადიდებით განსაზღვრული ინტერვალის ქვემოთ და ზემოთ მცირდება;
4. გაფართოება დამოკიდებული არ არის ან მცირედ დამოკიდებულია ტემპერატურაზე.

პრაქტიკასთან შედარებით ახლოს არის მესამე შეხედულება.

ი. მ. ჩიეიკოვის მონაცემების მიხედვით 108-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია ტემპერატურის გავლენა გაფართოებაზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ გაფართოება ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით იცვლება მრუდით, რომელსაც აქვს მაქსიმუმი. უდიდეს გაფართოებას ადგილი აქვს  $1050-1100^\circ$ , ხოლო ტემპერატურის შემდგომი გადიდებით გაფართოება მნიშვნელოვნად მცირდება. ტემპერატურების ინტერვალში  $900-1100^\circ$ , რომელსაც ყველაზე უფრო ხშირად აქვს ადგილი წნევით დამუშავების პრაქტიკაში, სხვაობა გაფართოებებს შორის დაახლოებით შეადგენს  $10-20\%$ .

ტემპერატურის გაფართოებაზე გავლენის მიზეზად უნდა ჩითვალოს ხახუნის კოეფიციენტის ცვლილება ტემპერატურის ცვლილების შედეგად.

გაფართოებაზე დიდ გავლენას ახდენს ლითონის ზედაპირზე წარმოშობილი ხენჯი. გახურების დროს იცვლება ხენჯის შემადგენლობა და თვისება; იცვლება აგრეთვე ზედაპირის ხორკლიანობის ხარისხი, რომლითაც ხენჯი ეხება ლითონს, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს ხახუნის კოეფიციენტზე ლითონსა და გლინებს შორის. საწყისში ხახუნის კოეფიციენტი იზრდება, რასაც მივეყვართ გაფართოების გადიდებად, ხოლო შემდეგ საკმაოდ მაღალ ტემპერატურებში ხენჯი ასრულებს „დაზეთვის“ როლს, ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს და შესაბამისად გაფართოებას.



ნახ. 108. გლინვის ტემპერატურის გავლენა გაფართოებაზე: ფოლადი  $Cr_{11}$ .

$$\frac{H-h}{H} \cdot 100 = 50\%$$

ლია მგლინავეებისათვის სხმულებისა და ნამზადების ცუდი შეტაცების მაგალითებიდან. ცდები გვიჩვენებენ, რომ ლუმელში წარმოშობილი ხენჯი ზრდის გაფართოებას. ჰაერზე წარმოშობილი ხენჯი, რომელიც გლინვის პროცესში ჩნდება, შედარებით ნაკლებ გაფართოებას იძლევა. ვინაიდან გაფართოება დამოკიდებულია ლუმელის ხენჯის მდგომარეობაზე, ამიტომ უკანასკნელზე გავლენას ახდენს არა მარტო ტემპერატურა, არამედ გახურების ხანგრძლიობა და პირობები.

### § 7. ბაკიბანი ხახუნის კოეფიციენტის გავლენა გაფართოებაზე

ამ მნიშვნელოვანი საკითხის შესახებ გლინვის თეორიაში უკანასკნელ დრომდე არ არსებობდა დადგენილი მოსაზრება. აღრც

თვლიდნენ, რომ ხახუნის კოეფიციენტის გადიდებით გაფართოება მცირდება, რადგან ლითონის გლინებთან შეხების ზედაპირზე წარმოშობილი ხახუნის ძალები ხელს უშლიან გაფართოებას. ეხლა დადგენილია, რომ ასეთი შეხედულება მცდარია. სინამდვილეში ხახუნის კოეფიციენტის გადიდებით გაფართოება კი არ მცირდება, არამედ პირიქით იზრდება.

ეს პირველი შეხედულებით გაუგებარი შოვლენა (ვინაიდან ხახუნის ძალების გადიდება მართლაც ხელს უშლის დეფორმაციის განვითარებას) ადვილად აიხსნება, თუ მხედველობაში მივიღებთ. რომ გაფართოება ყოველთვის დაკავშირებულია გამოქიმვასთან.

ხახუნის კოეფიციენტის გადიდებით ლითონის გადაადგილები-სადმი წინალობა გრძივი მიმართულებით იზრდება უფრო მეტად. ვიდრე განივი მიმართულებით. ამის გამო გამოქიმვა უნდა შემცირდეს, ხოლო შესაბამისად გაფართოება გაიზარდოს, რასაც სინამდვილეში მართლაც აქვს ადგილი.

### § 8. ლითონის შედგენილობის გავლენა გაფართოებაზე

ლითონის შედგენილობის გაფართოებაზე გავლენის შესახებ არსებობს ორი შეხედულება: პირველის მიხედვით ლითონის შედგენილობა გაფართოებაზე გავლენას არ ახდენს (შელდი, ემიკე და პახალი, ფედოსოვი და სხვ.), ხოლო მეორე შეხედულების მიხედვით ლითონის შედგენილობა გავლენას ახდენს გაფართოებაზე (შპენლე, გუდერმონი, ანკე, ჩიჟიკოვი და სხვ.).

ი. მ. ჩიჟიკოვის მიერ ჩატარებული იქნა ცდები სხვადასხვა მარკის ფოლადზე, რის საფუძველზეც მან მოგვცა განსაზღვრული რაოდენობრივი კავშირი აღებულ მარკის ფოლადების გაფართოებასა და ფოლადი CT1 გაფართოებას შორის, რომელიც მიღებულია როგორც ერთეული. მიღებული შედეგები მოყვანილია მე-8 ცხრილში. ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ ლეგირებული ფოლადების გაფართოება მეტია, ვიდრე ნახშირბადიანი ფოლადისა.

ლეგირებული ფოლადის გაფართოების განსაზღვრისათვის რომელიმე ფორმულით, მაგალითად, გუბკინის (104), აუცილებელია გამოთვლილი გაფართოების სიდიდე გავამრავლოთ  $m$  კოეფიციენტზე, ე. ი.

$$\Delta B_{\text{კ}} = \Delta B_{\text{გ}} \cdot m.$$

კოეფიციენტი III, რომელიც თვალისწინებს ფოლადის შედგენილობის  
გაუქმებას გაფართოებაზე

	ფოლადის ჯგუფი	ფოლადის მარკა	კოეფიციენტი III	საშუალო ჯგუფის ძიხედვით
I	რკინა	Ст 1	1,0	1,25—1,30
II	პერლიტო-მარტენსიტური (პერლიტური, პერლიტო-მარტენსიტური, მარტენსიტური)	У7А	1,24	
		ΠΧ15	1,29	
		ՅՀ0МА	1,29	
		4X13(ЭЖК4)	1,33	
		38XМЮА	1,35	
		X10C2M (ЭИ107)	1,35	
III	აუსტენიტური	4X14H14B2M (ЭИ69)	1,36	1,35—1,40
		X13H4Г9 (ЭИ100)	1,42	
IV	აუსტენიტური კარბიფაზით (ფერიტი)	1X18H9T (Л1Т)	1,44	1,4—1,5
	ლედებურიტი	X18H25C2 (Л3С)	1,44	
		X23H13 (ЭИ319)	1,53	
V	ფერიტული	1X17I05 (ЭИ341)	1,55	1,55—1,60
VI	აუსტენიტური კარბიდებით	X15H60 (ЭXH60)	1,62	

### § 9. გატარებათა რიცხვის გავლენა გაფართოებაზე

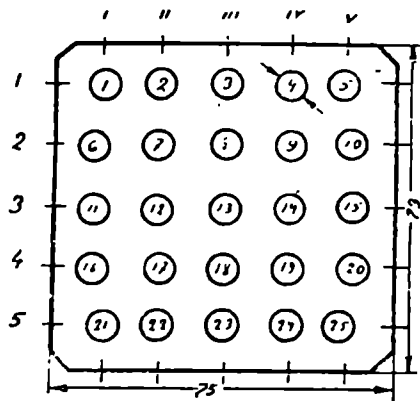
გლინვის დროს ზოლის განსაზღვრული სიდიდით მოჭიმვისას ერთი და რამდენიმე გატარებით გაფართოება მიიღება სხვადასხვა: პირველ შემთხვევაში მეტი, ხოლო მეორეში ნაკლები. ამიტომ შეცდომის აცილების მიზნით გაფართოება არ შეიძლება განსაზღვრული იქნეს სხმულისა (ნაშადის) და მზა პროდუქციის სისქეების მიხედვით, არამედ საჭიროა გაფართოების ანგარიში ცალკეული გატარების მიხედვით.

### § 10. გაფართოების განაწილება ზოლის სიგანეზე

მოცემული საკითხის გაშუქებისათვის მოვიყვანოთ ი. მ. ჩიეიკოვის მიერ ჩატარებული ცდა. კვადრატულ ნაშადში მისი გრძივი ლერძის გასწვრივ ერთმანეთისაგან ზუსტად განსაზღვრული და-

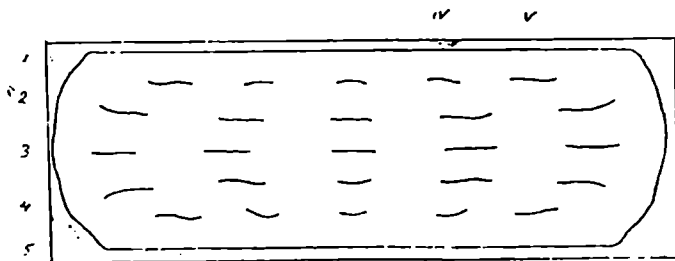


ცილებებით გაბურღულია ერთი და იგივე ზომის ნახერეტები (ნახ. 109). ნამზადი გაგლინული იქნა ერთ გატარებაზე 55% მოკიმვით. 110-ე ნახაზზე მოცემულია გაგლინული ზოლის განივი კრილი, რომელზეც ჩანს გაბურღული ნახერეტების კვალი.



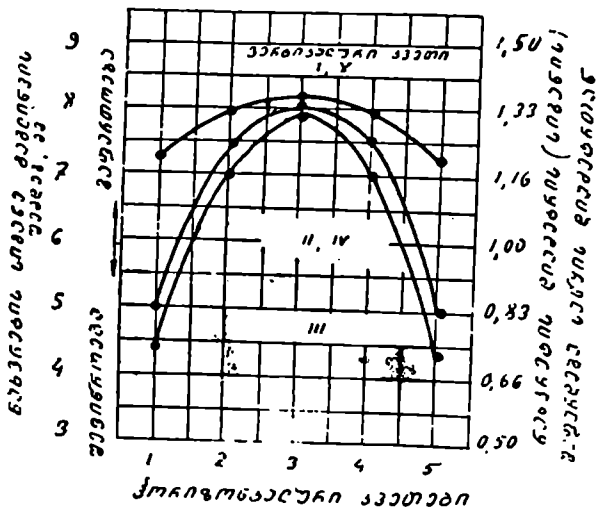
ნახ. 109. ნიმუშის განივკვეთი გრძივი ნახერეტებით გაგლინვამდე.

111-ე და 112-ე ნახაზზე წარმოდგენილი მრუდები გვიჩვენებენ ნახერეტის სიგანის ცვლილებას კვეთის სიმაღლეზე და სიგანეზე.

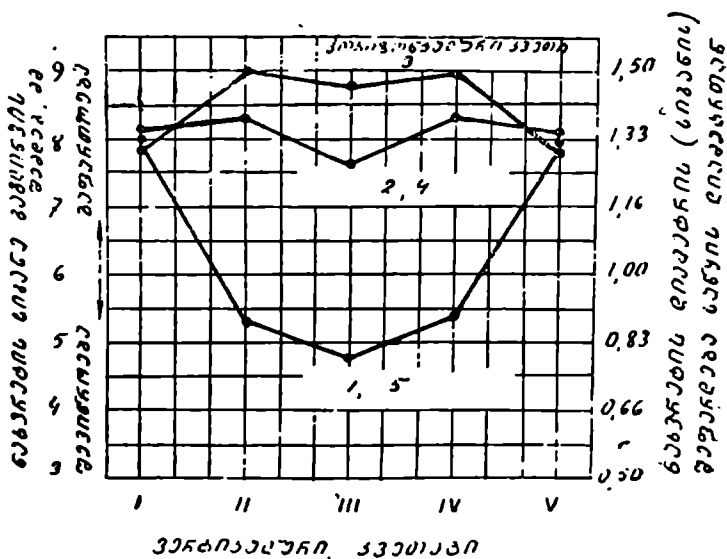


ნახ. 110. ზოლის განივკვეთი გრძივი ნახერეტებით გაგლინვის შემდეგ (მოკიმვა 55%).

ეს მრუდები ნათლად გვიჩვენებენ ლითონის დენადობის ხასიათს კვეთის სხეადასხვა ფენებში.



ნახ. 111. ნახერეთის სიგანის (დიამეტრის) ცვლილება ხსედასხვა სიბრტყეებში კვეთის სიმაღლეზე.



ნახ. 112. ნახერეთის სიგანის (დიამეტრის) ცვლილება ხსედასხვა სიბრტყეებში კვეთის სიგანეზე.

§ 11. გაფართოების სქემა ი. მ. პავლოვის მიხედვით

113-ე ნახაზზე წყვეტილი ხაზებით ნაჩვენებია გაფართოების არეს წარმოშობის ზღვრები შეტაცების რკალის სიგრძეზე.

A—უბანი წარმოადგენს ზოლის ნაწილს გაგლინვამდე, B—ზოლის ნაწილს, რომელიც მოცემულ მომენტში გლინებში იმყოფება, ხოლო C—ზოლის ნაწილს გაგლინვის შემდეგ.

I და II დაშტრიხული უბნები წარმოადგენენ ზოლში გამოყოფილ ელემენტარულ ზოლებს. ელემენტარული ზოლი I ახასიათებს მთლიანი ზოლის შუა ნაწილის გაფართოებას, ხოლო II განაპირა მხარეების გაფართოებას.

ლითონის ნაწილაკების მოძრაობას ახასიათებს აღნიშნული ელემენტარული ზოლების მდებარეობა გაფართოების ზონაში (დეფორმაციის კერაში).

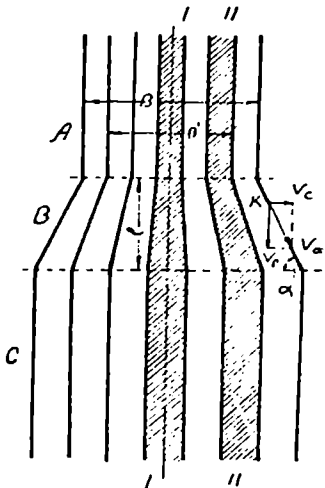
მაშინ, როდესაც ნაწილაკები ზოლის ღერძის მიმართ მცირედ გადაიხრებიან, განაპირა მხარეების მახლობლობაში განლაგებული ნაწილაკები ძლიერ გადაიხრებიან. გადახრის სიდიდე მით მეტია, რაც უფრო ვუახლოვდებით განაპირა მხარეებს. მიზეზი აღნიშნული მოვლენისა მდგომარეობს შემდეგში: ზოლის შუა ნაწილის ნაწილაკების გადახრა ხდება მხოლოდ საკუთარი გაფართოების ხარჯზე, ხოლო განაპირა მხარეების ნაწილაკების გადაადგილება წარმოებს, როგორც საკუთარი გაფართოების შედეგად, ასევე შუა ნაწილის გაფართოების შედეგად მისი იძულებითი გადაადგილების გამო.

გარდა აღნიშნულისა, სქემიდან ჩანს, რომ II ელემენტარული ზოლი I შედარებით უფრო წაგრძელებულია და მისი გაკიშვა მით უფრო მეტია, რაც უფრო ახლოსაა იგი განაპირა მხარესთან.

სქემაზე დახრილი ხაზები მიახლოებით წარმოადგენენ ლითონის ნაწილაკების გადაადგილების ტრაექტორიებს. მათ მიმართულებას განსაზღვრავს  $\alpha$  კუთხე. ნაწილაკის (მოცემულ შემთხვევაში  $k$ ) გადაადგილების სიჩქარე უდრის:

$$v_a = v_p + v_c; \quad v_c = \frac{v_p}{\operatorname{tg} \alpha},$$

სადაც  $v_p$  არის გამოკიშვის სიჩქარე, ხოლო  $v_c$ —გაფართოების სიჩქარე.



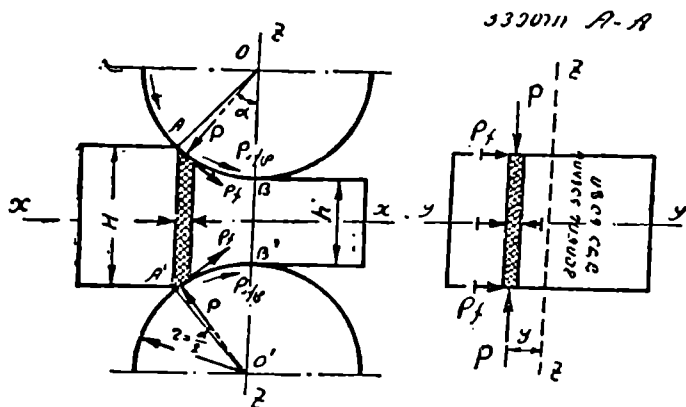
ნახ. 113.

თავი მეშვიდე

ლითონის წინსწრება და ჩამორჩენა  
გლინვის დროს }

§ 1. მოვლენის არსი

დეფორმაციის კერაში წინსწრებისა და ჩამორჩენის მოვლენის ახსნისათვის მოვახდინოთ ზოლის გლინვის პროცესის ანალიზი გლუკვასრებზე. ვსაზღვრავთ მოქმედი ძალების სქემას (ნახ. 114).



ნახ. 114. ელემენტზე მოქმედი ძალების სქემა შეტაცების რეალის საწყისში.

ზოლის საწყისი სიმაღლე  $H$ , საბოლოო  $h$ , გლინვის რადიუსი და დიამეტრი შესაბამისად  $r$  და  $d$  და შეტაცების კუთხე  $\angle AOB = \alpha$ . გლინვის წრიული სიჩქარე აღვნიშნოთ  $v$  ასოთი, იგი უდრის:

$$v = \frac{\pi d n}{60}, \quad (106)$$

სადაც  $n$  არის გლინვის ბრუნვათა რიცხვი წუთში.

გამოვყოთ უსასრულოდ მცირე ელემენტი შეტაცების რკალის საწყის წერტილში, რომელიც გლინების კასრის შუა ნაწილიდან დაცილებულია  $y$  მანძილით. თვითეულ გლინზე მოდებულია მბრუნავი მომენტი ( $P_{\text{გლინ}} \cdot r$ ), სადაც  $P_{\text{გლინ}}$  არის მოდებული ძალა გლინების ბრუნვის შედეგად შეტაცების რკალის საწყის წერტილში. გლინების წრეხაზის მხების მიმართულებით აღიძვრება ხახუნის ძალები ( $P \cdot f$ ), რომლებიც ცდილობენ ელემენტის შეტაცებას გლინების ხახაში და რეაქციის ძალები ( $P$ ) რადიუსების მიმართულებით, რომლებიც ხელს უშლიან ელემენტის შეტაცებას. შეტაცების შემდეგ ელემენტი განიცდის შეუქცევად დეფორმაციას და იცვლის თავის ზომებს სამი მიმართულებით სივრცეში. რის შედეგადაც წარმოიშვება ხახუნის ძალები ( $P \cdot f$ )  $y$  ღერძის მიმართულებით, რომლებიც ხელს უშლიან გაფართოებას. გარეგანი ძალები გაწონასწორებული უნდა იყოს შინაგანი ძალებით, როგორც ეს ნაჩვენებია სქემაზე (ნახ. 114).

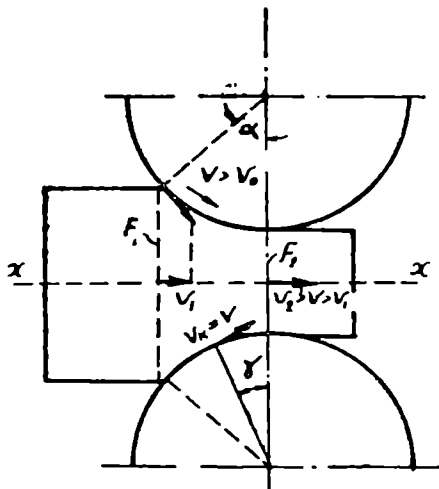
მოქმედი ძალების მოყვანილი სქემა არ შეიძლება დარჩეს მუდმივი შეტაცების რკალის მთელ სიგრძეზე, ვინაიდან ლითონის გადაადგილების სიჩქარე დეფორმაციის კერაში  $x$  ღერძის მიმართულებით განუწყვეტლივ იცვლება. ეს ნათლად ჩანს მოცულობის მუდმივობის კანონიდან.

აღენიშნოთ ზოლის გლინებში შესვლის სიჩქარე  $v_1$ -ით, გლინიდან გამოსვლის სიჩქარე  $v_2$ , ზოლის განივკვეთის ფართი შესვლის მომენტში  $F_1$  და გამოსვლის მომენტში  $F_2$  (ნახ. 115). მოცულობის მუდმივობის კანონის თანახმად:

$$F_1 v_1 = F_2 v_2;$$

აქედან

$$v_2 = v_1 \frac{F_1}{F_2}$$



ნახ. 115.

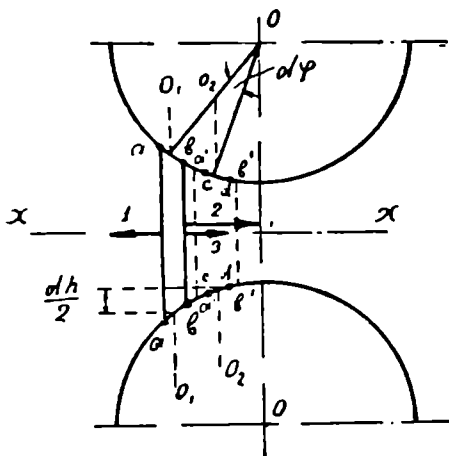
$$v_2 > v_1.$$

როგორც წესი შეიძლება მივიღოთ, რომ ზოლის გლინებიდან გამოსვლის სიჩქარე მეტია არა მარტო შესვლის სიჩქარეზე, არამედ გლინების წრიულ სიჩქარეზეც ( $v$ ). ამ მოვლენას წინსწრებას უწოდებენ. პირიქით, შესვლის სიჩქარე ყოველთვის ნაკლებია გლინების წრიულ სიჩქარეზე, ვინაიდან იგი წარმოადგენს ლითონის საწყის კვეთში სიჩქარის ( $v_0$ ) პროექციას. ამასთან გლინების წრიული სიჩქარე ( $v$ ) მეტია ( $v_0$ ) სიჩქარეზე ლითონსა და გლინებს შორის სრიალის გამო (ნახ. 115).

გლინებსა და ლითონს შორის სრიალის მიზეზს წარმოადგენს დეფორმაციის კერაში ლითონის გადაადგილება გლინების ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ასეთი გადაადგილება უნდა წარმოებდეს დასმის დეფორმაციის არსებობის გამო.

დაუშვათ, რომ დეფორმაციის კერაში მოთავსებულია ელემენტარული ზოლი  $aabb$  (ნახ. 116).

გლინების გადაადგილებისას  $d\varphi$  მცირე კუთხით მოხდება ელემენტის გადაადგილება  $x$  ღერძის მიმართულებით და ერთდროულად მისი დასმა  $dh$  სიდიდით. დასმის გამო ელემენტის ნაწილაკები, რომლებიც მდებარეობენ მისი საშუალო  $OO$  ხაზის მარცხნივ გადაადგილდებიან მარ-



ნახ. 116. ელემენტის გლინების ხაზში გადაადგილების სიჩქარეთა სქემა:

- 1— $aa$  ხაზის გადაადგილების ფარდობითი სიჩქარე;
- 2—მთელი  $aabb$  ელემენტის გადაადგილების სიჩქარე;
- 3— $bb$  ხაზის გადაადგილების ფარდობითი სიჩქარე.

ცხენა მიმართულებით, ხოლო მარჯვენა მხარეს მდებარე ნაწილაკები მარჯვნივ. ელემენტის ნებისმიერი წერტილის საბოლოო მდებარეობა განისაზღვრება მთელი ელემენტის მოძრაობის სიჩქარით (ამ სიჩქარეს განსაზღვრავს გლინების წრიული სიჩქარე), რომელიც ნახაზის თანახმად მიმართულია მარჯვნივ და ელემენტის შიგნით

დასმის შედეგად ცალკეული ნაწილაკების გადაადგილების სიჩქარით. ამასთან ნაწილაკების ერთი ჯგუფისათვის მათი გადაადგილების სიჩქარე დასმის შედეგად ასევე მიმართულია მარჯვნივ, ხოლო მეორე ჯგუფისათვის მარცხნივ. როდესაც გლინების წერტილები  $a$ ,  $b$  დაიკავებენ  $c$ ,  $d$  მდებარეობას, ხოლო ელემენტის საშუალო ხაზი  $\sigma_1\sigma_1$  მდებარეობიდან  $\sigma_2\sigma_2$  მდებარეობას, მაშინ ელემენტი დაიკავებს  $a'$   $b'$   $b'$  მდებარეობას.

ელემენტის მარცხენა ხაზის  $aa$  სიჩქარე ნაკლები იქნება გლინების წრიული სიჩქარის პროექციაზე  $x$  ღერძზე, ვინაიდან ადგილი აქვს ელემენტის ნაწილაკების ფარდობით გადაადგილებას მარცხნივ. ელემენტის შემომთარგვლელო მარჯვენა ხაზი დასმის შედეგად ნაწილაკების მარჯვნივ გადაადგილების გამო ღებულობს უფრო მეტ სიჩქარეს ვიდრე გლინების წრიული სიჩქარის პროექცია  $x$  ღერძზე, ე. ი. წარმოიშვება ამ ხაზის წინსწრება. თუ მცირე ელემენტის სიგრძეს გავზრდით დეფორმაციის კერის სიგრძემდე, მაშინ განსახილველი დიდი ელემენტიც გლინების შემობრუნებისას  $dx$  კუთხით გაიყოფა ორ ნაწილად. იმ ნაწილში, რომელიც ახლოსაა შესავეალთან, ნაწილაკების სიჩქარე ნაკლები იქნება გლინების წრიული სიჩქარის პროექციაზე, ხოლო გამოსავეალთან ახლოს მდებარე ნაწილაკების სიჩქარე მეტი იქნება გლინების წრიული სიჩქარის პროექციაზე.

ამრიგად, ზოლის გლინვისას დეფორმაციის კერა უნდა გაიყოს წინსწრებისა და ჩამორჩენის ზონებად.

ვინაიდან  $v_1 < v < v_2$ , ამიტომ შესვლისა და გამოსვლის კვეთებს შორის უნდა არსებობდეს ისეთი კვეთი, რომელშიც ლითონის ჰორიზონტალური სიჩქარე ტოლი უნდა იყოს გლინების წრიულ სიჩქარისა. ამ კვეთს კრიტიკულ კვეთს უწოდებენ, ხოლო კუთხეს, რომელიც ამ კვეთს განსაზღვრავს უწოდებენ კრიტიკულ კუთხეს და აღნიშნავენ  $\gamma$  ასოთი (ნახ. 115).

## § 2. წინსწრების და ჩამორჩენის საანგარიშო ფორმულები

წინსწრება ადვილად გამოითვლება ცდის მეშვეობით. გლინის წრებაზე მწერტავით აკეთებენ მცირე სიდიდის ღრმულებს (ნახ. 117).

ზოლის გლინვისას მასზე რჩება ამ ღრმულების კვალი შევრილების სახით. თუ ზუსტად გავზომავთ გლინების წრებაზე ღრმულებს შორის, და ზოლზე გავლინვის შემდეგ შევრილებს შორის მანძილებს და მათ ერთმანეთს შევადარებთ დავინახავთ, რომ გლინების

წრეხაზზე ღრმულებს შორის მანძილი ( $l$ ) ნაკლებია ზოლზე შევირ-  
ლებს შორის მანძილისა ( $L$ ).

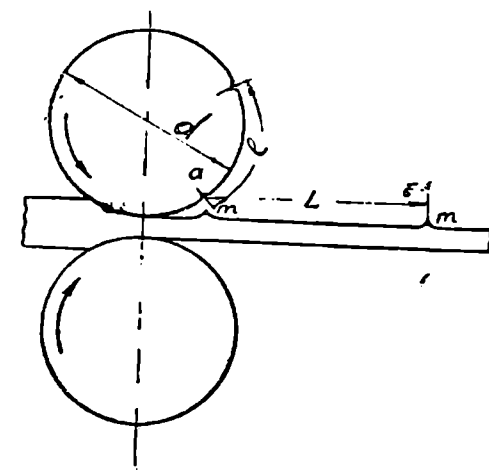
წინსწრების სიდიდე ცდების მონაცემების მიხედვით ჩვეულებ-  
რივად განისაზღვრება პროცენტებში შემდეგი განტოლების მი-  
ხედვით:

$$S_h = \frac{L-l}{l} \cdot 100\%, \quad (107)$$

რაც ტოლფასი

$$S_h = \frac{v_2' - v_1'}{v_1'} = \frac{v_2 - v}{v} \cdot 100\%, \quad (108)$$

სადაც  $l$  არის ღრო, რომლის განმავლობაშიც გლინი შემობრუნდ-  
ება მის წრეხაზზე და-  
ტანილ ღრმულებს შო-  
რის მდებარე ცენტრა-  
ლური კუთხით.



ნახ. 117.

თეორიულად წინს-  
წრების სიდიდე შეიძ-  
ლება გავიგოთ თუ  
გვეცოდინება ნეიტრა-  
ლური კვეთის მდებარე-  
ობა, ე. ი.  $\gamma$  კუთხე.

მოცულობის მუდ-  
მივობის კანონის თა-  
ნახმად

$$HB_1v_1 = hB_2v_2.$$

თუ დავუშვებთ, რომ  
 $B_1 = B_2$  (როცა გაფარ-  
თობას აღვილი არ  
ექნება), მაშინ მივი-  
ღებთ:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{H}{h} = \lambda. \quad (109)$$

კრიტიკულ კვეთში აბსოლუტური მოკიშვის გეომეტრიული გან-  
საზღვრით მივიღებთ:

$$H\gamma - h = d(1 - \cos\gamma),$$

აქედან

$$H\gamma = d(1 - \cos\gamma) + h. \quad (110)$$

შესაბამისად



$$\frac{H_{\gamma}}{h} = \frac{d(1 - \cos \gamma) + h}{h},$$

აქედან (109) ფორმულის თანახმად

$$\frac{v_2}{v_{\gamma}} \approx \frac{v_2}{v} = \frac{d(1 - \cos \gamma)}{h} + 1,$$

ხოლო წინსწრების სიდიდე

$$S_h = \frac{v_2 - v}{v} = \frac{d(1 - \cos \gamma)}{h} = \frac{d^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{h} \approx \gamma^2 \frac{d}{2h} = \gamma^2 \frac{r}{h}. \quad (111)$$

ნეიტრალურ კვეთში ლითონის ნაწილაკების გადაადგილების სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი უდრის:

$$v_{\gamma} = v \cos \gamma.$$

მოცულობის მუდმივობის კანონის თანახმად, როცა გაფართოებას ადგილი არ აქვს, შესაძლებელია დაწვეროთ შემდეგი ტოლობა:

$$H_{\gamma} v \cos \gamma = h v_2,$$

სადაც  $H_{\gamma}$  არის ზოლის სიმაღლე ნეიტრალურ კვეთში.

უკანასკნელი განტოლებიდან

$$\frac{v_2}{v} = \frac{H_{\gamma} \cos \gamma}{h}.$$

ჩავსვათ  $\frac{v_2}{v}$  ფარდობის მნიშვნელობა წინსწრების განტოლებაში (108)

$$S_h = \frac{v_2}{v} - 1,$$

მივიღებთ:

$$S_h = \frac{H_{\gamma} \cos \gamma}{h} - 1. \quad (112)$$

(112) ფორმულაში ნეიტრალური კვეთის სიმაღლის ( $H_{\gamma}$ ) მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ:

$$S_h = \frac{[h + d(1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{h} - 1. \quad (113)$$

ფორმულა (113) ატარებს ფინკის სახელს, ხოლო (111) ფორმულა წარმოადგენს მის გამარტივებულ სახეს და ცნობილია როგორც დრეზდენის ფორმულა.

წინსწრების გამარტივებული ფორმულებიდან (111) ჩანს, რომ

$h$  სიდიდის შემცირებით  $S_h$  იცვლება ჰიპერბოლური ნრუდის მიხედვით.

კრიტიკული კუთხე  $\gamma$  შეიძლება განვსაზღვროთ ი. მ. პავლოვის ფორმულით, რომელიც აკავშირებს კრიტიკულ კუთხეს  $\gamma$ , შეტაცების კუთხეს  $\alpha$  და ხახუნის კუთხეს  $\beta$ .

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right). \quad (114)$$

განხილული ფორმულები არ ითვალისწინებენ გაფართოების გავლენას და ამიტომ მოკლებულნი არიან საკმაო სიზუსტეს.

თავის ერთ-ერთ შრომაში [41] პროფ. ი. მ. პავლოვმა გამოიყვანა წინსწრების საანგარიშო ფორმულა, სადაც შეყვანილია  $C_0$  კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გაფართოებას. ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$S_h = C_0 \frac{[h + d(1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{h} - 1, \quad (115)$$

სადაც  $C_0$  არის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობანი მოყვანილია ი. მ. პავლოვის შრომაში [41].

წინსწრების მოვლენა გლინვის პროცესის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო შესწავლილ მხარედ უნდა ჩაითვალოს, რასაც სხვებზე უფრო ჯადრე ყურადღება მიაქციეს ექსპერიმენტატორებმა (პუპპეს შრომები, 1909 წ. და სხვ.).

გაცილებით უფრო გვიან დაიწყო „ჩამორჩენის“ მოვლენის შესწავლა, რომელიც ვრცელდება ლითონის გლინებში შესვლიდან კრიტიკულ კვეთამდე და თავის უდიდეს მნიშვნელობას ლებულობს გლინებში შესვლის მომენტში:

$$S_H = \frac{v \cos \alpha - v_1}{v \cos \alpha} \cdot 100\%, \quad (116)$$

სადაც  $v \cos \alpha$  არის გლინების წრიული სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი;

$v_1$  — ზოლის შესვლის სიჩქარე გლინებში.

ლითონის ჩამორჩენა შესვლის მომენტში გაცილებით მეტ მნიშვნელობას ლებულობს, ვიდრე წინსწრება გამოსვლის მომენტში. ამ სიდიდეებს შორის კავშირს შემდეგი სახე აქვს:

$$\begin{aligned} S_H &= \frac{v \cos \alpha - v_1}{v \cos \alpha} = 1 - \frac{v_1}{v} \frac{1}{\cos \alpha} = \\ &= 1 - \frac{v_2}{v \cdot \lambda} \frac{1}{\cos \alpha} = 1 - \frac{S_h + 1}{\lambda \cos \alpha}. \end{aligned} \quad (117)$$

ეს დამოკიდებულება გვიჩვენებს, რომ გამოკიშვისა  $\lambda$  და  $\alpha$  კუთხის მოცემული მნიშვნელობებისათვის ჩამორჩენა  $S_H$  და წინსწრება  $S_k$  იცვლებიან შებრუნებით ხაზობრივი კანონის მიხედვით, რაც ეთანადება კრიტიკული კვეთის გადანაცვლებას ერთ ან მეორე მხარეს ხახუნის კოეფიციენტის ცვლილების შედეგად.

### § 3. კრიტიკული კვეთის მდებარეობის განსაზღვრა გაშართობის გათვალისწინებით

წინსწრების ანგარიშისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს კრიტიკული კვეთის მდებარეობის განსაზღვრას, ე. ი.  $\gamma$  კუთხის საანგარიშო ფორმულის გამოყვანას. ი. მ. პავლოვმა გლინვის დროს ძალთა წონასწორობის პირობიდან გაფართოების უგულვებელყოფით მიიღო კრიტიკული კუთხის საანგარიშო ფორმულა:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2f} \right).$$

ი. მ. პავლოვმა თავის ერთ-ერთ შრომაში [41] შოგვეცა ამავე საკითხის გადაწყვეტა გაფართოების გათვალისწინებით. ამ საკითხის გადაწყვეტისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ აბსოლუტური გაფართოების განაწილება დეფორმაციის კერის სიგრძეზე. ი. მ. პავლოვის შრომაში პირობით მიღებულია, რომ აბსოლუტური გაფართოება დეფორმაციის კერის სიგრძეზე განაწილებულია თანაბრად, რაც დეფორმაციის კერის პორიზონტალურ პროექციას აძლევს ტრაპეციის ფორმას.

მოვიყვანოთ ი. მ. პავლოვის ფორმულის გამოყვანის მიმდევრობა გაფართოების გათვალისწინებით [41].

გლინვის დროს ძალთა წონასწორობის პირობა გამოისახება შემდეგი ტოლობით:

$$pB_{სა} r\alpha \cdot \delta + pB'_{სა} r\gamma f = pB'_{სა} r(\alpha - \gamma)f,$$

აბ

$$B_{სა} \alpha \delta + B'_{სა} \gamma f = B'_{სა} (\alpha - \gamma)f, \quad (118)$$

სადაც  $B_{სა}$  არის მთელი დეფორმაციის კერის საშუალო სიგანე;

$$B_{სა} = \frac{B_1 + B_2}{2};$$

$B'_{სა}$  — დეფორმაციის კერის ჩამორჩენის ზონის საშუალო სიგანე;

$$B'_{სა} = \frac{B_1 + B_1''}{2};$$

$B''_{საა}$ —დეფორმაციის კერის წინსწრების ზონის საშუალო სივანე;

$$B''_{საა} = \frac{B'_1 + B_2}{2};$$

ბ—ცენტრალური კუთხე, რომელიც განსაზღვრავს მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე რადიალური წნევის ტოლქმედის მოდების წერტილს.

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ (118) ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \frac{2B'_{საა}}{B'_{საა} + B''_{საა}} \left( 1 - \frac{B_{საა}}{B'_{საა}} \frac{\delta}{f} \right). \quad (119)$$

აღვნიშნოთ:

$$\frac{\delta}{\alpha} = C_3;$$

$$\frac{2B'_{საა}}{B'_{საა} + B''_{საა}} = C_1;$$

$$\frac{B_{საა}}{B'_{საა}} = C_2.$$

ამ აღნიშვნების ჩასმის შემდეგ (119) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\gamma = C_1 \frac{\alpha}{2} \left( 1 - C_2 C_3 \frac{\alpha}{2f} \right). \quad (120)$$

უკანასკნელი (120) განტოლება წარმოადგენს კრიტიკული კუთხის საანგარიშო ფორმულას გაფართოების გათვალისწინებით.

#### § 4. შიკვრის ზონა

ლითონების წნევიტ დამუშავების თეორიის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე (ა. ი. ცელიკოვის, ს. ი. გუბკინისა და სხვ. შრომები) შეიძლება ითქვას, რომ დეფორმაციის კერის განსაზღვრულ ნაწილზე არსებობს მიკვრის ზონა.

მიკვრის ზონის გავრცელების რაოდენობრივ დახასიათებას იძლევა ფარდობა  $\frac{l_2}{l}$ , სადაც  $l_2$  არის მიკვრის ზონის სიგრძე, ხოლო

$l$ —დეფორმაციის კერის სიგრძე. ფარდობა  $\frac{l_2}{l}$  ძირითადად დამოკიდებულია დეფორმაციის კერის ფორმაზე  $\left( \frac{h_{საა}}{l} \right)$  და გარეგანი

ხახუნის კოეფიციენტზე. რაც მეტია ფარდობა  $\frac{h_{\text{საგ}}}{l}$  და გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტი, მით მეტია  $\frac{l_a}{l}$  ფარდობა.

მიკვრის ზონა განლაგებულია კრიტიკული კვეთის ორთავე მხარეს. თუ მიკვრის ზონის სიგრძეს აღვნიშნავთ  $l'_a$ -ით ჩამორჩენის ზონაში, ხოლო  $l''_a$ -ით წინსწრების ზონაში, მაშინ შეიძლება დაიწეროს

$$l'_a > l''_a.$$

ამრიგად, დეფორმაციის კერის მთელი სიგრძე შეიძლება დაიყოს ოთხ უბნად (ნახ. 118):

$$l = (l' - l'_a) + l'_a + l''_a + (l'' - l''_a),$$

სადაც  $(l' - l'_a)$  არის სრიალის უბნის სიგრძე ჩამორჩენის ზონაში;  $l'' - l''_a$  — იგივე წინსწრების ზონაში.

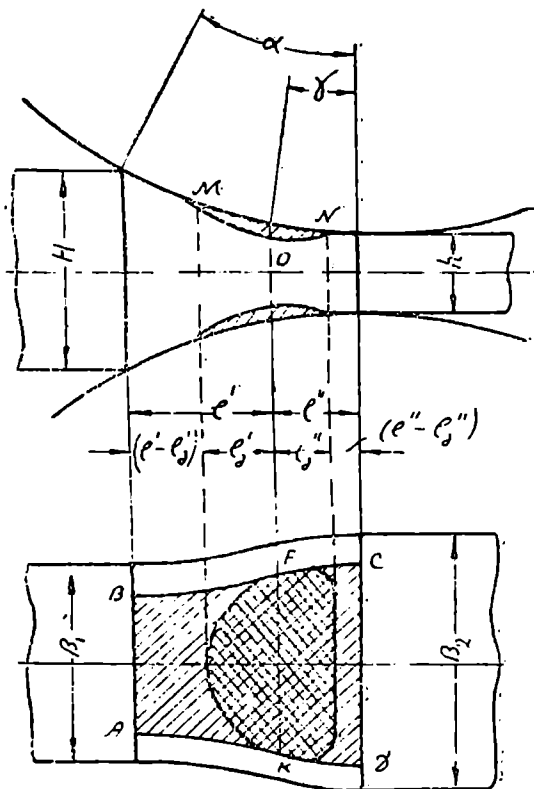
მიკვრის ზონა წარმოადგენს ზედაპირს და აქვს სიგანე, რომელიც ამ ზონის სიგრძეზე არათანაბარია. მიკვრის ზონას მაქსიმალური სიგანე აქვს კრიტიკულ კვეთში.

საკონტაქტო ზედაპირზე მიკვრის ზონა წარმოადგენს გაძნელებული დეფორმაციის ზონის ფუძეს, რომელიც ვრცელდება დეფორმაციის კერის მოცულობაში განსაზღვრული სიღრმით. ამასთან გაძნელებული დეფორმაციის ზონა არ შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს კონუსების სახით, რომელთა წარმომქმნელები დახრილია  $45^\circ$ -ით. პროფ. ი. ი. ტარნოვსკის აზრით გლინვის ჩვეულებრივი პირობებისათვის გაძნელებული დეფორმაციის ზონა ვრცელდება შედარებით მცირე სიღრმეზე.

118-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მიკვრისა და გაძნელებული დეფორმაციის ზონის საორიენტაციო სქემა. *MON* — გაძნელებული დეფორმაციის ზონის ვერტიკალური კვეთი ზოლის სიგანის შუაში, *ABCD* — ზედაპირი, რომელზეც არ არის ლითონის ნაწილაკების განივი სრიალი გლინების მიმართ; *EKIF* — ზედაპირი, რომელზეც არ არის ლითონის ნაწილაკების გრძივი და განივი სრიალი გლინების მიმართ. გასაგებია, რომ ეს ზედაპირები დეფორმაციის კერის ხაზობრივი ზომების შეფარდებისა და გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტთან დამოკიდებულებით შეიძლება იცვლებოდეს მიკვრის ზონის მთლიანად გაქრობამდე და პირიქით.

შემდეგ განვიხილოთ გრძივი სიჩქარეების განაწილება დეფორმაციის კერის ნებისმიერ ვერტიკალურ კვეთში. როგორც ცნობილია, გლინვის პროცესში ადგილი აქვს ზოლის არათანაბარ დე-

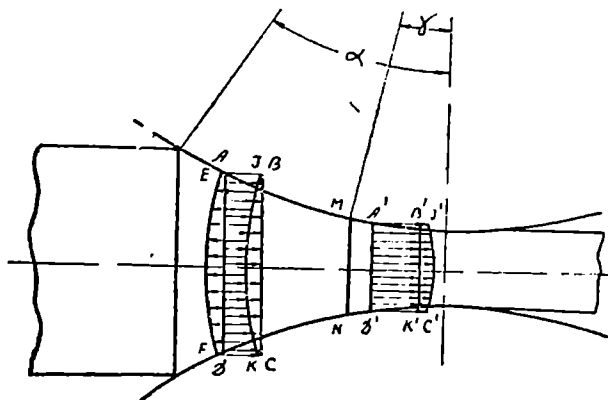
ფორმაციას, რაც იძლევა ნებისმიერ ვერტიკალურ კვეთში გრძივი-სიჩქარეების არათანაბარ განაწილებას. 119-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია დეფორმაციის კერის სხვადასხვა ვერტიკალურ კვეთებში ლითონის ნაწილაკების გრძივი სიჩქარის ეპიურები. დაუშვათ, რომ გლინების წრიული სიჩქარის ჰორიზონტალური პროექცია  $A$  წერტილში იმ-



ნახ. 118. გლინვის დროს მიკვრისა და გაძნელებული დეფორმაციის ზონის საორიენტაციო სქემა.

ყოფება ჩამორჩენის ზონაში, რომელიც გამოსახულია  $AB$  ან  $DC$  ვექტორებით. თუ პლასტიკურ დეფორმაციას ადგილი არ ექნება გრძივი სიჩქარეების ეპიურა  $AD$  კვეთში მიიღებს  $ADCB$  მართკუთხედის სახეს. ვინაიდან  $AD$  ვერტიკალური კვეთი მოთავსებულია

ჩამორჩენის ზონაში, ამიტომ ამ კვეთის ყოველ წერტილში პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად აღვილი აქვს გრძივ გადაადგილებას გლინვის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. ეს გრძივი გადაადგილებანი განსახილველი კვეთის ნებისმიერ წერტილში შეიძლება იყოს ერთნაირი სიმაღლეზე თანაბარი დეფორმაციის დროს, ან იმ შემთხვევაში, როცა დეფორმაციის უთანაბრობას სიმაღლეზე მთლიანად შთანთქავს განივი დეფორმაციის უთანაბრობა. თეორიული მოსაზრებებისა და ცდების მონაცემების საფუძველზე გა-



ნახ. 119. გრძივი სიჩქარეების ეპიურები წინსწრებისა და ჩამორჩენის ზონის ვერტიკალურ კვეთებში.

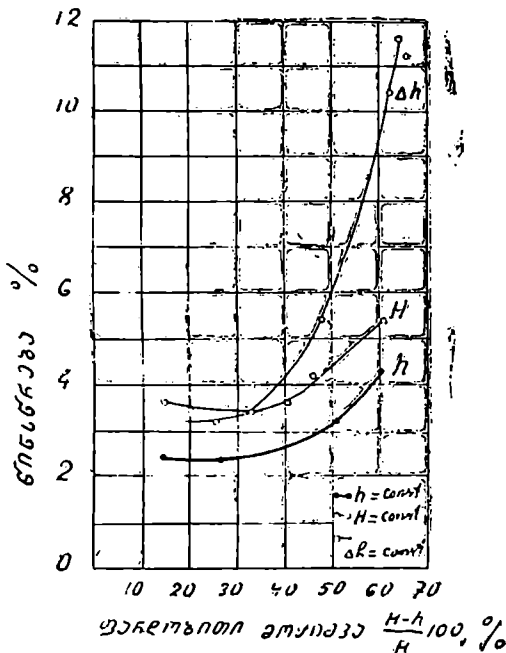
ნივი უთანაბრობა ნაკლებია სიმაღლეზე დეფორმაციის უთანაბრობაზე, ამიტომ გრძივი უთანაბრობის არსებობა ექვს არ იწვევს. ამასთან დაკავშირებით გრძივი სიჩქარეების ეპიურა, სიმაღლეზე არათანაბარი მოქიმივის შედეგად, შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს  $ADFE$  ფიგურის სახით. შესაბამისად გრძივი სიჩქარეების ჯამური ეპიურა  $AD$  კვეთში მიიღებს  $AIKD$  ფიგურის სახეს, რომელიც წარმოადგენს  $ADCB$  და  $ADFE$  ეპიურების სხვაობას.

თუ შედეგობაში მივიღებთ, რომ წინსწრების ზონაში ლითონის გრძივი ნაკადის მიმართულება ემთხვევა გლინვის მიმართულებას, იგივე მოსაზრებებით მივიღებთ  $A'D'$  ვერტიკალურ კვეთში გრძივი სიჩქარეების ეპიურას  $A'J'C'D'$  ფიგურის სახით, რაც შეეხება  $MN$  კრიტიკულ კვეთს, იგი წარმოადგენს ლითონის გრძივი დენადობის გაყოფის საზღვარს და მასში გრძივი სიჩქარეები თანაბრადაა განაწილებული და სიდიდით უდრის გლინების წრიული

სიჩქარის პორიზონტალურ პროექციას  $M$  წერტილში. ამასთან არ უნდა დავივიწყოთ ხისტი ბოლოების არსებითი გავლენა გრძივი სიჩქარეების გათანაბრებაზე, განსაკუთრებით დეფორმაციის კერის იმ ზონებში, რომლებიც უშუალოდ ეკვრიან ხისტი ბოლოებს.

§ 5. სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა წინსწრებაზე

მოკიმივისა და ზოლის სისქის გავლენა. 120-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია წინსწრების დამოკიდებულება ფარდობითი მოკიმივისაგან, როცა  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  სიდიდეები მუდმივია. მოკიმივის 15% ზე-



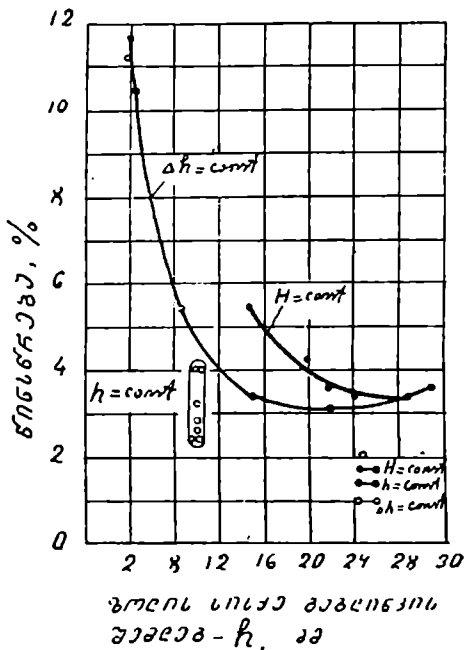
ნახ. 120. წინსწრების დამოკიდებულება ფარდობით მოკიმივასთან  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  სიდიდეების მუდმივობის პირობებში (ფოლადი—Ст. 1,  $t=1000^\circ$ ;  $d=400$  მმ).

ვით გადიდებით წინსწრება იზრდება, ეს ზრდა განსაკუთრებით შესამჩნევია აბსოლუტური მოკიმივის  $\Delta h$  მუდმივობის პირობებში.

121-ე ნახ-ზე წარმოდგენილი მრუდები გვიჩვენებენ, გატარების შემდეგ, ზოლის სისქის გავლენას წინსწრებაზე. როგორც ნახაზიდან



ჩანს, წინსწრება მით მეტია, რაც უფრო თხელია ზოლი გატარების შემდეგ. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ წინსწრება იცვლება გატარების შემდეგ ზოლის სისქის შემდგომი პირობებშიც, ამასთან ეს ცვლილება წარმოებს მოკიმივის გავლენით.



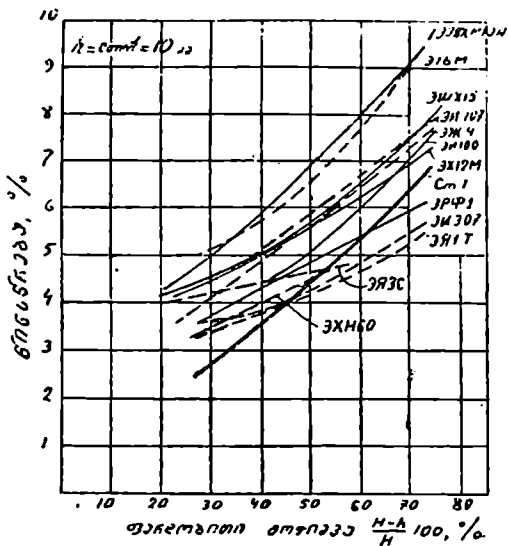
ნახ. 121. წინსწრების დამოკიდებულება ზოლის სისქესთან გაგლინვის შემდეგ  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  სიდიდეების მუდმივობის პირობებში.

ხახუნის, დაზეთვისა და დაკიმიულობის გავლენა. ხახუნის გაზრდით წინსწრება მატულობს. დაზეთვა, რომელიც ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს ამცირებს წინსწრებას.

წინა დაკიმიულობა (გლინებიდან ზოლის გამოსვლის მხარედან) აღიღებს წინსწრებას, ხოლო უკანა დაკიმიულობა (გლინებში ზოლის შესვლის მხარედან) პირიქით, ამცირებს მას.

ფოლადის შედგენილობის გავლენა წინსწრებაზე. 122-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა შედგენილობის (მარკის) ფოლადებისათვის წინსწრების დამოკიდებულება ფარდობით მოკიმი-

ვასთან ფოლადის გლინებზე (დიამეტრით 400 მმ, გლინვის სიჩქარე 1,1 მ/სეკ, ტემპერატურა 1000°) გლინვისას.



ნახ. 122. სხვადასხვა შედგენილობის ფოლადებისათვის წინსწრების ფარდობით მოჭიკვასთან დამოკიდებულება.

სხვადასხვა ფოლადის მრუდები თავისი ხასიათით მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. მათ შორის რაოდენობრივი სხვაობა აიხსნება სხვადასხვა ფოლადებისათვის ხახუნის კოეფიციენტის სხვადასხვაობით.

**ლითონის წნევა გლინებზე**

ლითონების წნევითი დამუშავების ნებისმიერ პროცესში უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ინსტრუმენტზე მოქმედ სადეფორმაციო ძალის ცოდნას, რომლის გარეშეც შეუძლებელი იქნებოდა როგორც ახალი დანადგარების ანგარიში და კონსტრუქციის შემუშავება, ასევე უკვე არსებულ მოწყობილობათა ექსპლოატაციის რეჟიმის დადგენა.

ნებისმიერ მადეფორმირებელ იარაღზე ლითონის წნევის განსაზღვრისათვის არსებობს ორი ხერხი: 1) თეორიული და 2) ექსპერიმენტული.

თეორიული განსაზღვრისას გამოდიან ლითონის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობიდან:

$$P = p_{\text{საა}} \cdot F, \quad (121)$$

სადაც  $P$  არის ლითონის საერთო წნევა მადეფორმირებელ იარაღზე კგ ;

$p_{\text{საა}}$ —საშუალო კუთრი წნევა კგ/მმ<sup>2</sup>;

$F$ —საკონტაქტო ფართი სმ<sup>2</sup>.

ექსპერიმენტული წნევის განსაზღვრას ახდენენ უშუალოდ დეფორმაციის პროცესში, სპეციალური ხელსაწყოების საშუალებით, რომლებზედაც ქვემოთ გვექნება საუბარი.

ჩვენ განვიხილავთ გრძივი გლინვის პროცესისათვის ლითონის გლინებზე წნევის განსაზღვრის ორივე ხერხს.

**§ 1. ლითონსა და გლინებზე შორის საკონტაქტო  
ფართის განსაზღვრა**

(121) განტოლებით ლითონის გლინებზე წნევის განსაზღვრისათვის პირველ რიგში აუცილებელია დავადგინოთ ლითონის გლინებთან შეხების ფართი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ განტოლებაში შედის არა შეხების ნამდვილი ფართი, არამედ მისი ჰორიზონტალური პროექცია, რომელსაც უბრალოდ საკონტაქტო ფართს უწოდებენ.

საკონტაქტო ფართის სიდიდე დამოკიდებულია გლინების, გასაგლინი და გაგლინული ლითონის ფორმასა და ზომაზე. გლინვის ამა თუ იმ პროცესისათვის აღნიშნული ფაქტორები ჩვენთვის წინასწარ ცნობილი არის, ამიტომ საკონტაქტო ფართის დადგენად დიდ სიძნელეს არ წარმოადგენს. შედარებით ძნელდება ამ ფართის დადგენა, როცა ფასონურ პროფილებთან გვაქვს საქმე. მარტივი პროფილების (ფურცელი, ზოლი და სხვა მართკუთხოვანი კვეთის პროფილები) ცილინდრულ გლინებში გლინვისას (ნახ. 81), საკონტაქტო ფართი (ერთი გლინისათვის) შეიძლება განვსაზღვროთ ტოლობით:

$$F = l \frac{b_0 + b_1}{2} = l b_{\text{ს.ა.}} \quad (122)$$

როგორც IV თავში იყო აღნიშნული დეფორმაციის ზონის სიგრძე გამოითვლება (56) ფორმულით:

$$i = \sqrt{r \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

ამ გამოსახულების მეორე წევრი მეტად მცირეა პირველთან შედარებით, ამიტომ პრაქტიკულ გამოანგარიშებებში ხშირად მას უგულებელყოფენ და სარგებლობენ განტოლებით:

$$l = \sqrt{r \cdot \Delta h} = \sqrt{r \cdot (h_0 - h_1)},$$

მაშინ საკონტაქტო ფართი იქნება

$$F = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{r \cdot \Delta h}, \quad (123)$$

სადაც  $b_0$  და  $b_1$  არის ზოლის სიგანე გაგლინებამდე და მის შემდეგ;  
 $r$  — გლინის რადიუსი;  
 $\Delta h$  — ხაზობრივი მოკიშვა.

თუ გლინების რადიუსები სხვადასხვაა, მაგალითად, ლაუტას ტიპის დგანებში, მაშინ ერთ-ერთი გლინის საკონტაქტო ფართი გამოითვლება განტოლებით:

$$F = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{\frac{2r_1 \cdot r_2 \cdot \Delta h}{r_1 + r_2}}, \quad (124)$$

სადაც  $r_1$  და  $r_2$  არის პირველი და მეორე გლინის რადიუსები.

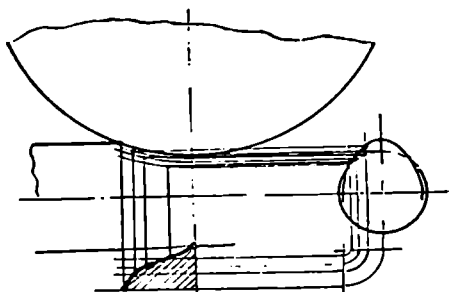
რთული პროფილების (კუთხოვანა, კოჭი, რელსი, შევლევი და სხვ.) გლინვისას საკონტაქტო ფართის ზემოთ აღნიშნული წესით

განსაზღვრა მნიშვნელოვნად რთულდება. ამ დროს იყენებენ ან მიახლოებით ფორმულებს ანდა უფრო ზუსტი ანგარიშისათვის გრაფიკულ ხერხს. გრაფიკული ხერხით საკონტაქტო ფართის განსაზღვრისათვის კალიბრს და მასში მყოფ ზოლს ერთად გამოხაზავენ სამ პროექციაში, შემდეგ აგებენ ზოლისა და გლინის გადაკვეთის ხაზებს და პოულობენ მათი შეხების ფართს (ნახ. 123).

საკონტაქტო ფართის მიახლოებითი ანგარიშისათვის არამართკუთხოვანი განიკვეთის პროფილების გლინვისას შეიძლება აგრეთვე გამოვიყენოთ ფორმულა (123), თუ მასში  $\Delta h$ -ს მივიღებთ, როგორც პროფილის სიგანის მიხედვით საშუალო ხაზობრივ მოქიშვას, ე. ი.

$$\Delta h = \frac{Q_0}{b_0} - \frac{Q_1}{b_1},$$

სადაც  $Q_0$  და  $Q_1$  არის პროფილის განიკვეთის ფართი გაგლინვამდე და მის შემდეგ.



ნახ. 123. საკონტაქტო ფართის განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით.

$\Delta h$ -ის გამოსათვლელად საღიანი იძლევა შემდეგ დამოკიდებულებებს:

1) რომბისათვის (ნახ. 124, ა):

$$\Delta h = 0,55 \div 0,6(a_0 - a_1);$$

2) ოვალისათვის (ნახ. 124, ბ):

$$\Delta h = a_0 - 0,7a_1 \text{ (ბრტყელი ოვალისათვის);}$$

$$\Delta h = a_0 - 0,85 a_1 \text{ (რგვალი ოვალისათვის);}$$

3) კვადრატისათვის, რომელიც ოვალიდან იგლინება (ნახ. 124, გ):

$$\Delta h = 0,65 \div 0,7 a_0 - 0,55 \div 0,6 a_1.$$

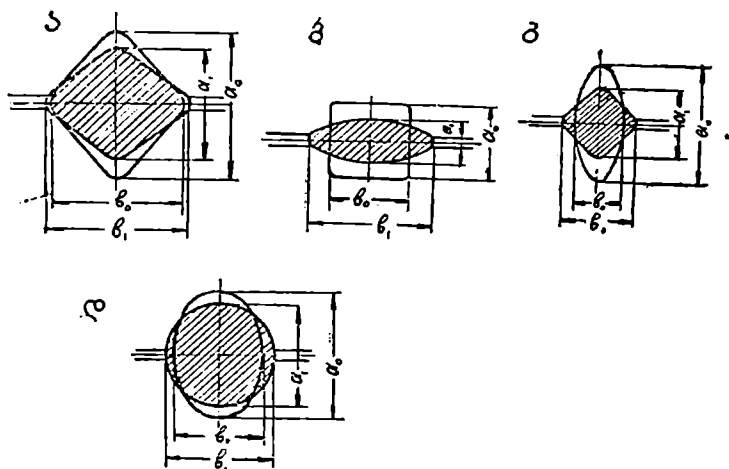
4) წრისათვის (ნახ. 124, დ):

$$\Delta h = 0,85 a_0 - 0,79 a_1,$$

სადაც  $a_0$  და  $a_1$  — პროფილის სიმაღლეები გაგლინვამდე და მის შემდეგ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფოლადის ცივად გლინვისას და აგრეთვე თხელი ფურცლების ცხლად გლინვისას, ადგილი აქვს გლინების დრეკად დეფორმაციას, რაც მაღალი ხვედრითი წნევის შედეგია.

აღნიშნული დრეკადი დეფორმაცია კი დიდ გავლენას ახდენს საკონტაქტო ფართის სიდიდეზე, იგი ზრდის შეტაცების რკალის სიგრძეს. ასეთ შემთხვევაში ჩვენს მიერ ზემოთ მოყვანილი საკონტაქტო ფართის საანგარიშო ფორმულები გვაძლევენ მნიშვნელოვან ცდომილებას ( $30 \div 50\%$ ). აქედან გამომდინარე რიგ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება საკონტაქტო ფართის განსაზღვრა გლინების დრეკადი დეფორმაციის მხედველობაში მიღებით.



ნახ. 124. მოჭიშვილის სქემა გლინის დროს; ა—რომბის; ბ—კვადრატისა და ოვალის; გ—ოვალისა და კვადრატის; დ—ოვალისა და წრის.

ვთქვათ გლინის კუმშვითი დრეკადი დეფორმაციის სიდიდე, გლინების ცენტრების შემაერთებელი ხაზის მიმართულებით, იყოს  $\Delta r$  (ნახ. 125), ე. ი.  $\Delta r = BD$ , მაშინ, ცხადია, შეტაცების მთელი რკალის  $AC$  ჰორიზონტალური პროექცია იქნება:

$$l = x_0 + x_1. \quad (125)$$

$x_0$  სიდიდის საანგარიშოდ იყენებენ ჰერცის ფორმულას, რომლის თანახმადაც ორი დრეკადი ცილინდრების ერთმანეთთან მიჭერისას შეხების ფართის სიგანის ნახევარი იქნება:

$$\frac{b}{2} = \sqrt{4q(k_1 + k_2) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}}, \quad (126)$$

სადაც  $q$  არის ცილინდრის სიგრძის ერთეულზე მოსული წნევა;  $r_1$  და  $r_2$ —ცილინდრების რადიუსი.

$k_1$  და  $k_2$ —კოეფიციენტები, დამოკიდებულია ცილინდრების მასალაზე.

$$k_1 = \frac{1-\mu_1^2}{\pi E} \quad \text{და} \quad k_2 = \frac{1-\mu_2^2}{\pi E_2},$$

აქ  $\mu_1$  და  $\mu_2$ —პუასონის კოეფიციენტებია;

$E_1$  და  $E_2$ —დრეკადობის მოდულები.

ცილინდრისა და სიბრტყის შემთხვევაში  $r_0 = \infty$  გასაგლინი ზოლის მცირე სისქის გამო მისი დრეკადი დეფორმაცია, შეიძლება მივიღოთ  $k_2 = 0$ , მაშინ ფორმულა (126) მიიღებს სახეს:

$$\frac{b}{2} = \sqrt{4qk_1 \cdot r_1}.$$

$q$  სიდიდე გამოვსახოთ ხვედრითი წნევით  $p$ :

$$q = b \cdot p$$

სადაც  $b$ —ზოლის სიგანეა, მაშინ

$$\frac{b}{2} = 8k_1 \cdot r_1 \cdot p,$$

ხოლო

$$x_0 = \frac{8(1-\mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot r p, \quad (127)$$

სადაც  $\mu$  არის გლინის მასალის პუასონის კოეფიციენტი;

$E$ —გლინის დრეკადობის მოდული კგ/მმ<sup>2</sup>;

$r$ —გლინის რადიუსი, მმ;

$p$ —გლინებზე ლითონის ხვედრითი წნევა, კგ/მმ<sup>2</sup>.

ფოლადის გლინებისათვის:

$$E = 2,2 \cdot 10^4 \text{ კგ/მმ}^2 \quad \text{და} \quad \mu = 0,3.$$

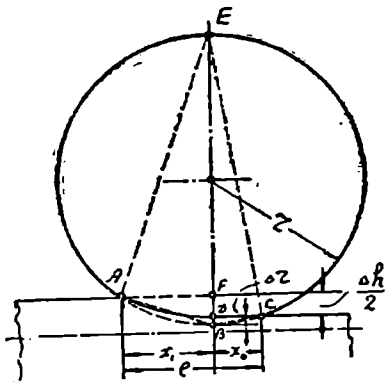
მაშინ:

$$x_0 \approx \frac{p \cdot r}{9500} \text{ მმ.}$$

ახლა განვსაზღვროთ მონაკვეთი  $x_1$ .

შეტაცების მცირე კუთხეების შემთხვევაში მონაკვეთი  $x_1$  შეიძლება გავუტოლოთ  $AB$  ქორდას; მაშინ  $ABE$  და  $ABF$  სამკუთხედების მსგავსებიდან დავწერთ:

$$\frac{AB}{BE} = \frac{BE}{AB}$$



ნახ. 125. გლინების დრეკადი დეფორმაციის გავლენა შეტაცების რკალის სიდიდეზე.

აქედან:

$$x_1 \approx AB = \sqrt{2r \left( \frac{\Delta h}{2} + \Delta r \right)}. \quad (128)$$

$\Delta r$  რადიალური კუმშვას ვსაზღვრავთ  $BCD$  და  $BCE$  სამკუთხედების მსგავსებიდან:

$$\frac{BD}{BC} = \frac{BC}{BE}.$$

მივიღოთ  $BC \approx x_0$ , მაშინ:

$$\Delta r \approx BD = \frac{(BC)^2}{BE} \approx \frac{x^2}{2 \cdot r}.$$

$\Delta r$ -ის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (128) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$x_1 = \sqrt{r \cdot \Delta h + x_0^2}.$$

საბოლოოდ თუ შევიტანთ  $x_0$  და  $x_1$ -ს მნიშვნელობებს (125) ფორმულაში გვექნება:

$$l = x_0 + \sqrt{r \cdot \Delta h + x_0^2}. \quad (129)$$

## § 2. კუთრი წნევა

ლითონის გლინებზე საერთო წნევის ანგარიშისათვის, საკონტაქტო ფართის გარდა, აუცილებელია ვიცოდეთ კუთრი წნევის საშუალო სიდიდე— $p_{\text{აშ}}$ . თვით კუთრი წნევა, როგორც თეორიულად ისე ექსპერიმენტულად ჯერ კიდევ საკმარისად არ არის შესწავლილი, რის გამოც პრაქტიკულ გამოანგარიშებებში ხშირად ვაწყდებით მთელ რიგ წინააღმდეგობებს.

დიდი ხნის განმავლობაში გაბატონებული იყო აზრი, რომ ლითონის გლინებზე კუთრი წნევა შეესაბამება გასაგლინი ლითონის გაგლეჯისადმი წინააღმდეგობას. ამ აზრს ამტკიცებდნენ კოლმანი, ბლასი და დალენი.

სინამდვილეში, გლინვისას კუთრი წნევის სიდიდის საკითხი გაცილებით რთულია, ვიდრე ეს აღნიშნულ ავტორებს წარმოედგინათ. კუთრ წნევაზე, გარდა გასაგლინი ლითონის მექანიკური თვისებებისა, დიდ გავლენას ახდენს აგრეთვე რიგი სხვა ფაქტორებისა, რომლებიც მათ ცდებში არ იყო გათვალისწინებული. ასეთ ფაქტორებს მიეკუთვნება: 1) გარეგანი ხახუნი; 2) გლინვის სიჩქარე და 3) ზოლის დაქიმულობა.

ამ ფაქტორების გავლენით კუთრი წნევა, როგორც წესი, აღემატება გაგლეჯისადმი წინააღმდეგობას. პრაქტიკულად, ზემოთ



ჩამოთვლილ ფაქტორების გავლენის მხედველობაში მიღებით, გლინებზე კუთრი წნევა სხვადასხვა შემთხვევებისათვის მერყეობს შემდეგ ზღვრებში:

$$p_{\text{ავ}} = 0,5\sigma_6 \div 8\sigma_6.$$

ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ კუთრი წნევის სიდიდეზე არის: გასაგლინი ლითონის მექანიკური თვისებები და გლინვის პროცესში მისი დაძაბული მდგომარეობა. კუთრი წნევა ზოგადად შეიძლება ასე გამოისახოს:

$$p = n_{\sigma} \cdot n_{\tau} \cdot n_{\text{II}} \cdot \sigma_6,$$

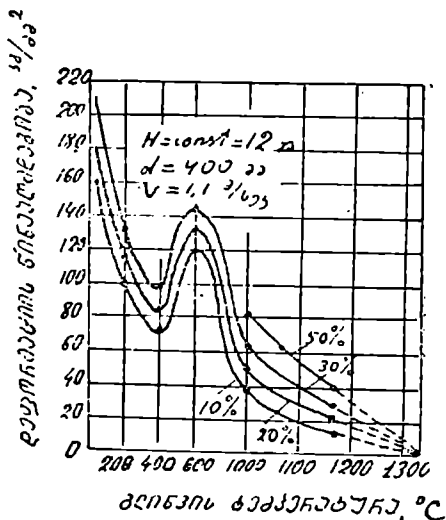
სადაც  $n_{\sigma}$  არის დაძაბული მდგომარეობის კოეფიციენტი, რომელიც მხედველობაში იღებს გარეგანი ხახუნისა და დაჭიმულობის გავლენას კუთრ წნევაზე;

$n_{\tau}$ —სიჩქარის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გლინვის სიჩქარის გავლენას კუთრ წნევაზე;

$n_{\text{II}}$ —ცივანაქრობის კოეფიციენტი, ითვალისწინებს დენადობის ზღვარის გაზრდას გლინვის პროცესში.

განვიხილოთ ზოგიერთი ფაქტორების გავლენა გლინვის პროცესში ლითონის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე.

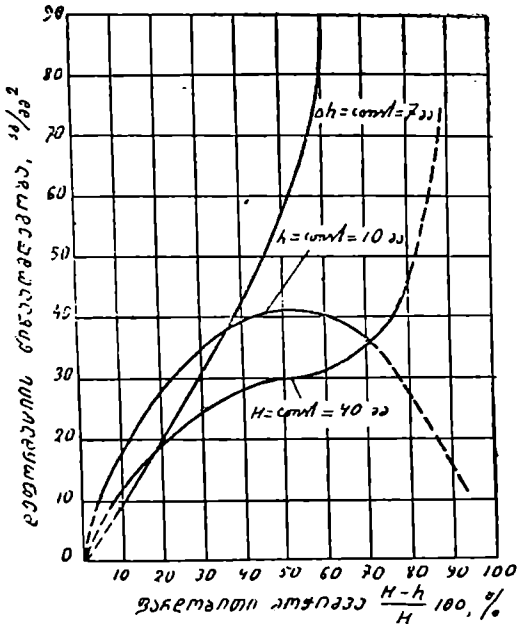
ტემპერატურის გავლენა. იმისათვის, რომ ვიანგარიშოთ ლითონების ცხლად დეფორმაციისათვის საჭირო ძალა, უნდა ვიცოდეთ აღებული ლითონის მექანიკური თვისებები დეფორმაციის ტემპერატურაზე და გლინვის პირობები, ან უნდა მოვახდინოთ პირდაპირი გაზომვა სპეციალური ხელსაწყოების საშუალებით. 126-ე ნახზე მოცემულია გლინვის ტემპერატურის გავლენა ნახშირბადიანი ფოლადის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე-მრუდები აშკარად გვიჩვენებენ, რომ დეფორმაციისადმი წინააღმ-



ნახ. 126. გლინვის ტემპერატურისა და ფარდობითი მოჭიმვის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე.

დეგობა მნიშვნელოვნად ეცემა  $400^{\circ}$ -ზე, შემდეგ კვლავ იზრდება და  $600^{\circ}$ -დან ინტენსიურად იწყებს შემცირებას.

მოკიმივის გავლენა. ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს, რომელიც გავლენას ახდენს როგორც დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე, ისე გლინებზე ლითონის წნევაზე, მოკიმივის ხარისხი წარმოადგენს. მოკიმივის ხარისხის ზრდით ლითონის წნევა გლინებზე სწრაფად მატულობს. მათ შორის ქვეშარტი კანონზომიერების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ცნობილია

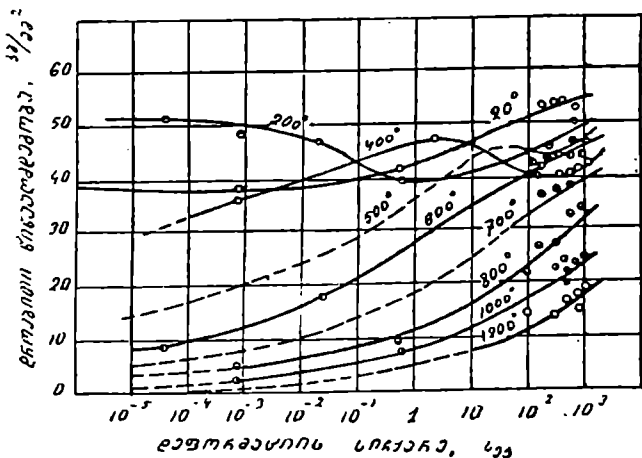


ნახ. 127. დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის დამოკიდებულება ფარდობით მოჭირვასთან, როცა  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  ცალ-ცალკე მუდმივებია ( $t_{გლ}=1000^{\circ}$ ,  $d=400$  მმ (ჩიეიკოვის მიხედვით)).

ფარდობითი და აბსოლუტური მოკიმივები. 127-ე ნახ-ზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გვაძლევენ დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის დამოკიდებულებას ფარდობით მოჭირვასთან (როცა  $\Delta h$ ,  $H$  და  $h$  ცალ-ცალკე მუდმივებია).

გლინვის სიჩქარის გავლენა. დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე სიჩქარის გავლენის ნათელ ილუსტრაციას იძლევა

ნადის და მანონის ექსპერიმენტული მონაცემები, რომელთა შედეგებიც მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის მოცემულია დიაგრამაზე (ნახ. 128). მრუდები აგებულია სხვადასხვა ტემპერატურისათვის. მათი ცლებიდან აშკარად ჩანს, რომ ცხელ მდგომარეობაში დეფორმაციისას, სიჩქარის გაზრდით დროებითი წინააღმდეგობა, და მასასადამე, დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაც მატულობს, დაახლოებით  $5 \div 7$ -ჯერ, ვიდრე სტატიკურ პირობებში დეფორმაციისას.

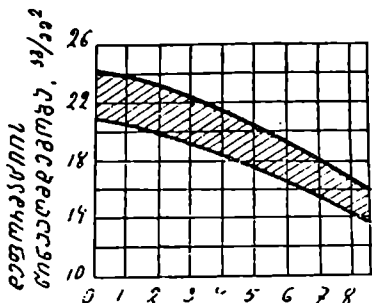


ნახ. 128. სხვადასხვა ტემპერატურაზე დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა მცირენახშირბადიანი ფოლადის დროებით წინააღმდეგობაზე.

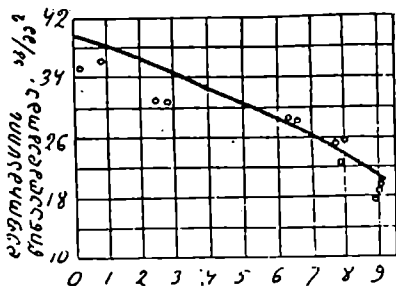
დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის გაზრდა სიჩქარის ზრდით შესამჩნევია მხოლოდ რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზემოთ. ლითონების დამუშავებისას რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვემოთ, ე. ი. ცივ მდგომარეობაში, დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა ძალზე უმნიშვნელოა, რაც ჩანს 128-ე ნახ-ის ზედა მრუდებიდან. თხელი ფურცლების ცივად გლინვისას სიჩქარის გაზრდით ვლებულობთ დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის შემცირებასაც კი.

დაქიმულობის გავლენა. 129-ე და 130-ე ნახაზებზე მოცემულია ალუმინის ცივად გლინვისას წინა და უკანა დაქიმულობის სიდიდის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე. მოცემული მრუდების თანახმად როგორც წინა, ისე უკანა დაქიმულობისას დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა შესამჩნევად მცირე-

დება. აღსანიშნავია, რომ ორივე დაკვიმულობის ერთდროული მოკმედებისას დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა კიდევ უფრო ინტენ-

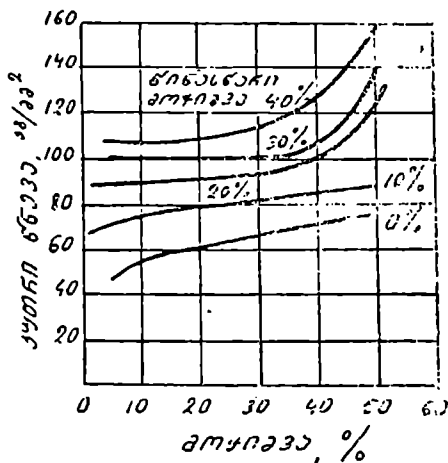


ახნ. 129. ალუმინის ცივად გლინვისას წინა დაკვიმულობის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე.



ნახ. 130. ალუმინის ცივად გლინვისას უკანა დაკვიმულობის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე.

სიურად მკირდება. ამიტომ არის, რომ ლითონების ცივად გლინვისას თანამედროვე დგანებზე იყენებენ დაკვიმულობას.



ნახ. 131. წინააღმდეგობის სხვადასხვა ხარისხით მოკმედეგი ფოლადის (0,1% C) ზოლის ცივად გლინვისას კუთრი წნევის დამოკიდებულება მოკმედეგზე.

მაციისადმი წინააღმდეგობა. შენადნობის ცივად დამუშავებისას აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული აღნიშნული მოვლენა...

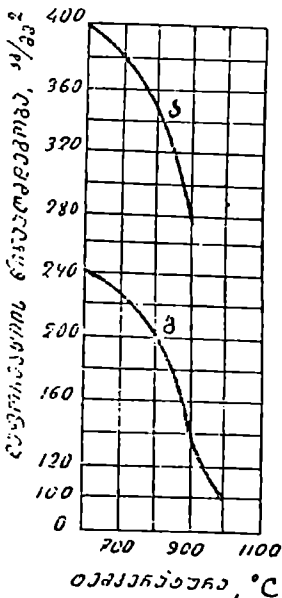
აღნიშნული გავლენა უნდა აიხსნას დეფორმაციის კერის დაძაბული მდგომარეობის ხასიათის შეცვლით, დაკვიმულობის მიმართულეებით გაპკიმავი ძაბვების წარმოქმნის შედეგად.

ცივად გლინვისას გავლენა. ლითონების ცივად გლინვისას, ე. ი. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვემოთ, ანდა როცა დეფორმაციის სიჩქარე მეტია რეკრისტალიზაციის სიჩქარეზე ადგილი აქვს ლითონის განმტკიცებას, რის შედეგადაც იზრდება დეფორ-

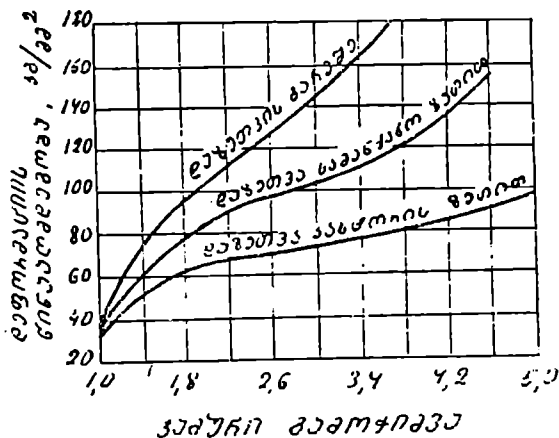
გამონაკლისს წარმოადგენს ტყვია და კალა, რომელთა რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაც არ აღემატება ოთახის ტემპერატურას.

დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე ციენაქედობის გავლენის საილუსტრაციოდ 131-ე ნახ-ზე მოყვანილია დიაგრამა, რომელიც გვიჩვენებს წინასწარ სხვადასხვა ხარისხით დეფორმირებულ ნიმუშების ლითონის კუთრ წნევასა და წინასწარ მოკიმეას შორის დამოკიდებულებას. როგორც დიაგრამიდან ჩანს წინასწარ 40%-ით მოკიმული ნიმუშის კუთრი წნევა თითქმის ორჯერ მეტია, ვიდრე წინასწარ მოუკიმავე ნიმუშისა.

გარეგანი ხახუნის გავლენა. 132-ე და 133-ე ნახ-ზე მოცემულია დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე გლინების ზედაპირის ხარისხის (ცხელი



ნახ. 132. ცხლად გლინვისას გლინების ზედაპირის ხარისხის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე; ა—უხეში ზედაპირის მქონე გლინები; ბ—გაპრიალებული გლინები.

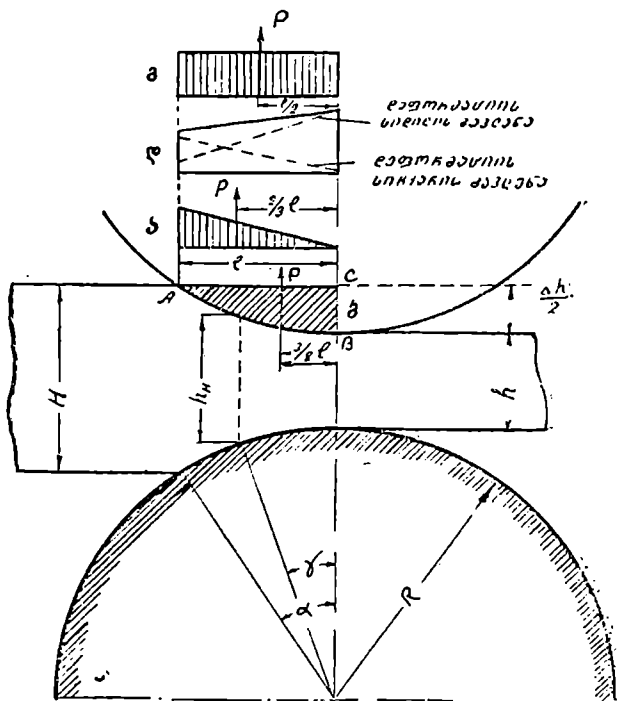


ნახ. 133. სილენძის ცივად გლინვისას დაზოხდასრის გავლენა დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობაზე.

გლინვისას) და საცხის (ცივად გლინვისას) გავლენა. მოყვანილი ღიაგრამებიდან ჩანს, რომ როგორც გლინის ზედაპირის ხარისხის გაუარესებით, ისე საცხის გარეშე გლინვისას დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად მატულობს. მაშასადამე, გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის ზრდით დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა მატულობს. ეს გასაგებიც არის, რადგანაც გარეგანი ხახუნის ზრდით  $\sigma_3$  და  $\sigma_2$  ძაბვები იზრდებიან, რითაც მცირდება მთავარ მკუმშავ ძაბვებს შორის სხვაობა.

### § 3. გლინვის პროცესში კუთრი წნევის განაწილება შეტაცების რკალზე

შეტაცების რკალზე ლითონის კუთრი წნევის განაწილების კანონზომიერების დადგენას მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს გლი-



ნახ. 134. კუთრი წნევის განაწილება შეტაცების რკალზე, (ძველი თეორიების თანახმად).

ნებზე მოკმედი საერთო წნევის დადგენისათვის. ამ განაწილებიან ხასიათზე დამოკიდებული გლინებზე ლითონის წნევის ტოლკმედის მიყენების წერტილის კოორდინატები. აღნიშნული კოორდინატების ცოდნა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს გლინების ბრუნვისათვის საჭირო მომენტის საანგარიშოდ ანუ ამძრავის საანგარიშოდ.

აღნიშნული საკითხისადმი მიძღვნილია როგორც საბჭოთა, ისე საზღვარგარეთელ მკვლევართა მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა. ავტორებს შორის აღსანიშნავია: კარმანი, ზიბელი, ნადაი, ვერეშაგინი, როდზევიჩ-ბელევიჩი, პავლოვი, გუბკინი, ცელიკოვი, კოროლიოვი, შევჩენკო და სხვები.

გლინებში ლითონის დეფორმაციის პროცესის სირთულის გამო დღემდე არ არის შექმნილი კუთრი წნევის განაწილების ზუსტი თეორია, მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ა. ი. ცელიკოვის და სხვა საბჭოთა მკვლევარების მიერ ამჟამად დამუშავებულია კუთრი წნევის განაწილების საკმარისად ზუსტი მეთოდოლოგია, რომლის შედეგებიც ემთხვევა ცდის პრაქტიკულ მონაცემებს.

აღნიშნულ საკითხზე ნათელი წარმოდგენის მიზნით განვიხილოთ კუთრი წნევის სიდიდისა და განაწილების შესახებ არსებული ძველი და ახალი თეორიები.

### ძველი თეორიები

გლასგოფისა და კოდრონის თეორია. ამ თეორიის თანახმად კუთრი წნევა მაქსიმალურია შეტაცების რკალის დასაწყისში და თანდათანობით მცირდება გლინებიდან ლითონის გამოსვლის მიმართულებით. იგი გამოდის იმ მოსაზრებიდან, რომ კუთრი წნევა პროპორციულია ლითონის დეფორმაციის სიჩქარისა (მისი სიმალის შემცირების სიჩქარისა). ზოგიერთი დაშვების თანახმად შეიძლება მივიღოთ, რომ დეფორმაციის სიჩქარე და, მაშასადამე, კუთრი წნევაც, დეფორმაციის ზონაში იცვლება სამკუთხედის სახით (ნახ. 134, ა), მაშინ გლინებზე ლითონის წნევის ტოლკმედი მიყენებული იქნება გლინების ლერძიდან  $2/3l$  მანძილზე.

ბლასის თეორია. ეს თეორია პირდაპირ საწინააღმდეგოა პირველისა. ბლასი გამოდის იმ მოსაზრებიდან, რომ შეტაცების რკალის გასწვრივ კუთრი წნევა იცვლება დეფორმაციის ხარისხის პროპორციულად. როგორც 134-ე ნახ-დან ჩანს ლითონის დეფორმაცია (მოკიმვა) იზრდება ნულიდან ( $A$  წერტილი) მაქსიმუმამდე (წერტილი  $B$ ), რომელიც ტოლია  $\frac{\Delta k}{2}$ ; ამ თეორიის თანახმად კუთრი წნევაც იგივე კანონით იცვლება.

გლინებზე ლითონის წნევის ტოლქმედი პროპორციულია  $ABC$  ნახევარსფერის ფართისა და მიყენებულია გლინების ღერძიდან  $3/8$  მანძილზე (ნახ. 134, ბ).

ფინკის თეორია. ამ თეორიის თანახმად შეტაცების რკალზე კუთრი წნევა ნაწილდება თანაბრად. ტოლქმედი მიყენებულია შეტაცების რკალის შუაში, ანუ გლინების ღერძიდან  $1/2$  მანძილზე (ნახ. 134, გ).

როდზევიჩ-ბელევიჩის თეორია. ამ თეორიის თანახმად შეტაცების რკალზე კუთრი წნევა ნაწილდება ტრაპეციოდალურად. მისი აზრით გლინებზე ლითონის წნევა ერთდროულად დამოკიდებულია, როგორც მოკიშვის სიდიდეზე, ისე დეფორმაციის სიჩქარეზე (პირველი ორი თეორიის მსგავსად). ამის შედეგად წნევა უნდა განაწილდეს ტრაპეციოდალურად (ნახ. 134, დ). ხოლო ტრაპეციის დიდი მხარის მდებარეობა მას არ გადაუწყვეტია.

ზემოთ განხილულ თეორიებს შეიძლება ეწოდოს ჰიპოთეზები, ვინაიდან არცერთი მათგანი არ ეყრდნობოდა ნამდვილ მეცნიერულ ანალიზს და არ ყოფილა დასაბუთებული ექსპერიმენტული გზით. ეს თეორიები სრულებით არ ითვალისწინებდნენ ისეთ მნიშვნელოვან ფაქტორებს, როგორიცაა ლითონისა და გლინებს შორის ხახუნის კოეფიციენტი, გლინების დიამეტრი, ზოლის სისქე და სხვა. ამის გამო აღნიშნული თეორიები სავსებით არ გამოხატავენ კუთრი წნევის განაწილების რეალურ სურათს და ამეხმად მათ მხოლოდ ისტორიული მნიშვნელობა შერჩათ.

### ახალი თეორიები

შეტაცების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების ახალი თეორიები ეყრდნობა პლასტიკურობის თეორიისა და ფიზიკური მექანიკის მთელ რიგ ცნობილ დებულებებს, აგრეთვე მხედველობაში იღებს დეფორმაციის პირობებს, როგორიცაა: გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტი, ლითონის მექანიკური თვისებები, მოკიშვის სიდიდე და სხვა. კუთრი წნევის განაწილების კანონის დადგენის თანამედროვე მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში:

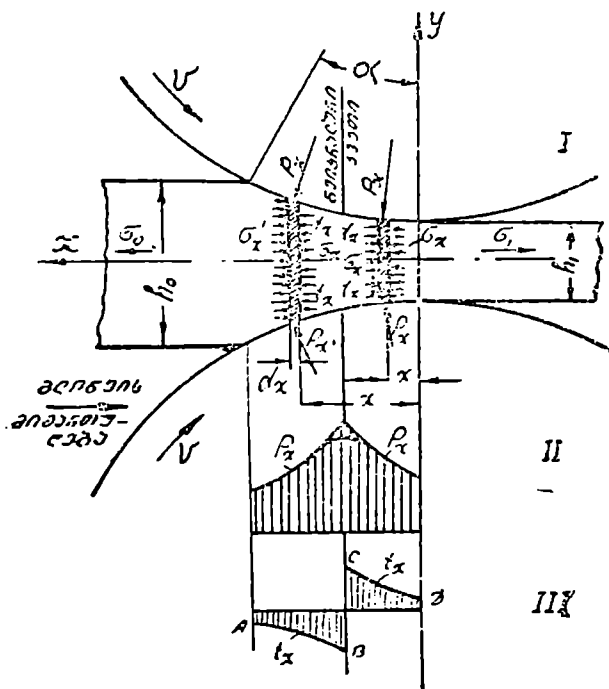
1. დეფორმაციის კერის ნებისმიერ  $x$  კვეთში ორი პარალელური სიბრტყით გამოყოფენ ლითონის მოცულობის უსასრულოდ მცირე ელემენტს  $dx$  სივანით და ცვლადი  $hx$  სიმაღლით (ნახ. 135).

2. ადგენენ ამ ელემენტზე მოქმედ ძალთა წონასწორობის პირობას. ამავე დროს უშვებენ, რომ გრძივად მოქმედი შინაჯანი მკუმშავი ძაბვები  $\sigma_x$  ელემენტის სიმაღლის მიხედვით გა-



ნაწილებულნი არიან თანაბრად, ე. ი. აღებულ კვეთისათვის  $\sigma_x = \text{const}$  (ნახ. 135).

3. დეფორმაციის პროცესში გლინების მიმართ ლითონის სრიალის სხვადასხვა ზონების არსებობას იმით ითვალისწინებენ, რომ ჩამორჩენისა და წინსწრების ზონაში ხახუნის  $t_x$  ძალას იღებენ სხვადასხვა ნიშნით.



ნახ. 135. კუთრი წნევის განაწილება შეტაცების რკალზე (ახალი თეორიების თანახმად).

მაშასადამე, განსახილველი ელემენტი განიცდის ყოველმხრივ შეკუმშავ დაძაბულობას. ასეთ პირობებში ლითონის ელემენტარული მოცულობის პლასტიკური დეფორმაციის დასაწყისი განისაზღვრება პლასტიკურობის განტოლებით:

$$p_x - \sigma_x = 1,15 K_r = K. \quad (130)$$

ამ განტოლების თანახმად ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის დასაწყისი განისაზღვრება არა ნორმალური კუთრი წნევის  $P_x$  და კუთრი მკუმშავი ძაბვების  $\sigma_x$  სიდიდებით, არამედ ამ ძაბვათა სხვაობის ( $p_x - \sigma_x$ ) სიდიდით. როცა ეს სხვაობა მიაღწევს გარკვეულ ( $1,15 K_x$ ) სიდიდეს (მოცემული დეფორმაციის პირობებისათვის იგი მუდმივი სიდიდეა) მინიმალური წინააღმდეგობის მიმართულებით დაიწყება ლითონის დენადობა. პლასტიკური დეფორმაციის დაწყების ზემოთ აღნიშნულ პირობაზე დაყრდნობით წონასწორობის დიფერენციალურ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$\frac{dP_x}{dx} - \frac{K}{y} \cdot \frac{dy}{dx} + \frac{t_x}{y} = 0. \quad (131)$$

ნიშანი პლიუსი შეესაბამება ჩამორჩენის ზონას, ხოლო მინუსი — წინსწრების ზონას.

(130) და (131) განტოლებებში  $x$  და  $y$  — განსახილველი კვეთის კოორდინატებია,  $K_x$  — დეფორმაციის მოცემულ პირობებში პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა ანუ დენადობის ზღვარი ( $\sigma_x$ ),  $K = 1,15 K_x$ .

(131) განტოლების გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ცნობილია  $p_x$  კუთრ წნევასა და ხახუნის  $t_x$  კუთრ ძალას შორის დამოკიდებულება. ეს განტოლება თეორიულად კველაზე სრულყოფილად გამოიკვლია პროფ. ა. ი. ცელიკოვმა, რომელმაც მოგვცა აღნიშნული განტოლების ამოხსნის მეთოდი, რომლის შედეგადაც დეფორმაციის კერის ნებისმიერ კვეთში კუთრი წნევის განსაზღვრისათვის მიღებული იქნა შემდეგი ფორმულები (ა. ი. ცელიკოვის ფორმულები):

ა) ჩამორჩენის ზონისათვის (შესვლის კვეთიდან ნეიტრალურ კვეთამდე)

$$p_x = \frac{K}{\delta} \left[ (\delta - 1) \left( \frac{h_0}{h_x} \right)^\delta + 1 \right] - \sigma_0 \left( \frac{h_0}{h_x} \right)^\delta; \quad (132)$$

ბ) წინსწრების ზონისათვის (ნეიტრალურ კვეთიდან გასვლის კვეთამდე)

$$p_x = \frac{K}{\delta} \left[ (\delta + 1) \left( \frac{h_x}{h_1} \right)^\delta - 1 \right] - \sigma_1 \left( \frac{h_x}{h_1} \right)^\delta. \quad (133)$$

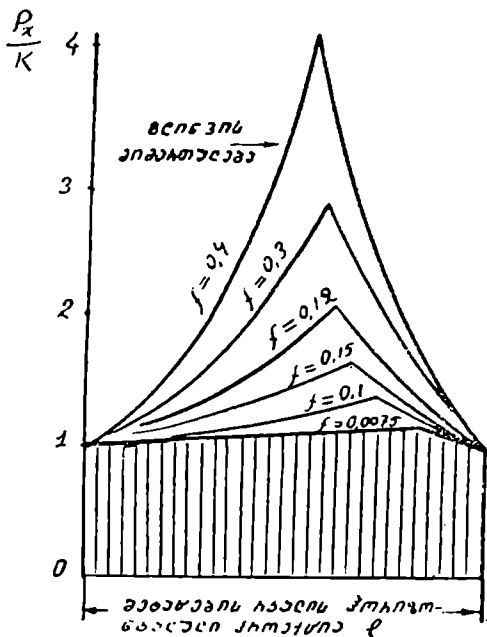
ამ ფორმულებში

$\delta = 2f \frac{1}{\Delta h} = 2f \sqrt{\frac{R}{\Delta h}}$  — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ხახუნის კოეფიციენტის  $f$ , გლინის დიამეტრის  $2R$  და მოკმების  $\Delta h$  გავლენას კუთრ წნევაზე;

$\sigma_0$  და  $\sigma_1$ —უკანა და წინა კუთრი დაჭიმულობა, კგ/მმ<sup>2</sup>;

$h_s = 2\gamma$ —გლინების ლერძიდან  $x$  მანძილზე დაშორებული განსახილველი კვეთის სიმაღლე (ნახ. 135).

როგორც მოყვანილი ფორმულებიდან ჩანს უკანა ( $\sigma_0$ ) და წინა ( $\sigma_1$ ) დაჭიმულობანი ამცირებენ კუთრ წნევას.

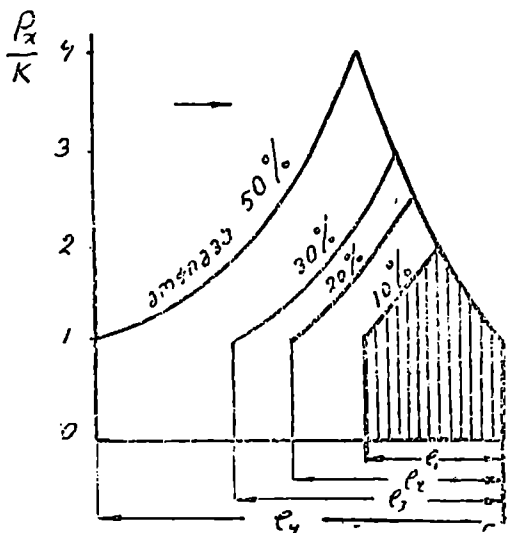


ნახ. 136. ხახუნის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისას შტატების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების ეპიურები.

ხახუნის კუთრი ძალების ( $f_s$ ) და კუთრი წნევის ( $p_x$ ) ცვლილებათა გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია 135-ე ნახ-ზე. (132) და (133) ფორმულების თანახმად კუთრი წნევა დამოკიდებულია: დენადობის ზღვარზე ( $K_s$ ), გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტზე ( $f$ ), გლინების დიამეტრზე ( $D=2R$ ), ლითონის მოკიშვასზე ( $\Delta h$ ) და წინა და უკანა დაჭიმულობაზე. კუთრი წნევის სიდიდებზე ჩამოთვლილი ფაქტორების გავლენის თვალსაჩინო წარმოდგენას იძლევა ა. ო. ცელიკოვის მიერ აგებული ეპიურები (ნახ. 136, 137, 138, 139, 140).

ამ ეპიურების ორდინატთა ლერძზე გადაზომილია ფარდობა  $\frac{p_x}{1,15 K}$ , ხოლო აბსცისის ლერძზე--დეფორმაციის ზონის სიგრძე  $i$ . მოცემულ ეპიურათა განხილვის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ:

1. რაც მეტია გლინებსა და ლითონს შორის ხახუნის კოეფიციენტი (დანარჩენი ფაქტორების მუდმივობისას), მით უფრო მკვეთრად იზრდება კუთრი წნევის სიდიდე დეფორმაციის ზონის ნეიტრალური კვეთისაკენ; ცხადია ამ დროს იზრდება აგრეთვე გლინებზე ლითონის საერთო წნევა, რომელიც ხასიათდება ეპიურის ფართით (ნახ. 136).



ნახ. 137. სხვადასხვა მოჭიმებისა შეტაცების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების ეპიურები.

2. ფარდობითი მოჭიმვის ზრდასთან ერთად კუთრი წნევის სიდიდეც მკვეთრად იზრდება (ნახ. 137).

3. რაც მეტია ფარდობა  $\frac{D}{h_1}$ , ე. ი. რაც მეტია გლინების დიამეტრი და რაც ნაკლებია გასაგლინი ზოლის სისქე, მით მეტია კუთრი წნევის ზრდა ნეიტრალურ კვეთისაკენ. აქედან გამომდინა-

რე სადაც კი გლინის სიმტკიცე გვაძლევს შესაძლებლობას, სასურველია შევამციროთ გლინების დიამეტრი (ნახ. 138).

4. როგორც (132) ფორმულიდან და 136—138 ნახ-დან ჩანს შესვლის და გამოსვლის კვეთში კუთრი წნევა ტოლია  $1,15 K_s \approx \approx 1,15 \sigma_s$ , ე. ი. მოცემულ ტემპერატურულ პირობებში ლითონის დენადობის ზღვარზე 15%-ით მეტია.

5. წინა დაქიმულობის დროს წინსწრების ზონაში კუთრი წნევა-მცირდება და გამოსვლის კვეთში იგი ტოლი იქნება  $p_1 = (1,15 \sigma_s - \sigma_1)$ .

ე. ი. გამოკიშვის სი-  
დიდით ნაკლები, ვიდ-  
რე გამოკიშვის გარეშე  
გლინვისას (ნახ. 139).

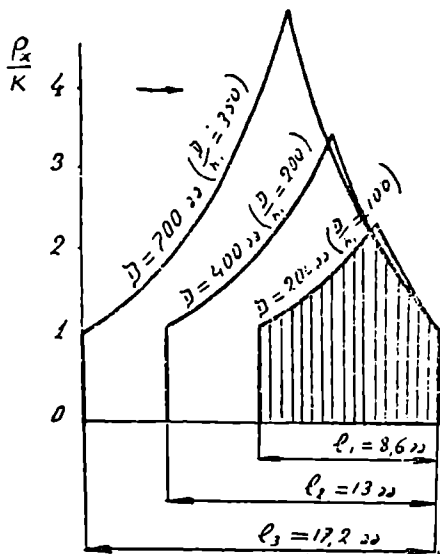
6. უკანა დაქიმუ-  
ლობისას ჩამორჩენის  
ზონაში კუთრი წნევა  
მცირდება, ხოლო წინს-  
წრების ზონაში კი უცვ-  
ლელია. გლინებში ლი-  
თონის შესვლის კვეთში  
კუთრი წნევა ტოლია  
 $p_0 = (1,15 \sigma_s - \sigma_0)$ , ე. ი.  
გამოკიშვის სიდიდით  
ნაკლებია ვიდრე გამო-  
კიშვის გარეშე გლინ-  
ვისას (ნახ. 140).

7. წინა და უკანა  
დაქიმულობის ერთ-  
დროული გამოყენები-  
სას დეფორმაციის  
მთელ ზონაში კუთრი  
წნევა მნიშვნელოვნად

ეცემა, მაშასადამე, გლინებზე საერთო წნევაც შესაბამისად ნაკლე-  
ბი იქნება. ეს ნათლად ჩანს ეპიურების ( $\sigma_0 = \sigma_1 = 0$  და  $\sigma_0 = \sigma_1 =$   
 $= 0,5 K_s$ ) დაშტრიხული ფართების შედარებიდან.

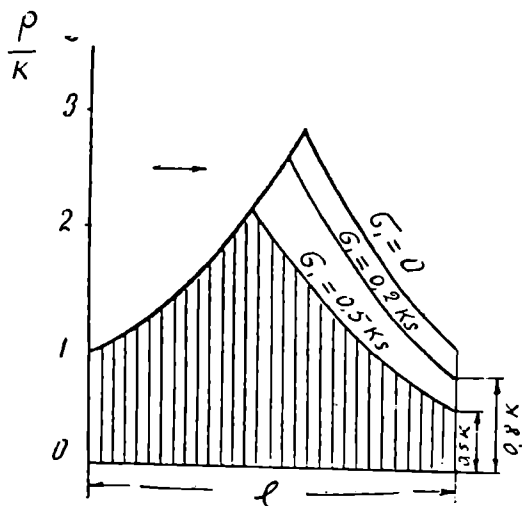
ამიტომ არის, რომ ცივად გლინვისას ხშირად მიმართავენ და-  
ქიმულობის გამოყენებას. პრაქტიკულად ამ დაქიმულობას იღებენ  
დენადობის ზღვარის ნახევრის ტოლს ( $\sigma_0 = \sigma_1 \approx 0,5 \sigma_s$ ) და ზოგჯერ  
მეტსაც.

ვიხილავთ შეტაცების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების ახალ:

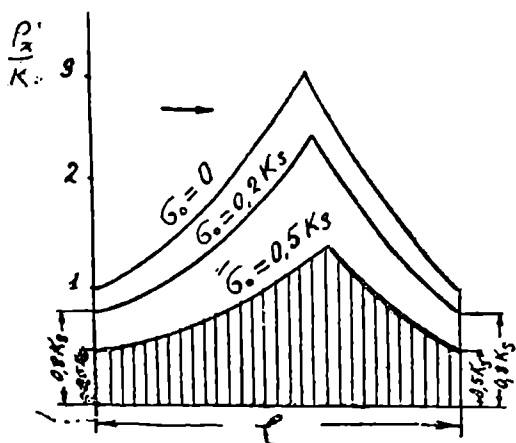


ნახ. 138. სხვადასხვა დიამეტრის გლინებში  
გლინვისას შეტაცების რკალზე კუთრი  
წნევის განაწილების ეპიურები.

თეორიებიდან ყველაზე სრულყოფილად ითვლება ა. ი. ცელიკოვის თეორია, ამიტომ დანარჩენი თეორიების (ნადაის, ზიბელისა და კარმანის) განხილვას აქ არ შევუდგებით, არამედ დავკმაყოფილ-

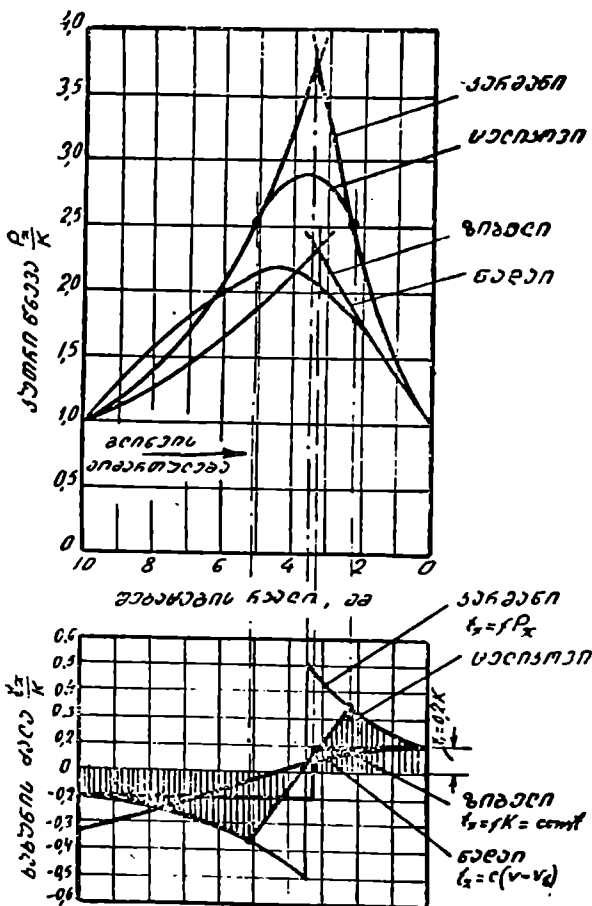


ნახ. 139. წინა დაჭიმულობისაშ შეტაცების რეალზე კუთრი წნევის განაწილების ეპიურები.



ნახ. 140. წინა და უკანა დაჭიმულობების დროს შეტაცების რეალზე კუთრი წნევის განაწილების ეპიურები.

დებოთ მხოლოდ მათი მონაცემების შედარებით ცელიკოვის მონაცემებთან (ნახ. 141). ნახაზზე მოყვანილ მრუდებიდან ჩანს, რომ კუთრი წნევის განაწილების ხასიათით ახალი თეორიები თითქმის



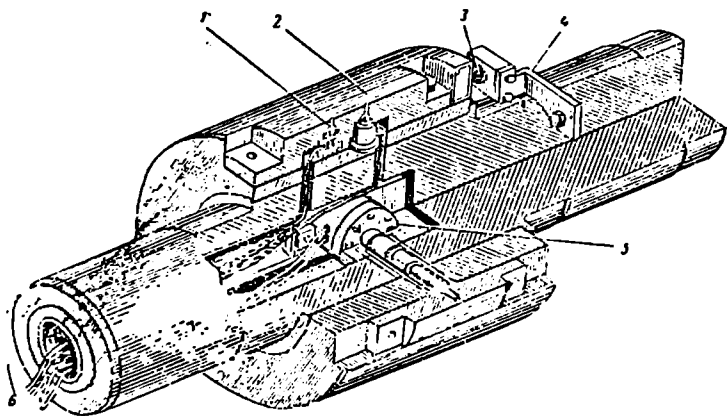
ნახ. 141. ახალი თეორიების მიხედვით შეტაცების რკალზე კუთრი წნევისა და სახუნის კუთრი ძალების განაწილება.

ანალოგიურია, მხოლოდ ნეიტრალურ კვეთისაგან კუთრი წნევის სიდიდის ზრდა სხვადასხვა აღმავლობით წარმოებს და სიდიდითაც განსხვავებულია. ეს გარემოება უნდა აიხსნას ამა თუ იმ ავტო-

რის მიერ მიღებული ხახუნის ძალების სიდიდის მიხედვით. მაგალითად, ზიბელის თეორიით ხახუნის ძალები გაცილებით ნაკლებია ვიდრე კარჰანის თეორიის მიხედვით. ამის საილუსტრაციოდ 141-ე ნახ-ზე მოცემულია სხვადასხვა თეორიების მიხედვით კუთრი გარეგანი ხახუნის ძალების უანაწილების მრუდები.

#### § 4. კუთრი წნევის განაწილების ემპირიკული გამოკვლევა

კუთრი წნევის განაწილების შესახებ ძველი თეორიები მოკლებული იყო სათანადო ექსპერიმენტულ მონაცემებს, ამიტომ მათ ხშირად თეორიის ნაცვლად ჰიპოთეზებს უწოდებენ. კუთრი წნევის განაწილების ექსპერიმენტული გამოკვლევის იდეა ეკუთვნის ა. ფ. როლზევიჩ-ბელევიჩს, რომელმაც ამ მიზნისათვის 1913 წელს გამოიყენა გლინის კასრში ჩამაგრებული სპეციალური ჰიდრაულიკური მესდოზა<sup>1</sup>.



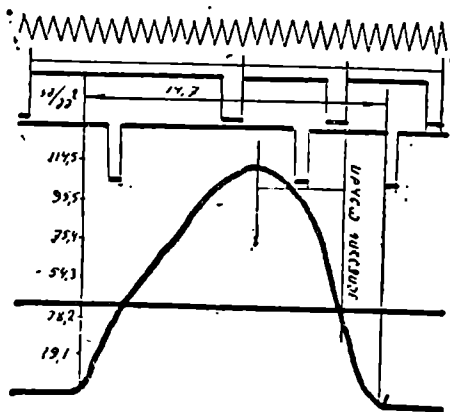
ნახ. 142. შეტაცების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების გასახონი ნახშირის ფირფიტებიანი მესდოზის გლინის კასრში დაყენების სქემა.

ამჟამად საბჭოთა მეცნიერებს (ჟროლოვს, გოლუბევს, კოროლიოვს, ცელიკოვს და სხვა) ამ მიმართულებით ჩატარებული აქვთ მრავალი ექსპერიმენტი, რომელთა მონაცემებმაც აშკარად დაგვანახვეს კუთრი წნევის განაწილების რეალური სურათი. ამ მიზნისათვის ისინი იყენებდნენ მაღალი მგრძნობიარების მქონე სპეცია-

<sup>1</sup> გერმანულად Messdose, Mess—ზომა და Dose—კოლოფი.



ლურ გამზომ აპარატურას. 142-ე ნახ-ზე მოცემულია ერთ-ერთი მოწყობილობის პრინციპული სქემა. მაგალითისათვის 143-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია ა. ა. კოროლიოვის მიერ ლაბორატორიულ პირობებში ფოლადის ზოლის ცივად გაგლინვისას მიღებული ოსცილოგრამა<sup>1</sup>, რომელიც საესებით ამტკიცებს კუთრი წნევის განაწილების შესახებ ზემოთ მოყვანილ დასკვნებს.



ნახ. 143. შეტაცების რკალზე კუთრი წნევის განაწილების ოსცილოგრამა.

### § 5. გლინვის პროცესში ლითონის საშუალო კუთრი წნევა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, გლინებზე ლითონის საერთო წნევის საანგარიშოდ საკონტაქტო ფართის გარდა საჭიროა ვიცოდეთ კუთრი წნევის საშუალო მნიშვნელობა. პირველს შედარებით ადვილად ვსაზღვრავთ, რაც შეეხება მეორეს—საშუალო კუთრი წნევას—მისი გამომანგარიშება დაკავშირებულია მთელ რიგ მათემატიკურ გარდაქმნებთან და დაშვებებთან, რომელთა გამოყვანას ჩვენ აქ არ შევეუდგებით. ყველაზე კარგ შედეგს იძლევა ფორმულები:

ა) ცელიკოვის ფორმულა:

$$p_{\text{საშ}} = K \frac{2(1-\varepsilon)}{\varepsilon(\delta-1)} \left( \frac{h\sigma}{h_1} \right) \left[ \left( \frac{h\sigma}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right], \quad (134)$$

<sup>1</sup> ლათ. oscillo—ვირხვეი და ბერძნ. γραμμά—წერილობითი ნიშანი, ანუ სწრაფად მიმდინარე პროცესის მრუდი, რომელსაც წერს სწრაფმოქმედი ვლემბტ-

სადაც

$$K = 1,15 \quad K_s = 1,15 \sigma_s;$$

$$\delta = f \frac{2l}{\Delta h} = 2f \sqrt{\frac{R}{\Delta h}} = f \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}};$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}.$$

$h_0$  — გასაგლინი ლითონის სიბალღე ნეიტრალურ კვეთში, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ტოლობით:

$$\frac{h_0}{h_1} = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right\}^{1/\delta}. \quad (135)$$

სადაც  $h_0$  და  $h_1$  არის ლითონის სიბალღე გაგლინვამღე და მის შემღღეგ.

ბ) კოროლიოვის ფორმულა:

$$p_{საგ} = \frac{2K}{\varepsilon \cdot \delta} \left[ \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^{\frac{\delta - 1}{2}} - \left( 1 - \frac{\varepsilon}{2} \right) \right], \quad (136)$$

აქ შემავალი სიდიდეები იგივეა რაც წინა ფორმულაში.

როგორც შემოწმებიდან ჩანს ზემოთ მოყვანილი ფორმულების შედეგები თითქმის ემთხვევიან ერთმანეთს და რაც მთავარია — პრაქტიკის მონაცემებს.

პრაქტიკული გამოანგარიშების გაადვილების მიზნით იძლევიან აღნიშნული ფორმულების გრაფიკულ ამოხსნას შემღღეგ დამოკიდებულებაში:

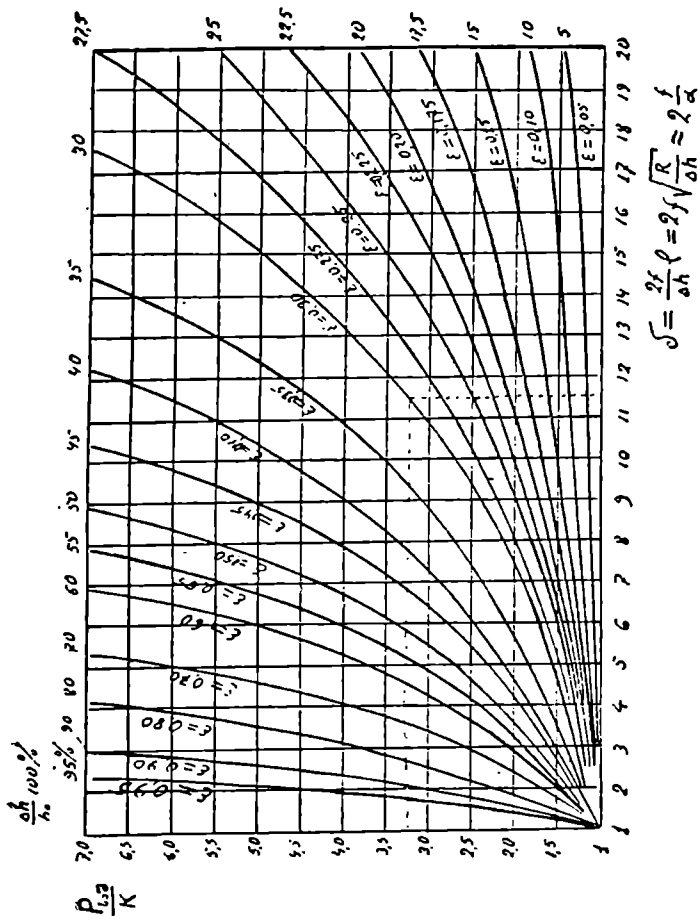
$$\frac{p_{საგ}}{K} = f(\varepsilon, \delta).$$

ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია ფარღობა  $\frac{p_{საგ}}{K}$ , ხოლო აბსცისაზე —  $\delta$  კოეფიციენტი.

144-ე ნახ-ზე მოცემული მრუღები გვაძლევენ  $\frac{p_{საგ}}{K}$  ფარღობის მნიშვნეღობას, სხვადასხვა მოქიშვასა  $\varepsilon$  და  $\delta$  კოეფიციენტისაგან დამოკიდებულებით.

გრაფიკის საარგებღობის წესი შემღღეგია: მოცემული ფარღობითი მოქიშვის  $\varepsilon$  და ანგარიშით მიღებული კოეფიციენტის  $\delta$  საშუალებით პოულღობენ სიდიღეს  $\frac{p_{საგ}}{K} = n$  და რადგან  $K \approx 1,15 \sigma$ ,

ცნობილია, ამიტომ საშუალო კუთრი წნევის სიდიდეს განვსაზღვრავთ:  $p_{საშ} = k \cdot n \cong 1,15 \sigma \cdot n$ .



ნახ. 144. გლინებზე ლითონის საშუალო კუთრი წნევის ფარდობით მოკივასთან  $\alpha$  და  $\beta$  კოეფიციენტთან დაბოკიდებულების გრაფიკი.

მაგალითი. განვსაზღვროთ დაბალნახშირბადიანი ფოლადისაგან (0,1% C) ფურცლების გლინვისას ლითონის საერთო წნევა გლინებზე, ფურცლის საბოლოო სისქე  $h_1 = 4$  მმ, სივანე  $b_1 = 600$  მმ, მოკივმა  $\frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 = 30\%$ , გლინების დიამეტრი  $D = 500$  მმ, გლინების მასალა — ნაწრთობი თუჯი; გლინვის ტემპერატურა  $t = 900^\circ C$ .

პირველ რიგში საჭიროა განისაზღვროს ლითონსა და გლინებს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $f$ . ამ მიზნით გამოვიყენოთ ექვლუნდის ემპირიული ფორმულა:

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005 t) = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 900) = 0,48$$

განვსაზღვროთ  $\Delta h$ :

$$\Delta h = \frac{h_1}{1 - 0,3} - h_1 = \frac{4}{1 - 0,3} - 4 = 1,72,$$

კოეფიციენტი  $\delta$  იქნება:

$$\delta = f \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}} = 0,48 \sqrt{\frac{2 \cdot 500}{1,72}} = 11,5$$

$$\frac{\Delta h}{h_0} = 0,31 \text{ და } \delta = 11,5 \text{ მიხედ-}$$

ვით დიაგრამიდან (ნახ. 144) ეპოულობთ:

$$n = \frac{p_{\text{საზ}}}{K} = 3,2.$$

მოცემული ფოლადისათვის ნახშირბადის შეცულობისა და ტემპერატურის მიხედვით ეპოულობთ დროებით წინააღმდეგობას (ნახ. 145), რომელიც ტოლია  $7,5 \text{ კგ/მმ}^2$ . მაშასადამე,  $K = 1,156, = 1,15 \cdot 7,5 = 8,63 \text{ კგ/მმ}^2$  საშუალო კუთრი წნევა იქნება:

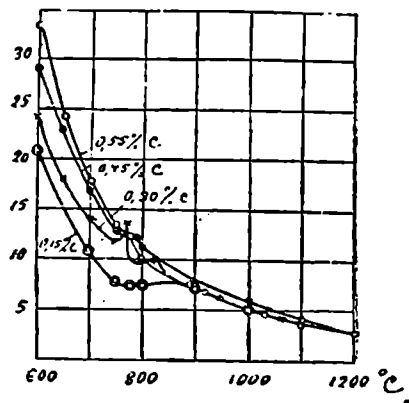
$$p_{\text{საზ}} = K \cdot n = 1,156 \cdot \frac{p_{\text{საზ}}}{k} = 8,63 \cdot 3,2 = 27,6 \text{ კგ/მმ}^2.$$

ვინაიდან ფურცლების გლინვისას გაგანიერება უმნიშვნელოა ამიტომ მას მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ (123) ფორმულის თანახმად საკონტაქტო ფართი იქნება:

$$F = \frac{b_0 + h_1}{2} \sqrt{r \cdot \Delta h} = 600 \sqrt{250 \cdot 1,72} = 12540 \text{ მმ}^2$$

საერთო წნევა გლინებზე იქნება:

$$P = F \cdot p_{\text{საზ}} = 12540 \cdot 27,6 = 346104 \text{ კგ.}$$

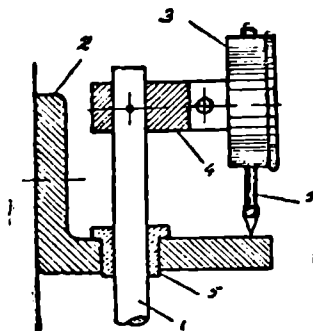


ნახ. 145. ნახშირბადის შემადგენლობის მიხედვით ფოლადის დროებით წინააღმდეგობის დამოკიდებულება ტემპერატურასთან.

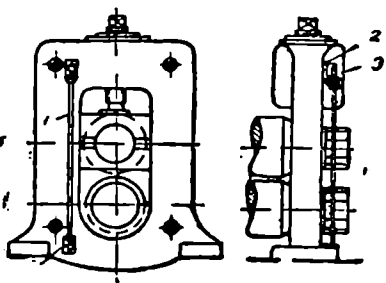
**§ 6. გლინებზე ლითონის წნევის განმსაზღვრელი ხელსაწყოები**

ამებამდ გლინებზე ლითონის წნევის განმსაზღვრელი მრავალი ხელსაწყოები არსებობს, რომლებიც თავიანთი მოქმედების პრინციპით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

1. სადგარის დრეკადი დეფორმაციის მიხედვით წნევის განმსაზღვრელი ხელსაწყოები. აღნიშნული ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი ემყარება დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებში ძაბვასა



ნახ. 146. სადგარის დრეკადი დეფორმაციით წნევის გამზომი ხელსაწყო (ზედნაწილი) სქემა.

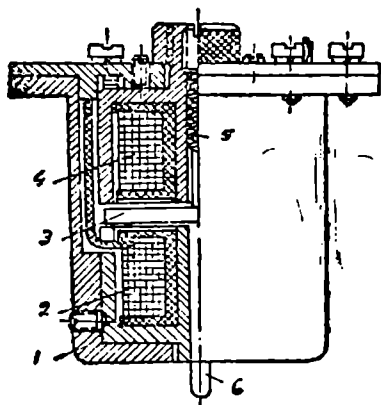


ნახ. 147. სადგარის დრეკადი დეფორმაციით წნევის გამზომი ხელსაწყო სადგარზე დაყენების სქემა.

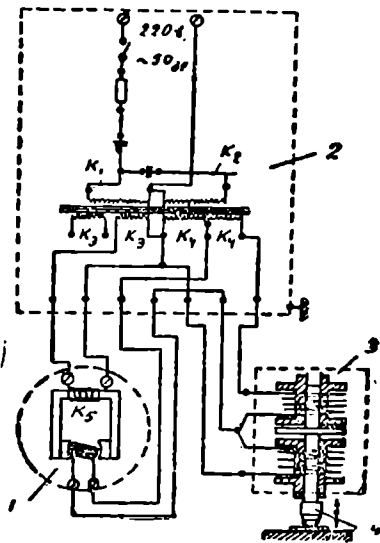
და დეფორმაციას შორის სწორხაზოვანი დამოკიდებულების კანონს. ჩვენს შემთხვევაში დრეკად დეფორმაციას იღებს სადგარი და სწორედ მისი მცირეოდენი წაგრძელებით ვმსჯელობთ მასზე მოქმედი გამჭიმავი ძალის სიდიდეზე, რომელიც პირდაპირ კავშირშია გლინებზე ლითონის წნევასთან. ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი ხელსაწყო სქემა, რომელიც აღნიშნულ პრინციპს ემყარება, მოცემულია 146-ე და 147-ე ნახ.ზე. ღეროს (1) ქვედა ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული სადგარში, ხოლო ზედას თავისუფლად შეუძლია მოძრაობა მილსაყში (5). ღეროს ზედა ბოლოზე ხისტად არის ჩამაგრებული ინდიკატორისაგან (3) მიმაგრებული მილსაყი (4). ინდიკატორის ფეხი (6) დადებულია სადგარის ზედა ნაწილზე ხისტად დამაგრებულ კუთხოვანაზე (2). მუშაობის დაწყების წინ ინდიკატორს მისი ციურბლათის შემობრუნებით აყენებენ ნულზე.

ყოველ ინდიკატორულ დანადგარს გააჩნია თავისი დაგრაღული-რებული მრუდი, რომელიც გვიჩვენებს ინდიკატორის ისრის გადაადგილების (მილიმეტრის მუასედებში) დამოკიდებულებას ჩვენთვის საძიებელი დატვირთვისთან (ტონებში). მისი გაზომვის სიზუსტე 0,01 მმ-მდეა.

უფრო ზუსტი გაზომვებისათვის იყენებენ ინდუქციურ გადამწოდებს, რომელთა სიზუსტეც აღწევს 1 მიკრონს. ЦНИИТМАШ-ის სისტემის ინდუქციურ გადამწოდს ამაგრებენ ლეროზე (1) (ნახ. 148), ისე, რომ მისი ფეხი (6) ეხებოდეს კუთხოვანას (2). საღვარის გა-



ნახ. 148. ინდიკატორული გადამწოდი: 1—კორპუსი; 1 და 4—ხეია; 3—ლუხა; 5—ხამბარა; 6—ფეხი.



ნახ. 149. ინდიკატორული გადამწოდის ელექტრული სქემა.

კომისას ფეხი (6) (ნახ. 148), რომლის მეორე ბოლოზეც (3) ლუხა არის დამაგრებული, გადაადგილებს გადამწოდს ინდუქციური ხეიების (2 და 4) მიმართ. ლუხასა (3) და ხეიებს (2 და 4) შორის ღრეჩოს შეცვლით, იცვლება აგრეთვე მათი ინდუქტიური წინააღმდეგობაც.

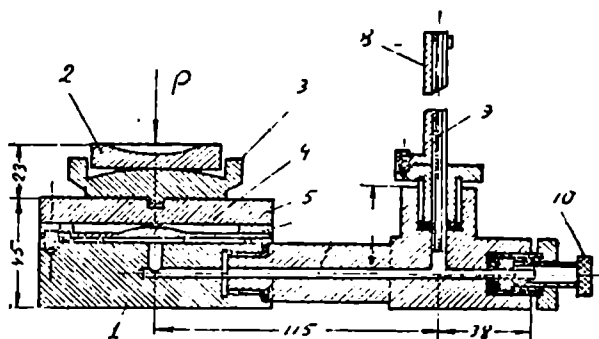
ენიანიდან აღნიშნული ხეიები კმნიან ბოგირს და მხრებს (ნახ. 149), რომელთა შორისაც ღრეჩოს შეცვლით დავარღვიეთ წონას-

წორობა, ამიტომ მათ ნეიტრალურ ხაზში (დიაგონალში) გაჩნდება დენი, რომელიც გამოიწვევს გალვანომეტრის ისრის გადახრას.

ბოგირის დანარჩენი ორი მხარი შექმნილია მკვებავი ინდუქტიური ხეიებისაგან  $K_3$  და  $K_4$ . სქემა იკვებება ცვლადი დენის (220 ბ) ქსელიდან  $K_1$  და  $K_2$  ხეიების გავლით.

სადგარის დეფორმაციის შეწყვეტის შემდეგ გადამწოდის ფეხი (6) ზამბარის (5) (ნახ. 149) საშუალებით კვლავ უბრუნდება პირვანდელ მდგომარეობას და ბოგირის მხრების წონასწორობის აღდგენის შემდეგ გალვანომეტრის (1) ისარი დგება ნულზე.

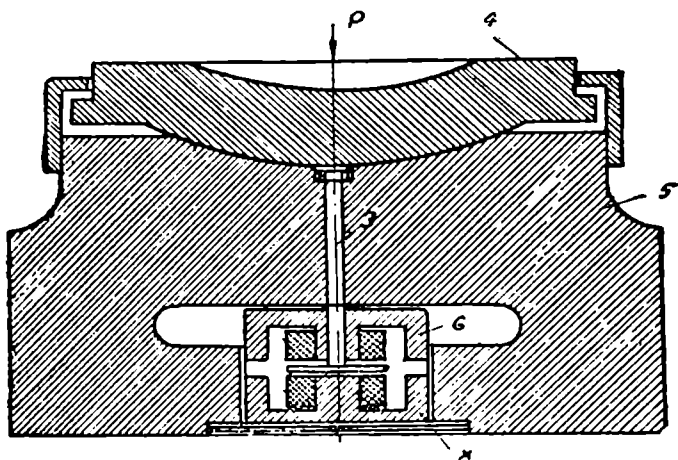
2. ჰიდრაულიკური მესდოზა. ჰიდრაულიკური მესდოზა ყველაზე მოძველებულად ითვლება წნევის გამზომ სხვა ხელსაწყოებთან შედარებით. მისი მოქმედების პრინციპი მეტად მარტივია და ნათლად ჩანს 150-ე ნახ.დან. მესდოზას ათავსებენ დგანის დამწნევი ხრახნის ქვეშ. წნევის სიდიდეს კი გვიჩვენებს დაგრაღულირებული 9 მილში ასული სითხის დონე.



ნახ. 150. ჰიდრაულიკური მესდოზა.

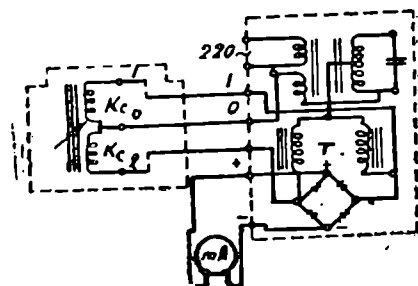
3. ინდუქტიური მესდოზა. მისი მუშაობის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ გარეშე  $P$  ძალის დაწოდებისას (ნახ. 151) კორპუსის (5) ზედა ნაწილი განიცდის დრეკად ლუნვას და ლეროს (3) გადაადგილებს ქვემოთ. ამ ლეროსთან ერთად გადაადგილდება ფოლადის ლუზა (7), ვინაიდან (1) და (2) ხეიებს შორის ღრეჩო მუდმივია, ამიტომ ლუზის (7) გადაადგილებით მივიღებთ ზედა ღრეჩოს გაზრდას ქვედას ხარჯზე. ამის შედეგად ხვიათა თვითინდუქციის კოეფიციენტი და, მაშასადამე, მათი ინდუქტიური წინააღმდეგობაც შეიცვლება, რაც გამოიწვევს  $K_e$  ხეიებში დენის ცვლილებას, რომელიც განიზომება მილიამპერმეტრის ( $mA$ ) საშუალებით.

მესღოზის ელექტროსქემა (ნახ. 152) წარმოადგენს ბოგირს, რომლის მხრებშიც ჩართულია რეაქციული  $K_c$  ხეიები და ძაბვის 110-დან 10 ხ-მდე დამდაბლებული ტრანსფორმატორის  $T$  პირველ-



ნახ. 151. ინდუქციური მესღოზის სქემა.

დი ხეიები. სქემა მგრძნობიარეა ქსელის ძაბვის ცვლილებებისადმი, ამიტომ გამოიყენებენ ძაბვის სტაბილიზატორს  $C$ , რომელიც აგრეთვე ძაბვის (220-დან 110 ხ-ზე) ტრანსფორმატორს წარმოადგენს. დენის გამართველ მოწყობილობას წარმოადგენს კუპროქსი.



ნახ. 152. ინდუქციური მესღოზის ელექტრული სქემა.

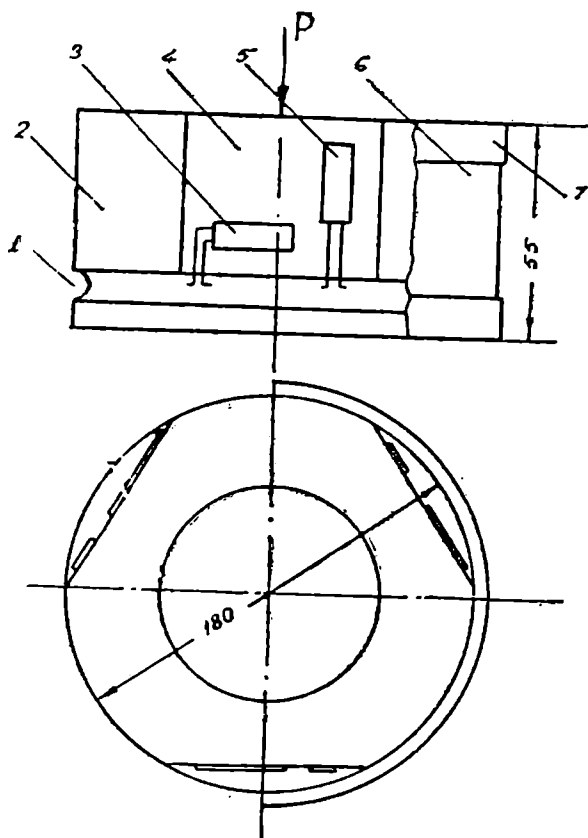
მესღოზის დაგრადუირებას ახდენენ წნეხზე და აგებენ გრადუირების მრუდს; აბსცისაზე გადაზომივენ წნევის ტონებში, ხოლო ორდინატზე დენის ძალას მილიამპერმეტრებში.

4. მავთულის გადამწოდინანი მესღოზა. ამ მესღოზის მოქმედების პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ გარეშე ძალის მოქმედებით ფოლადის კორპუსი (2) (ნახ. 153) განიცდის დრეკად კუბშვას. ეს დრეკადი დეფორმაცია იზომება მავთულის გადამწოდით (3) და

2:0



(5), რომლებიც დაკრულია კორპუსზე და მიერთებულია ელექტრონულ გამზომ ბოგირთან. გადამწოდის წინააღმდეგობის ცვლილება პროპორციული იქნება კორპუსის (2) დეფორმაციისა, ხოლო ეს უკანასკნელი კი მოკმედ  $P$  ძალისა.



ნახ. 153.

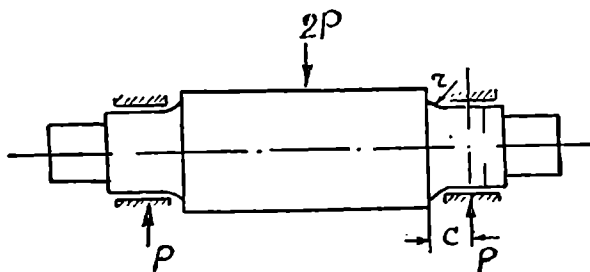
მესდოზა შედგება ფოლადის ცილინდრისაგან (2), რომლის გვერდებიც გარანდულია (სიბრტყე 4) თვითნებულ ამ სიბრტყეზე დაკრულია ორი მავთულის გადამწოდი, ერთი მართობულად (მუშა) (5), ხოლო მეორე თარაზულად (საკონპენსაციო). გადამწოდებს

და მთელ სიბრტყეს ფარავენ საიზოლაციო ფენით. კორპუსი შეხვეულია ასბესტში (6) და შეკრულია სალტეებით (7).

მესღოზის კორპუსის დეფორმაციის რეგისტრაციას ახდენენ სხვადასხვა სახის ელექტრონულ ტენზომეტრებისა და ოსცილოგრაფების საშუალებით.

### § 7. გლინეზზე ლითონის დასაშვები წნევა

ყველი საგლინავი დგანი თავიდან გეგმარდება ამა თუ იმ ტექნოლოგიური პროცესისათვის. მაგრამ ხშირია შემთხვევა, როდესაც დგანის ექსპლოატაციის პროცესში ცვლიან გეგმით გათვალისწინებულ რეჟიმს (მაგალითად, მაღალი სიმტკიცის ფოლადების გლინეზე გადასვლა, თვითეულ გატარებისას მოჭიმვის გაზრდა და სხვა), რაც იწვევს მასზე დატვირთვის გაზრდას. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა გავითვალისწინოთ დგანის სუსტი უბნების წყობილებიდან გამოსვლა, რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მათ გადატვირთვისას.



ნახ. 154.

უმრავლესი საგლინავი დგანების მუშა ნაწილებიდან ყველაზე სუსტ რგოლს წარმოადგენს გლინები, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე და გრეხვაზე ერთდროულად. ღუნვა გამოწვეულია ლითონის წნევით გლინებზე, ხოლო გრეხვა—გლინის ყელზე ამძრავის მხრიდან მოყენებული მომენტი. როგორც გამოანგარიშებები გვიჩვენებს მგრეხავი მომენტი გაცილებით მცირეა, ვიდრე მღუნავი, ხოლო ღუნვისათვის ყველაზე საშიშ კვეთს წარმოადგენს გლინის ყელისა და კასრის გადასვლის კვეთი (ნახ. 154). აქედან გამომდინარე გლინის ყელზე დასაშვები წნევა შეიძლება ჩავთვალოთ დგანის ექსპლოატაციის პროცესში გლინებზე ლითონის შესაძლებელი წნევის კრიტერიუმად. ამ დასაშვები წნევის დადგენისათვის გამოვიყენოთ გლინის ყელის სიმტკიცის პირობიდან, რომელიც განისაზღვრება განტოლებით:

$$P = \frac{W \cdot R_b}{c - r} \quad (137)$$

სადაც  $W = 0,1 d^3$  ყელის წინალობის მომენტი ლუნვაზე;

$R_b$ —დასაშვები ძაბვა;

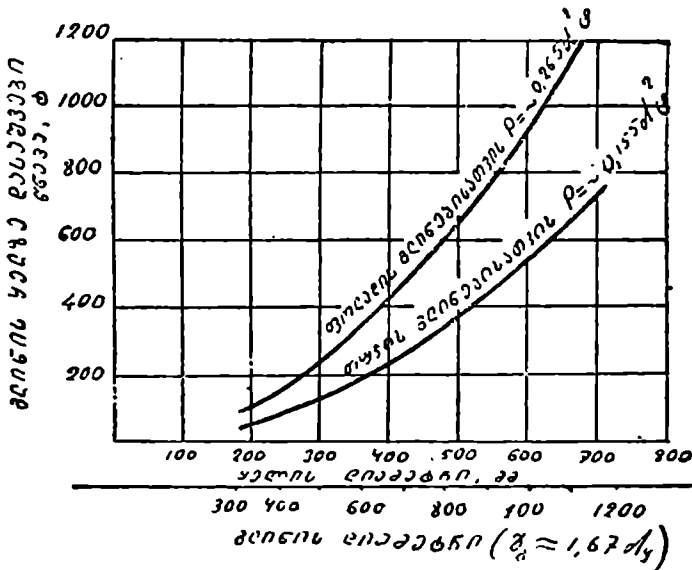
$C$ —მანძილი გლინის ქასრის ნაპირიდან დამწნევი ხრახნის ღერძამდე;

$r$ —ქასრისა და ყელის გადასვლის რადიუსი.

თუ (137) ფორმულაში შემავალ სიდიდეებს:  $W$ ,  $c$  და  $r$  გამოვსახავთ ყელის დიამეტრით, მივიღებთ:

$$P \approx 0,22 d^2 \cdot R_b. \quad (138)$$

(აქ დატულია პრაქტიკაში მიღებული თანათარღობანი:  $c \approx 0,55 d$  და  $r \approx 0,1 d$ ). ლუნვაზე დასაშვები ძაბვა შეადგენს:



ნახ. 155 გლინის ყელის სიმტკიცის მიხედვით დასაშვები მაქსიმალური წნევის განმსაზღვრელი მრუდები.

თუჯის გლინებისათვის

$$R_b = 700 \div 800 \text{ კგ/სმ}^2,$$

ფოლადის გლინებისათვის

$$R_b = 1200 \div 1400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

აქ მივიღებთ თუჯის გლინებისათვის

$$R_0 = 700 \text{ კგ/სმ}^2,$$

დასაშვები ძალა გამოითვლება:

$$P \approx 0,155 \text{ მ}^2, \text{ ტ.} \quad (139)$$

ხოლო სხმული ფოლადისაგან დამზადებულ გლინებისათვის—

$$R_0 = 1200 \text{ კგ/სმ}^2,$$

მაშინ

$$P \approx 0,265 \text{ მ}^2, \text{ ტ.} \quad (140)$$

აქ  $d$  გამოსახულია სმ-ში.

155-ე ნახ-ზე მოცემულია უკანასკნელ განტოლებათა გრაფიკული გამოსახულება, რომელიც ნათელ წარმოდგენას გვაძლევს სხვადასხვა ზომის გლინებისათვის ყელზე დასაშვები ძალის სიდიდეზე.

---

ენიბგინის ხარჯი გლინვის ღროს

§ 1. დეფორმაციის მუშაობა

გლინვის პროცესში ადგილი აქვს ლითონის ნაწილების გრძივ (გამოქიმევა) და განივ (გათართობა) გადაადგილებას, ფასონური პროფილების გლინვისას იცვლება აგრეთვე ლითონის ფორმაც. აღნიშნული მოვლენების განსახორციელებლად იხარჯება გარკვეული მუშაობა, რომელსაც დეფორმაციის მუშაობას უწოდებენ.

დეფორმაციის მუშაობის დასადგენად წამოყენებული იქნა სხვადასხვა ფორმულები. ყველა მათგანი შეიცავს საერთო მამრავლებს  $p$ ,  $V$  და  $k$ :

$$A_1 = pV k, \quad (141)$$

სადაც  $p$  არის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა, კგ/მმ<sup>2</sup>;

$V$ —გასაგლინი ლითონის მოცულობა;

$k$ —დეფორმაციის ხარისხის მაჩვენებელი მამრავლი, რომელსაც სხვადასხვა ავტორები სხვადასხვანაირად გამოსახავენ.

მაგალითად, გ ა ვ რ ი ლ ე ნ კ ო ს ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$A_1 = pV \frac{H-h}{h}. \quad (142)$$

ვ ე რ ე შ ა გ ი ნ ი ს ფორმულას კი:

$$A_1 = pV \frac{H-h}{H}. \quad (143)$$

როგორც ერთი, ისე მეორე არ შეიცავს ლითონის გათართობის მუშაობას.

ფ ი ნ კ ი ს ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$A_1 = pV \ln \frac{H}{h}. \quad (144)$$

ეს ფორმულა ითვალისწინებს ლითონის გაფართოებაზე დახარჯულ მუშაობას, რაც იქიდან ჩანს, რომ:

$$\ln \frac{H}{h} = \ln \frac{B_2 \cdot L_2}{B_1 \cdot L_1} .$$

მოყვანილი ფორმულებიდან ჩანს, რომ დეფორმაციისათვის საჭირო მუშაობა პროპორციულია ლითონის გადაადგილებულ მოცულობისა.

იმისათვის, რომ გლინვის პროცესი განვახორციელოთ საკმარისი არ არის დეფორმაციის მუშაობა ( $A_1$ ), არამედ საჭიროა შევასრულოთ აუცილებელი დამატებითი მუშაობანი, ესენია:

$A_2$ —გლინებში ლითონის ხახუნის გადასალახავი მუშაობა;

$A_3$ —დგანის მოსრიალე ნაწილებში ხახუნის გადასალახავი მუშაობა;

$A_4$ —უქმი სვლის მუშაობა.

ამრიგად, გლინვის სრული მუშაობა ( $A$ ) შედგება შემდეგი ელემენტებისაგან:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (145)$$

გლინებში ლითონის ხახუნის გადასალახავი მუშაობა შეიძლება განისაზღვროს ვერეშ აგინის ემპირიული ფორმულით:

$$A_2 = (40 \div 60) \frac{H-h}{H} L_2 B \sqrt{\Delta h r} \left( 1 + \beta \frac{0.5S - B_1}{B_1} \right), \quad (146)$$

სადაც  $S$  არის კალიბრის პერიმეტრი;

$\beta$ —კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობები სხვადასხვა ფორმის კალიბრებისათვის (ვინოგრადოვის მიერ დადგენილი) მოცემულია მე-9 ცხრილში.

### ცხრილი 9

ქ კოეფიციენტის მნიშვნელობა გლინვის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

კალიბრის ღარები	კოეფიციენტი $\beta$
ცუდად შეესებულნი გაფართოებით	0,5
ბრტყელი თხელი ზოლები	0,5
ბრტყელი სქელი ზოლები იძულებითი გაფართოების გარეშე	1,0
ბრტყელი სქელი ზოლები იძულებითი გაფართოებით (კუთხოვანი რკინა)	2,0
ბრტყელი სქელი ზოლები დახრილი ზედაპირებით (სისქისა და წნევის განაწილებასთან დამოკიდებულებით)	1—2
თაროანი პროფილების გლინვა (სისქის და წნევის განაწილებასთან დამოკიდებულებით)	2—3



რაც შეეხება უქმი სელის მუშაობას ( $A_1$ ) იგი ძირითადად ხახუნის ძალების გადალახვაზე იხარჯება, რომელიც წარმოიქმნება:

- 1) მუშა გლინების საფენებში;
- 2) კბილა უჯრის და რედუქტორის საფენებში;
- 3) მქნევარას საკისურებში და აგრეთვე მაღალი სიჩქარეებისა მქნევარას ჰაერთან შეხებისას.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა მუშა უჯრის უქმი სელისათვის გამოითვლება ფორმულით

$$N_1 = aQ_1f_1 \frac{\pi d_1 n}{60}, \quad (150)$$

სადაც  $Q_1$  არის დგანის მუშა უჯრის მბრუნავი ნაწილების წონა;

$d_1$ —გლინის ყელის დიამეტრი;

$f_1$ —ხახუნის კოეფიციენტი გლინის ყელში;

$a$ —კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გლინების ყელში ბალიშებით მოჭერის გამო სიმძლავრის გაზრდას.

$a$  კოეფიციენტი იცვლება ზღვრებში 1,1-დან 2,0-მდე. მისი მნიშვნელობები სხვადასხვა ტიპის დგანებისათვის მოცემულია მე-10 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 10

დგანის ტიპი	კოეფიციენტი
ბლუმინგი . . . . .	11,1—1,2
რელსსაკოქე . . . . .	1,2—1,3
მსხვილსორტული და სანაშადო . . . . .	1,25—1,4
საშუალო სორტული . . . . .	1,3—1,45
წვრილსორტული ( $\bar{d} > 300$ მმ) . . . . .	1,5—1,7
წვრილსორტული ( $\bar{d} < 300$ მმ) . . . . .	1,6—1,8
მაეთულსაგლინავი . . . . .	1,7—2,0
სქელფურცელსაგლინავი . . . . .	1,1—1,2
თხელფურცელსაგლინავი . . . . .	1,2—1,25

დგანის კბილა უჯრის უქმი სელის სიმძლავრე გამოითვლება:

$$N_2 = Q_2 f_2 \frac{\pi d_2 n}{60}. \quad (151)$$

აქ აღნიშვნები იგივე შინაარსისაა, მხოლოდ კბილა უჯრისათვის მქნევარას უქმი სელის მომენტს ანგარიშობენ:

$$N_3 = Q_3 f_3 \frac{\pi d_3 n}{60} + N^1. \quad (152)$$



მქნევარას ჰაერთან ხახუნის დროს დანაკარგს ანგარიშობენ ემპირიული ფორმულით:

$$N' = 75v^{2.5}D(1+5b^2)10^{-6}, \quad (153)$$

სადაც  $D$  არის მქნევარას დიამეტრი;

$b$ —მქნევარას სალტას სიგანე;

$v$ —მისი წრიული სიჩქარე.

ამრიგად, უქმი სვლის სიმძლავრე ტოლია:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N'.$$

დგანის მუშაობის პროცესში უქმი სვლის მომენტს განსაზღვრავენ ფორმულით:

მულმივი დენის ძრავისას:

$$N = \frac{E_0 I_0 \cdot 102}{1000} \text{ კგმ/სეკ}, \quad (154)$$

სამფაზა დენის ძრავის შემთხვევაში:

$$N = 1,73 \frac{E_0 I_0 \cdot \cos \varphi \cdot 102}{1000} \text{ კგმ/სეკ}, \quad (155)$$

სადაც უქმი სვლისათვის

$$\cos \varphi = 0,2 - 0,3.$$

$E_0$  ძაბვას და  $I_0$  დენის ძალას, იღებენ ძრავის ფარზე არსებულ ხელსაწყოების ჩვენებიდან.

## § 2. მუშაობის ხარჯის განსაზღვრა ცდის მონაცემის მიხედვით

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების მიხედვით მუშაობის ხარჯის განსაზღვრა საკმარისად რთულია და მიღებული შედეგებიც არცთუ ისე ზუსტი, ამის გამო პრაქტიკაში ფართო გავრცელება ჰპოვადლის მონაცემების საფუძველზე მუშაობის ხარჯის განსაზღვრამ.

მოქმედი დგანების მუშაობის გამოკვლევისას მიღებული ცდის შედეგები, ჩვეულებრივ მოცემულია მრუდების სახით, რომელიც გვიჩვენებს ერთ ტონა გაგლინულ პროდუქტიაზე ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულებას საერთო წაგრძელებასთან (ჯამური გამოქიშვა).

156-ე ნახ-ზე მოცემულია ენერგიის ხარჯის მრუდები ბლუმსების გლინვისას. აბსცისის ღერძზე (ლოგარითმული სკალა) გადაზომილია გამოსავალი პროდუქტის ჯამური გამოქიშვა (წაგრძელება), ორდინატზე კი ენერგიის ხარჯი ც. ძ./ტ. ამ გრაფიკის თანახმად ენერგიის ხვედრითი ხარჯი ლითონის ერთი გატარებისას გამოსახება, როგორც ორი  $I_0$  და  $I_1$  ორდინატთა სხვაობა:

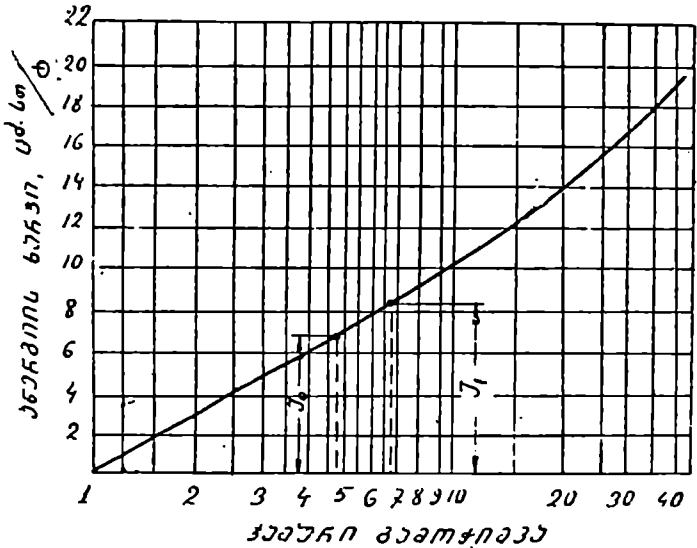
$$I_1 - I_0 \text{ ც. დ. სთ/ტ.}$$

მაშინ აღებული გატარებისას მუშაობის საერთო ხარჯი, გამო-  
სახული კგმ-ში, იქნება:

$$A_0 = 75 \cdot 36000 (I_1 - I_0) Q, \quad (156)$$

სადაც  $Q$  არის გასაგლინი ზოლის წონა, ტ.

უქანსკენელ განტოლება გვაძლევს მუშაობის მთელ ხარჯს,



ნახ. 156. ენერჯიის ხარჯი ბლუმსების გლინვისას.

გარდა უქმი სელის მუშაობისა. ამ მუშაობიდან გამომდინარე საჭი-  
რო სიმძლავრე იქნება:

$$N_0 = \frac{3600(I_1 - I_0)}{t} Q \text{ ც. დ.} \quad (157)$$

სადაც  $t$  არის გლინებს შორის ლითონის გატარების დრო, სეკ.

### § 3. გლინვისათვის საჭირო მომენტები

იმისათვის, რომ განესაზღვროთ საგლინავი დგანის ძრავის სიმ-  
ძლავრე, აუცილებელია ვიცოდეთ, თუ რა მბრუნავი მომენტი უნდა  
განაეითაროს ძრავმა გლინვის მოცემული რეჟიმის დროს. ცნობი-

ლია, რომ ძრავის სიმძლავრესა და მის მბრუნავ მომენტს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$N_{ძრ} = \frac{M_{ძრ} \cdot n_{ძრ}}{0,716}, \quad (158)$$

სადაც  $N_{ძრ}$  არის ძრავის სიმძლავრე, ც. ძ;  
 $n_{ძრ}$  — ძრავის ბრუნვათა რიცხვი წუთში;  
 $M_{ძრ}$  — ძრავის მბრუნავი მომენტი, ტმ.

ამრიგად, (158) ფორმულით ძრავის სიმძლავრის ანგარიშისათვის აუცილებელია პირველ რიგში განისაზღვროს გლინვისათვის საჭირო მბრუნავი მომენტი.

ძრავის ლილვზე მოსული მომენტი, რომელიც საჭიროა საგლინავი დგანის გლინების მოძრაობაში მოსაყვანად, შეიძლება დაეყოთ ოთხ ძირითად სიდიდეებად:

$$M_{ძრ} = M_{გლ} + M_{ხა} + M_{უკ.ს.} + M_{ღი}, \quad (159)$$

სადაც  $M_{გლ}$  არის ძრავის ლილვზე დაყვანილი გლინვის მომენტი, ე. ი. ის მომენტი, რომელიც საჭიროა ლითონის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის და დეფორმაციის პროცესში წარმოქმნილი გარეგანი ხახუნის ძალების გადასალახავად.

$M_{ხა}$  — დამატებითი ხახუნის ძალების მომენტი, ე. ი. მომენტი, რომელიც საჭიროა გადამცემ მექანიზმში და გლინების საკისურებში წარმოქმნილი ხახუნის ძალების გადასალახავად.

$M_{უკ.ს.}$  — უკმ სელის მომენტი, ე. ი. მომენტი, რომელიც საჭიროა უკმ სელაზე მუშაობისათვის.

$M_{ღი}$  — დინამიკური მომენტი, რომელიც საჭიროა გლინების არათანაბარი ბრუნვისას წარმოქმნილი ინერციის ძალების გადასალახავად.

პირველი სამი სიდიდე წარმოადგენს სტატიკურ მომენტს, რომელიც აუცილებელია ნებისმიერ საგლინავი დგანისათვის. დინამიკური მომენტი წარმოიქმნება დგანებში, რომლებიც გლინების არათანაბარი ბრუნვით ხასიათდებიან, მაგალითად: მკნევარიან დგანებში, რევერსიულ დგანებში და სხვა.

სტატიკურ დატვირთვაში სასარგებლოდ ითვლება მხოლოდ გლინვის მომენტი.  $M_{ხა}$  და  $M_{უკ.ს.}$  წარმოადგენს მავნე დატვირთვას. ამრიგად, გლინვის მომენტის შეფარდება მთლიან სტატიკურ მო-

მენტთან წარმოადგენს საგლინავი დგანის მარჯი კმედების კოეფიციენტს

$$\eta_{\text{გა}} = \frac{M_{\text{გა}}}{M_{\text{გა}} + M_{\text{ხა}} + M_{\text{ქ. ს.}}}, \quad (160)$$

რომელიც გლინვის რეეიმისა და დგანის კონსტრუქციისაგან დამოკიდებულებით მერყეობს შემდეგ ზღვრებში:

$$\eta_{\text{გა}} = 0,3 \div 0,9.$$

რაც შეეხება დინამიკურ მომენტს, იგი გამოთვლება ფორმულით:

$$M_{\text{გინ}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \varepsilon, \quad (161)$$

სადაც  $GD^2$  არის ძრავის ლილვზე დაყვანილი დგანის მბრუნავი ნაწილების ინერციის მომენტი;

$\varepsilon = \frac{d\pi}{dt}$  — გლინვის პროცესში ძრავის კუთხური აჩქარება

(დაზმული), რომელიც დგანის ტიპისა და ელძრავის მახასიათებლის მიხედვით იცვლება:

$$\varepsilon = 40 \div 80 \frac{\text{ბრ/წთ}}{\text{სეკ}};$$

$G$  — მბრუნავი ნაწილების წონა;

$D$  — მბრუნავი ნაწილების მასის ინერციის დიამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია ამ ნაწილების ფორმაზე და ბრუნვის ღერძის მდებარეობაზე.

ჩვეულებრივად  $GD^2$ -ს თვითიველ მბრუნავი ნაწილისათვის ცალკე ანგარიშობენ და მათი ჯამი შეაქვთ (161) ფორმულაში.

#### § 4. გლინვის მომენტის განსაზღვრა გლინვაზე წმინდის მიხედვით

ამ მეთოდით გლინვის მომენტის განსაზღვრა ყველაზე უფრო მოსახერხებელია მარტივი პროფილების (ფურცლები, ზოლები, ბლუმები, სლიაბები და სხვა) გლინვისას.

გლინებზე წნევის მიხედვით გლინვის მომენტს განსაზღვრავენ, როგორც წნევისა და მხარის ნამრავს. მაგალითად, გლინვის უბრალო პროცესის დროს (გლინების დიამეტრები ტოლია, ორივე გლინი ამძრავია, სხვა გარეშე ძალა არ მოქმედებს) მომენტი იქნება (ნახ. 157):

$$M = 2 \cdot P \cdot a, \quad (162)$$

ანუ

$$M = P \cdot D \sin \beta. \quad (163)$$

ამ განტოლებაში შემავალი მხარი,  $a$  და  $\beta$  კუთხე, ცხადია უნდა ავიღოთ გლინებზე ლითონის წნევის ტოლქმედის მიყენების წერტილის მიხედვით. პრაქტიკული ანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტით შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი ფარდობით:

1) ცხლად გლინვისას:

$$\beta/a \approx 0,5.$$

2) ცივად გლინვისას:

$$\beta/a \approx 0,35 \div 0,45.$$

$\beta/a = \Psi$  ფარდობას უწოდებენ გლინებზე ლითონის წნევის ტოლქმედის მდებარეობის კოეფიციენტს.

გლინვის მარტივ შემთხვევაში, როდესაც წნევის ტოლქმედი მიმართულია ვერტიკალურად, შეიძლება დავწეროთ:

$$\Psi = \frac{\beta}{a} \approx \frac{a}{l}, \quad (164)$$

სადაც  $a$  არის წნევის ტოლქმედის მხარი;  $l$  — შეტაცების რკალის სიგრძე. მაშინ (164) განტოლების თანახმად:

$$a = \Psi l = \Psi \sqrt{r \Delta h}.$$

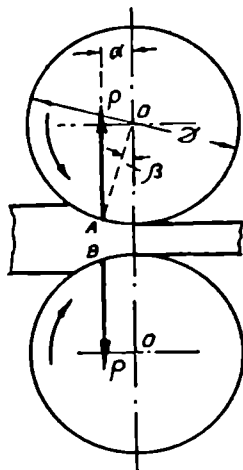
$a$ -ს მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (162) ფორმულაში, მივიღებთ ორივე გლინის ბრუნვისათვის საკირო მომენტის შემდეგ გამოსახულებას:

$$M = 2P \cdot \Psi \sqrt{r \Delta h}. \quad (165)$$

იმისათვის, რომ მივიღოთ გლინვის სრული მომენტი, საკიროა კიდევ დაუმატოთ გლინების საკისურებში ხახუნის ძალების გადალაბვაზე დახარჯული მომენტი (ორივე გლინისათვის), რომელიც ტოლია (ნახ. 158):

$$M_{\text{ხ.ხ.}} = 2P \cdot \rho = 2P \cdot f \cdot d, \quad (166)$$

სადაც  $\rho$  არის ხახუნის წრის რადიუსი;



ნახ. 157. გლინებზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედების მიმართულება გლინვის უბრალო პროცესის დროს.

$f$  — ხახუნის კოეფიციენტი;  
 $d$  — გლინის ყელის დიამეტრი.

ამრიგად, უქმი სელის გარეშე გლინვისათვის საჭირო საერთო მომენტი იქნება:

$$M_{\text{გლ}} = 2P\psi\sqrt{r \cdot \Delta h} + 2Pf \cdot d = 2P(\psi\sqrt{r \cdot \Delta h} + f \cdot d). \quad (167)$$

გლინვის დანარჩენი შემთხვევებისათვის მომენტს ანგარიშობენ შესაბამისი ძალოვანი პირობების მიხედვით [9].

### § 5. გლინვის მოკმინის განსაზღვრა მუშაობის ხარჯის მიხედვით

მთელ რიგ შემთხვევებში მიზანშეწონილია გლინვის მომენტი ვიანგარიშოთ მუშაობის ხარჯის მიხედვით. ამ მეთოდით უმათერესად სარგებლობენ სორტული პროფილების გლინვისას, სადაც საკონტაქტო ფართისა და გლინებზე წნევის განსაზღვრა საკმაოდ რთულდება.

თუ გვეცოდინება გლინვის სრული მუშაობა, ადვილად განესაზღვრავთ მომენტს შემდეგი ფორმულით:

$$M = A \frac{D}{2L}, \quad (168)$$

სადაც  $D$  არის გლინის დიამეტრი;  
 $L$  — გასაგლინი ზოლის სიგრძე.

### § 6. სტატიკური დატვირთვის დიაგრამები

ნახ. 158. გლინებზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედების მიმართულება გლინის უბრალო პროცესის დროს საკისურებში ხახუნის გავლენის მხედველობაში მიღებით.

დგანის ამძრავის ანგარიშისათვის, გარდა თვით დატვირთვის სიდიდისა, საჭიროა აგრეთვე ვიცოდეთ დროის მიხედვით ამ დატვირთვის ცვლილებები, რომელსაც დატვირთვის დიაგრამას უწოდებენ.

დატვირთვის დიაგრამების ასაგებად საჭიროა განისაზღვროს ამძრავის სტატიკური მომენტი გლინვის მთელ პერიოდში და აგრეთვე გატარებათა შორის აუცილებელი პაუზების ხანგრძლიობა.

სტატიკურ დატვირთვის, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ანგარიშობენ განტოლებით:

$$M_{\text{სტ}} = M_{\text{გლ}} + M_{\text{ხახ}} + M_{\text{უქმ}}.$$

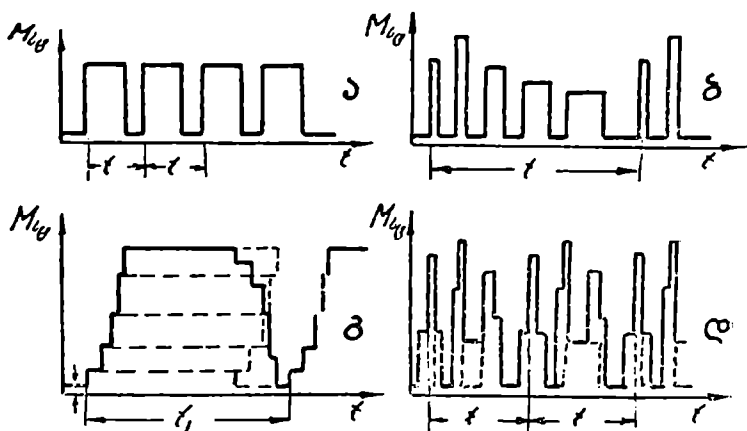
გლინებში ზოლის გატარების ხანგრძლიობას საზღვრავენ ფარდობიდან

$$l = \frac{L}{v}, \quad (169)$$

სადაც  $L$  არის გასაგლინი ზოლის სიგრძე;

$v$  — გლინვის საშუალო სიჩქარე.

გატარებათა შორის პაუზის ხანგრძლიობას იღებენ 1,5-დან 6 სექ-მდე. მას ანგარიშობენ, ან პირდაპირ აიღებენ იმ ოპერაციათა ხანგრძლიობის მიხედვით, რომელიც სრულდება ამ დროს. მაგა-



ნახ. 159. დიაგრამები სხვადასხვა დგანების სტატიკური დატვირთვისას.

ლითად, როლგანვით მიწოდება, გადაბრუნება, გადაცემა ერთი კალიბრიდან მეორეში ანდა სხვა უჯრაში, ზედა გლინის აწევა ან დაშვება, დგანის რევერსირება და სხვ.

დიაგრამას აგებენ ზოლის გლინვის მთელი პერიოდისათვის, დაწყებული გლინებში მიწოდებიდან უკანასკნელ გატარებამდე და ახალი ზოლის მიწოდებამდე. ამ მთლიან პერიოდს უწოდებენ გლინვის რითმს, რომლის შემდეგაც დატვირთვის დიაგრამა კვლავ შეორდება.

159-ე ნახ-ზე მოცემულია სხვადასხვა საგლინავი დგანების ყველაზე დამახასიათებელი სტატიკური დატვირთვის დიაგრამები.

### § 7. მდნევაკას ვაჰლენა ამჰკავის დატვირთვაზე

საგლინავი დგანის ამჰრავის დატვირთვის გასათანაბრებლად მთელ რიგ შემთხვევებში გამოიყენება მქნევაკები.

ამძრავის ლილვზე დატვირთვა, მქნევარას გავლენის მხედველო-  
 ჰაში მიღებით, როგორც ვიცით იანგარიშება:

$$M_{dr} = M_{sb} + M_{ens} = M_{sb} + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}. \quad (170)$$

ძრავის დატვირთვის შემცირებას ექნება ადგილი მაშინ, როცა  
 მისი სიჩქარე დაიწყებს შემცირებას. ამ დროს აჩქარება  $\frac{dn}{dt}$  ხდება  
 უარყოფითი და (170) განტოლების მეორე წევრი, რომელიც დი-



ნამიკურ მომენტს გამოსახავს,  
 იქნება მიწუს ნიშნით. (170)  
 განტოლების გადასაწყვეტად  
 აუცილებელია ვიპოვოთ დამო-  
 კიდებულება ბრუნვათა რიცხვსა  
 და მომენტს შორის. მქნევარას  
 არსებობის შემთხვევაში მეტ-  
 წილად იყენებენ ასინქრო-  
 ნულ ელექტროძრავას, რომლის  
 ბრუნვათა რიცხვიც დატვირ-  
 თვის გაზრდის პროპორციუ-  
 ლად მცირდება (ნახ. 160).

ნახ. 160. ასინქრონულ ელძრავის დატ-  
 ვირთვასა და ბრუნვათა რიცხვს შორის  
 დამოკიდებულება.

$$n = a - bM_{dr}. \quad (171)$$

$a$  და  $b$  მუდმივ სიდიდეებს

პოულობენ ძრავის მახასიათებლებიდან. თუ ნულოვანი დატვირთვი-  
 სას ძრავის ბრუნვათა რიცხვს აღნიშნავთ  $n_0$ -ით (ბრუნვათა სინ-  
 ქრონული რიცხვი) და ნომინალური მომენტის ( $M_{საბ}$ ) ტოლ დატ-  
 ვირთვისას  $n_{საბ}$ -ით, მივიღებთ:

$$a = n_0 \text{ და } b = \frac{n_0 - n_{საბ}}{M_{საბ}},$$

მაშინ (171) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$n = n_0 \left( 1 - \frac{n_0 - n_{საბ}}{n_0} \cdot \frac{M_{dr}}{M_{საბ}} \right). \quad (172)$$

ამ განტოლებაში შემავალ ფარდობას  $\frac{n_0 - n_{საბ}}{n_0}$  უწოდებენ ძრავის

ნომინალურ დატვირთვას და აღნიშნავენ:



$$S_{\text{ნოზ}} = \frac{n_0 - n_{\text{ნოზ}}}{n_0}. \quad (173)$$

ეს სიდიდე დამოკიდებულია ელძრავის მახასიათებლებზე და ტოლია  $3 \div 10\%$ -სა. იგი გვიჩვენებს ბრუნთა რიცხვის ფარდობით შემცირებას (წუთში) დატვირთვის გაზრდისას  $M_{\text{ნოზ}}$ -მდე. (172) განტოლებიდან ვნახულობთ ბრუნთა რიცხვის წარმოებულს

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{S_{\text{ნოზ}}}{M_{\text{ნოზ}}} n_0 \frac{dM_{\text{ძრ}}}{dt}. \quad (174)$$

(170) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$M_{\text{ძრ}} = M_{\text{სტ}} - \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{S_{\text{ნოზ}}}{M_{\text{ნოზ}}} n_0 \frac{dM_{\text{ძრ}}}{dt}$$

ანღა

$$\frac{dM_{\text{ძრ}}}{M_{\text{ძრ}} - M_{\text{სტ}}} = - \frac{375 M_{\text{ნოზ}}}{GD^2 n_0 S_{\text{ნოზ}}} \cdot dt \quad (175)$$

თუ მუდმივ სიდიდეს აღვნიშნავთ

$$\frac{GD^2 n_0 S_{\text{ნოზ}}}{375 M_{\text{ნოზ}}} = T$$

მივიღებთ მქნევარიან ამძრავის ძირითად დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{dM_{\text{ძრ}}}{M_{\text{ძრ}} - M_{\text{სტ}}} = - \frac{1}{T} dt. \quad (176)$$

ამ განტოლებაში შემავალი  $T$  სიდიდე დამოკიდებულია მქნევარას ზომებზე და ძრავის მახასიათებლებზე, მას უწოდებენ მოტორ-მქნევარას ინერციის მუდმივას.  $T$  სიდიდეს აქვს დროის განზომილება და წარმოადგენს ნომინალური დაცურებისა და მქნევარას გაქანების დროის ნამრავლს. მქნევარას გაქანების დროდ ითვლება ის პერიოდი, რომელიც საჭიროა მისი უძრავობის მდგომარეობიდან კინეკრონულ რიცხვამდე ( $n_0$ ) ბრუნვის განვითარებისათვის. ამავე დროს დაცულია პირობა, რომ გაქანების მთელ პერიოდში ძრავი ანვითარებს ნომინალურ ( $M_{\text{ნოზ}}$ ) მომენტს, ხოლო სტატიკური დატვირთვა არ არსებობს.

(176) განტოლების გაინტეგრალებით მივიღებთ:

$$\ln(M_{\text{ძრ}} - M_{\text{სტ}}) = - \frac{t}{T} + C \quad (177)$$

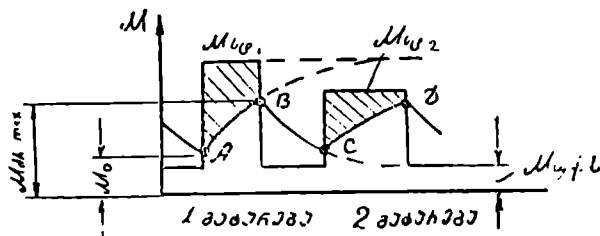
მუდმივ სიდიდეს  $C$  ვპოულობთ საწყისი პირობებიდან, მივიღებთ რა, რომ  $t=0$ :

$$M_{\text{სტ}} = M_0,$$

მაშინ მივიღებთ გაშის განტოლებას:

$$M_{\text{სტ}} = M_{\text{სტ}} - (M_{\text{სტ}} - M_0) e^{-\frac{t}{T}}. \quad (178)$$

ეს განტოლება გვიჩვენებს, რომ ამძრავის მომენტის ცვლილება წარმოებს ექსპონენციალური მრუდის სახით, რომლის ასიმპტოტსაც წარმოადგენს  $M_{\text{სტ}}$ -ის ტოლ მანძილზე გამავალი დროის.



სახ. 161. მქნევარიანი ამძრავის დატვირთვა.

დერძის პარალელური ხაზი (სახ. 161). რაც მეტია მქნევარა მომენტი, მით მდორედ მიემართება აღნიშნული მრუდი (სახ. 162, წყვეტილი ხაზი.).

ამძრავის უქმი სვლის პერიოდისათვის, როცა  $M_{\text{სტ}} = M_{\text{სტს}}$  და  $M_0 > M_{\text{სტს}}$ .

(178) განტოლება იღებს სახეს:

$$M_{\text{სტ}} = M_{\text{სტს}} + (M_0 - M_{\text{სტს}}) \cdot e^{-\frac{t}{T}}. \quad (179)$$

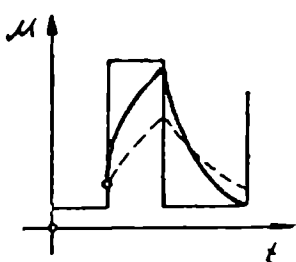
ამრიგად, მიღებული განტოლებით შეიძლება აიგოს დატვირთვის დიაგრამები ყველა გატარებისა და პაუზისათვის.

გატარებათა დიდი რიცხვის შემთხვევაში დიაგრამების აგება საკმარის დროს გვართმევს. სამუშაოს გამარტივების მიზნით ცელიკოვი იძლევა მრუდების თარგით (შაბლონით) აგების ხერხს. თარგის კონტურს (დატვირთვის დიაგრამის მასშტაბში) აგებენ განტოლებით:

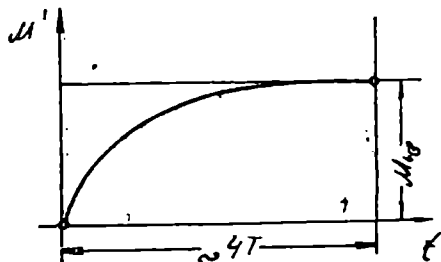
$$M' = M'_{\text{სტ}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (180)$$

სადაც  $M'_{სტ}$  არის სტატიკური მომენტი, რომელიც დაახლოებით ტოლია  $M_{სტ}$ -ს.

თარგის აგებისას დროის მნიშვნელობებს იღებენ  $t=0$ -დან  $t=4T$ , რომლის შემდეგაც მრუდი პრაქტიკულად ემთხვევა ასიმპ-

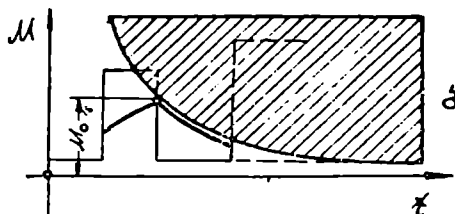
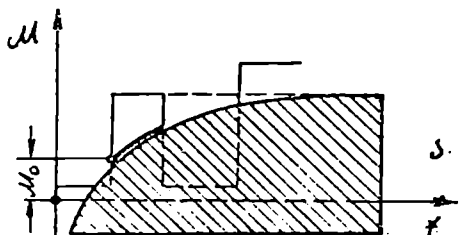


ნახ. 162. ამძრავის დატვირთვა მოტორ-მქნევეარას ინერციის მუდმივას სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.



ნახ. 163. თარგის (შაბლონის) უბრალო მრუდი.

ტოტს (ნახ. 163). მრუდების თარგის აგებისას იქცევიან შემდეგნაირად: სტატიკური დატვირთვის დიაგრამას დაადებენ წინასწარ-



ნახ. 164. დატვირთვის დიაგრამის გამოსახვა თარგის მიხედვით.

მიღებულ თარგს, ისე, რომ იგი შეეხოს  $M=M_0$  წერტილში, მის ასიმპტოტს კი დაამთხვევენ დროის ღერძის პარალელურ ხაზს, რო-

მელოც გადის სათავედან  $M_{13}$  მანძილზე. ზოლის გატარების ან პაუზის ზღვრებში, თარგით შემოვლებული მრუდები, მოგვეცემს დატვირთვის დიაგრამის შესაბამის უბნებს (ნახ. 164).

**§ 8. ამძრავის დატვირთვა მუშაობის რეჟიმის დროს**

მუშაობის რევერსიული რეჟიმის დროს, გლინების მიერ გასაგლინი ლითონის შეტაცება წარმოებს დაბალი სიჩქარეებისას. შემდეგ გლინების ბრუნვის სიჩქარე მატულობს, ხოლო გატარების ბოლოს კვლავ მცირდება. ამრიგად, გლინებში ლითონის გატარება შედგება სამი პერიოდისაგან: გაქანება, დამყარებული სიჩქარე და დამუხრუქება (ნახ. 165).

თუ პირველ და მესამე პერიოდში ძრავის აჩქარებებს აღვნიშნავთ  $\epsilon_3$  და  $\epsilon_6$ , მაშინ ამძრავის მომენტი თვითეული ამ პერიოდისათვის იქნება:

$$1) \text{ გაქანების დროს } M_3 = M_{13} + \frac{GD^2}{375} \epsilon_3. \quad (181)$$

$$2) \text{ დამყარებული სიჩქარისას } M_6 = M_{16}.$$

$$3) \text{ დამუხრუქებისას } M_{63} = M_{13} - \frac{GD^2}{375} \epsilon_6. \quad (182)$$

$\epsilon_3$  და  $\epsilon_6$  აჩქარებათა მნიშვნელობები დამოკიდებულია ელძრავის მახასიათებლებზე და მისი მართვის სქემაზე. დიდ საგლინავ დგანებში, მაგალითად, ბლუმინგებში ეს აჩქარებები იღება ზღვრებში:

$$\epsilon_3 \approx 30 \div 40 \frac{\text{ბრ/წთ}}{\text{სეკ}} \quad \text{და} \quad \epsilon_6 \approx 60 \div 80 \frac{\text{ბრ/წთ}}{\text{სეკ}}.$$

რევერსიული დგანების წარმადობის გაზრდის მიზნით ცდილობენ კიდევ უფრო გაზარდონ ამ აჩქარებათა მნიშვნელობები.

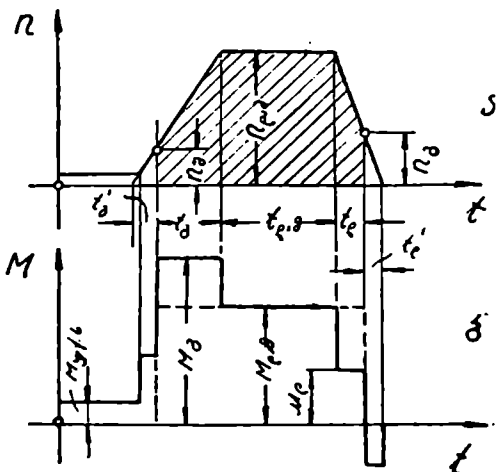
განესაზღვროთ დატვირთვის თვითეული პერიოდის ხანგრძლიობა. გაქანების, დამყარებული სიჩქარისა და დამუხრუქების დროები შესაბამისად აღვნიშნოთ  $t_3$ ,  $t_{63}$  და  $t_6$ . გატარების საერთო დრო იქნება:

$$t = t_3 + t_{63} + t_6.$$

გვეცოდინება რა გლინების ბრუნვათა რიცხვი შეტაცების, დამყარებული სიჩქარის და გამოსვლის დროს  $n_3$ ,  $n_{63}$ ,  $n_6$ -ს. განესაზღვრავთ  $i_3$  და  $i_{63}$ .

$$t_3 = \frac{n_{ლაპ} - n_3}{\varepsilon_3} \text{ და } t_4 = \frac{n_{ლაპ} - n_{გაპ}}{\varepsilon_4}$$

სიჩქარის დამყარებული პერიოდის ხანგრძლიობა დამოკიდებულია გასაგლინი ზოლის სიგრძეზე ( $L$ ). თუ შევნიშნავთ, რომ 165-ე ნახ-ზე მოცემული დიაგრამის დაშტრიხული ფართი რალაც მას-



ნახ. 165. მუშაობის სვერსიული რეჟიმის დროს ზოლის გატარებისას ამტრავის დატვირთვა (ბ) და გლინვის სიჩქარე (ა).

შტაბში შეესაბამება გასაგლინი ზოლის სიგრძეს, მაშინ შევადგენთ განტოლებას:

$$L = \frac{\pi D}{60} \left( \frac{n_3 + n_{ლაპ}}{2} t_3 + n_{ლაპ} \cdot t_{ლაპ} + \frac{n_{ლაპ} + n_{გაპ}}{2} t_4 \right); \quad (183)$$

სადაც  $D$  არის გლინის მუშა დიამეტრი.

აქედან ვსაზღვრავთ დამყარებული, სიჩქარის პერიოდის ხანგრძლიობას:

$$t_{ლაპ} = \frac{60L}{\pi D n_{ლაპ}} - \frac{1}{n_{ლაპ}} \left( \frac{n_3 + n_{ლაპ}}{2} t_3 + \frac{n_{ლაპ} + n_{გაპ}}{2} t_4 \right). \quad (184)$$

უკმი სვლის დროს გაქანების და დამუხრუქების დრო იქნება:

$$t_{3-უკმ} = \frac{n_3}{\varepsilon_3} \text{ და } t_{4-უკმ} = \frac{n_{გაპ}}{\varepsilon_4}$$

§ 9. გლინის მაქსიმალური მომენტის განსაზღვრა  
ამპრაჰის მიხედვით

საგლინავი დგანის მთავარი ხაზის დეტალების სიმტკიცეზე ანგარიშს აწარმოებენ მაქსიმალური მბრუნავი მომენტის მიხედვით. თუ გვეცოდინება ძრავის ნომინალური მბრუნავი მომენტი ( $M_{\epsilon}$ ), მაშინ სხვადასხვა ელძრავებისათვის გადატვირთვის დასაშვები კოეფიციენტიდან გამომდინარე, მაქსიმალური მბრუნავი მომენტი იქნება:

1. რევერსიულ ელექტროძრავებისათვის:

$$M_{max} = (2,5 \div 3) M_{\epsilon}$$

2. არარევერსიული ელექტროძრავებისათვის:

$$M_{max} = (1,5 \div 2) M_{\epsilon}$$

მქნევარას არსებობის შემთხვევაში მაქსიმალური მომენტის პრაქტიკულ ანგარიშს ახდენენ დამოკიდებულებით

$$M_{max} = (4 \div 6) M_{\epsilon}$$

სხვადასხვა საგლინავი დგანების ლილვზე დასაშვები მაქსიმალური მბრუნავი მომენტების პრაქტიკულ სიდიდეებზე წარმოდგენას გვაძლევს ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი (ცელიკოვის მიხედვით).

ცხრილი 11.

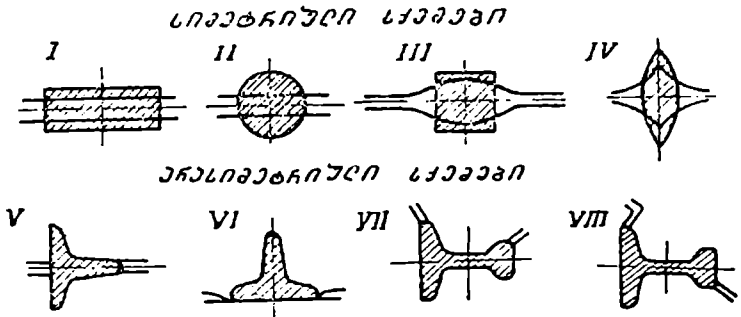
დგანის დასახელება	გლინის კასრის ზომა, მმ		$M_{max}$ ტ. მ.
	დიამეტრი	სიგრძე	
1	2	3	4
ბლუმინგი (განიერთაროიან კოჭების საგლინავად)	1350		500—550
სლაბინგი	1100		400—450
ბლუმინგი	1000—1150		300—380
	850—400		150—200
სქელფურცელსაგლინი		3300—3500	250—550
საშუალოფურცელსაგლინი		2200	120—150
რელს-საკოჭე	750—800		≈ 150
მსხვილსორტული	650—700		80 - 100
	500—600		40—65
საშუალოსორტული	450		25—30
	350		≈ 12
წვრილსორტული	300		≈ 8
წვრილსორტულ-მავთულსაგლინი	250		≈ 4

თავი მათე

დეფორმაციის უთანაბრობა გლინვის დროს

გლინვის ზოგად თეორიაში მრავალი შემთხვევებისათვის გლინვის პროცესს იხილავენ ზოლის თანაბარი მოქიშვის პირობებში (სქემა ი. მ. პავლოვის მიხედვით). სინამდვილეში მართკუთხოვანი ზოლების ცილინდრულ გლინებში გლინვის დროსაც კი ადგილი აქვს არათანაბარ მოქიშვას.

დეფორმაციის უთანაბრობა გლინვისას შეიძლება განპირობებული იყოს: გლინების მუშა ზედაპირის არაცილინდრული მოხაზუ-



ნახ. 166. გლინვის სხვადასხვა შემთხვევების კლასიფიკაცია ი. მ. პავლოვის მიხედვით.

ლობით (ცილინდრული კასრის ჩალუნვა და რადიალური კუმშვა, კასრის გახურების გავლენა, რთული მოხაზულობის კალიბრებში გლინვა), გასაგლინავი ზოლის არათანაბარი კვეთით და ამ ფაქტორების ერთდროული მოქმედებით (გლინვა სქემით ოვალი-კვადრატი და სხვ.).

გლინვის სხვადასხვა შემთხვევები კლასიფიცირებულია პავლოვის მიერ (ნახ. 166). გარდა ნაჩვენებისა არსებობს კიდევ ძალიან ბევრი სხვა შემთხვევებიც, რომლებიც შეიძლება მივაკუთნოთ გლინვის ამა თუ იმ ტიპურ სქემას.

დეფორმაციის უთანაბრობა გამოწვეულია აგრეთვე დასამუშავებელი ლითონის პლასტიკური თვისებების არაერთგვაროვნებით. ასეთი უთანაბრობის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს: ზოლის ცალკეული ზონების ქიმიური შედგენილობის სხვადასხვაობა, ზოლის კვეთზე ტემპერატურის არათანაბარი განაწილება, დაძაბულობის სქემა და სხვ.

პრაქტიკაში ჩვეულებრივად გვაქვს რამდენიმე ფაქტორი, რომლებიც იწვევენ დეფორმაციის უთანაბრობას, ამასთან მათი მოქმედება ჯამდება.

გლინვის დროს არათანაბარი დეფორმაციის თეორია პირველად დამუშავებული იქნა ზოლის სივანეზე არათანაბარი მოქიმივებისათვის (ვ. ტაფელი); გვიან განხილული იქნა გლინვის პროცესში ზოლის სიმაღლეზე მიმდინარე მოვლენები, რომლებიც დაკავშირებულია წინა შემთხვევასთან და გამოყვანილია საერთო დასკვნები (ი. მ. პავლოვი). ძირითად ფაქტორს ყოველნაირი არათანაბარი დეფორმაციისათვის წარმოადგენს ზოლის ცალკეული ნაწილების ურთიერთ გავლენა, რაც განპირობებულია მათ შორის უშუალო კავშირისა და დეფორმაციის კერის გარეთ მდებარე „ხისტი“ ბოლოების არსებობით. უკანასკნელი ორი ფაქტორის გამორიცხვის შემთხვევაში, მოცემულ ზონაში მოქიმივის შესაბამისად ეს ცალკეული ნაწილები მიიღებდნენ სათანადო „ბუნებრივ“ გამოქიმივებს. სინამდვილეში ბუნებრივი გამოქიმივების ვათანაბრების შედეგად ზოლი ღებულობს განსაზღვრული სიდიდის საშუალო გამოქიმივას (ნახ. 81).

დიდი მოქიმივების ზონაში გამოქიმივა მცირდება გრძივი მიმართულებით მკუმშავი ძაბვების მოქმედების შედეგად და განივი მიმართულებით ლითონის დენადობის გაძლიერებით („იძულებითი გაფართოება“).

შემცირებული მოქიმივების ზონაში გამოქიმივა იძულებით იზრდება (ბუნებრივ გამოქიმივასთან შედარებით) გრძივი მიმართულებით გამჭიმავი ძაბვების მოქმედებისა და განივი მიმართულებით ლითონის დენადობის შესუსტების შედეგად (ამ ზონაში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს უარყოფით გაფართოებასაც კი, რასაც იძულებით „შევიწროებას“ უწოდებენ).

იძულებითი გაფართოებისა და იძულებითი შევიწროების მოვლენები განსაკუთრებით მკვეთრად ვლინდება ფასონურ კალიბრებში. გლინვისას. ეს საკითხი განხილულია მოცემული წიგნის მესამე ნაწილში.

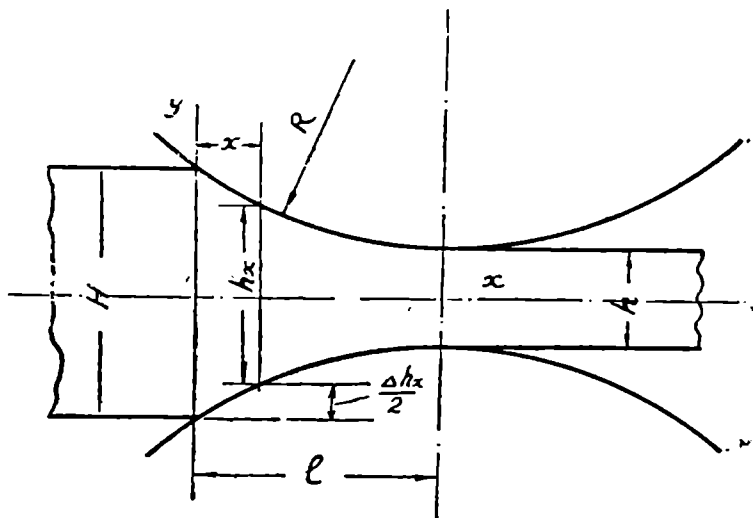
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, არათანაბარ დეფორმაციას



ადგილი აქვს არა მარტო გასაგლინავე ზოლის სიგანეზე, არამედ მის სიმაღლეზეც.

გასაგლინავე ზოლის სიმაღლეზე დეფორმაციის არათანაბარი განაწილება მიიღება იმიტომ, რომ სიმაღლეზე ლითონის სხვადასხვა ფენებში გვაქვს დეფორმაციის წინააღობის სხვადასხვა მნიშვნელობანი. აღნიშნული მოვლენის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს ზოლის კვეთზე ტემპერატურის არათანაბარი განაწილება, ზედაპირული ცივანკელობა, ლიკვაცია, ხელოვნური ფენების შექმნა—ბიმეტალი, გარეგანი ხახუნის ძალების მოქმედება და სხვ.

ზოგად შემთხვევაში გლინვის დროს ადგილი აქვს მოცულობით დეფორმაციას, ამასთან მაქსიმალურია დეფორმაცია სიმაღლეზე.



ნახ. 167. აბსოლუტური მოკიმვის ცვლილება დეფორმაციის კერის სიგრძეზე.

დეფორმაციის კერის სიგრძის სხვადასხვა უბნებზე მოკიმვის ინტენსიობა სხვადასხვაა. ზოლის აბსოლუტური მოკიმვის ზრდის ინტენსიობას განსაზღვრავს იარაღის გეომეტრია. ზოლის გლუვ კასრებზე გლინვისას აბსოლუტური მოკიმვის მნიშვნელობა დეფორმაციის კერის სიგრძის ნებისმიერ წერტილში შეიძლება ასე დაიწეროს (ნახ. 167):

$$\Delta h_x = \Delta h - (h_x - h_1),$$

ვინაიდან

$$h_x - h_1 = \frac{(l-x)^2}{r} = \frac{l^2}{r} = \frac{l^2}{r} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 = \Delta h \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2,$$

ამიტომ

$$\Delta h_x = \Delta h \left[ 1 - \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \right]. \quad (185)$$

---

## თავი მეთერთმეტი

### მიღების გლინვის თეორიის საფუძვლები

#### § 1. განივი და ირიბი გლინვა

ფოლადის ცხლადნაგლინი უნაკერო მიღების წარმოების ძირითად ტექნოლოგიურ ოპერაციებს წარმოადგენს ნამზადიდან ან სხმულიდან მასრის მიღება, ხოლო შემდეგ მასრიდან მილის მიღება. ამ უკანასკნელი ოპერაციის სახე განსაზღვრავს მილის წარმოების ხერხს.

მასრიდან მილის მიღების სახეებზე, ანუ მიღების წარმოების სხვადასხვა ხერხებზე საუბარი გვექნება შრომის ტექნოლოგიურ ნაწილში. აქ განვიხილავთ ნამზადიდან ან სხმულიდან მასრის მიღების პროცესის, ანუ განლრუების თეორიულ მხარეს. აგრეთვე მასრიდან მილის მიღების ყველაზე გავრცელებულ ავტომატურ და პილიგრიმულ პროცესებს.

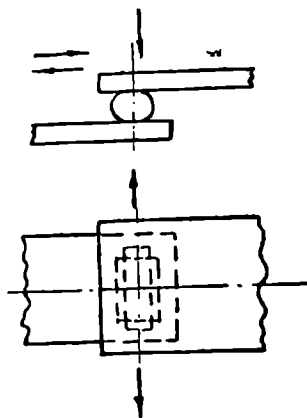
მიღების წარმოებაში ნამზადის (სხმულის) განლრუება ძირითადად წარმოებს განმალრუებელ დგანებზე, რომელთა მოქმედების პრინციპი ემყარება ირიბი გლინვის პროცესს.

რას წარმოადგენს ირიბი გლინვა?

დეფორმაციის კერაში ლითონის გადაადგილების ხასიათის მიხედვით გლინვის არსებული ხერხები შეიძლება დავყოთ შემდეგ სახეებად:

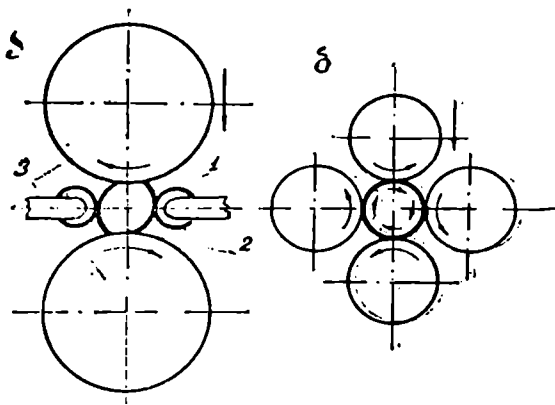
1. გრძივი გლინვა;
2. განივი გლინვა;
3. ირიბი გლინვა.

გრძივი გლინვა ხასიათდება მადეფორმირებელი ზედაპირის მოძრაობის მიმართულებისა და დეფორმირებული ლითონის ძირითადი დინების თანმთხვევით.



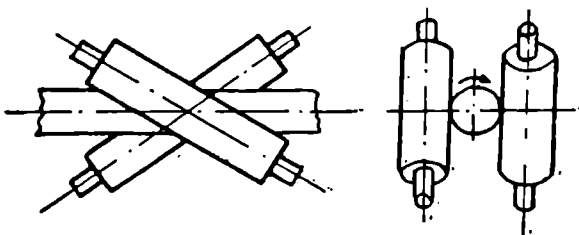
ნახ. 168. ბრტყელ ფილებს შორის განივი გლინვის სქემა.

განივი გლინვა ხასიათდება იმით, რომ ლითონის ძირითადი დინება ხდება მადეფორმირებელი ზედაპირის მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულად. ეს ზედაპირები შეიძლება იყოს ბრტყელი (ნახ. 168), პროფილირებული ანდა ორი ან რამდენიმე გლინის ზედაპირი (ნახ. 169).



ნახ. 169. განივი გლინვის სქემები: ა—ორგლინიანი; 1—ნამზადი; 2—მიმმართველი; 3—გლინი; ბ—ოთხ-გლინიანი.

ირიბ გლინვას (ნახ. 170) უჭირავს შუალედური ადგილი გრძივსა და განივ გლინვას შორის. ამ დროს ლითონის წაგრძელება ხდება.



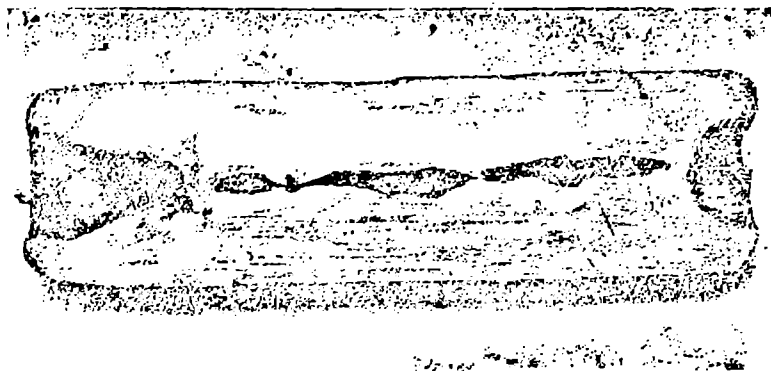
ნახ. 170. ირიბი გლინვის სქემა.

მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მოძრაობის მიმართ გარკვეული  $\alpha$  კუთხით, რომელიც ძევს 0-სა და  $90^\circ$  შორის. ირიბი გლინვა იქცევა გრძივად, როცა  $\alpha = 0^\circ$ , ხოლო განივად, თუ  $\alpha = 90^\circ$ .

ირიბი გლინვის დგანებში ეს კუთხე ჩვეულებრივად ტოლია  $79-87^\circ$ , ე. ი. საკმარისად ახლოა  $90^\circ$ -თან, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ირიბი გლინვა თავისი ხასიათით ახლოსაა განივ გლინვასთან.

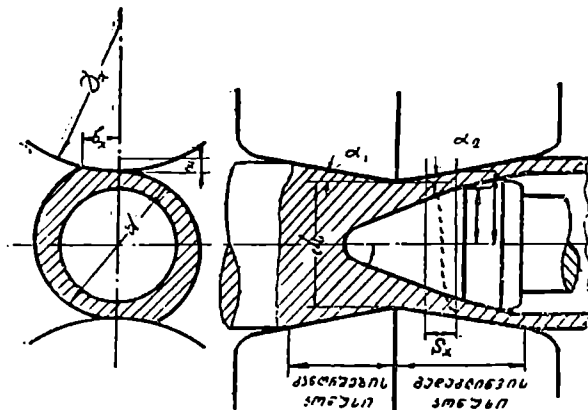
რა თქმა უნდა ირიბ გლინვას მცირედ, მაგრამ მაინც ახასიათებს გრძივი გლინვის ზოგიერთი თვისებებიც.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ განივი ანდა ირიბი გლინვის



ნახ. 171. სამართულის გარეშე გაგლინული ნამზადის გრძივი კრილი.

დროს ადგილი აქვს ნამზადის (სხმულის) ღერძული ნაწილის ნგრე-  
ვას (ნახ. 171), ე. ი. მთლიანი ცილინდრული ფორმის ნამზადიდან



ნახ. 172. დეფორმაციის კერა ირიბი გლინვისას.

ვლენებულთ ღრუ ნამზადს ანუ მასრას და იმისათვის, რომ ამ მას-  
რის შიგნითა ზედაპირი უსწორმასწორო არ იყოს, იყენებენ სპე-  
ციალურ ინსტრუმენტს, რომელსაც სამართულს უწოდებენ. სამარ-

თულის მდებარეობა და დეფორმაციის კერის სქემა მოცემულია 172-ე ნახ-ზე.

ირიბი გლინვის მახასიათებელია აგრეთვე ის, რომ გლინვის ერთმანეთთან გარკვეული კუთხით განლაგება განაპირობებს დეფორმაციის კერაში ლითონის დინებას. განლრუებისას ლითონზე მოქმედ ძალებზე საუბარი გვექნება პროცესის კინემატიკის განხილვისას.

მიუხედავად იმისა, რომ განივ გლინვას უკვე 70 წელია კრაც ნამზადთა განლრუებისათვის იყენებენ, დღემდე ჯერ კიდევ საკმარისად არ არის შესწავლილი სილრუვის წარმოქმნის ბუნება. ეს ძირითადად უნდა აიხსნას თვით განლრუების პროცესის სირთულითა და მისი შესასწავლი ექსპერიმენტების დაყენების სიძნელით.

## § 2. სილრუვის წარმოქმნის ფორმირებითი თეორიები და მოკლე მიმოხილვა

ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებიდან ერთ-ერთ ყველაზე რთულ პროცესს წარმოადგენს განივი გლინვა, რომელიც საფუძვლად უდევს უნაკერო მთლიანნაგლინი მილების წარმოებას.

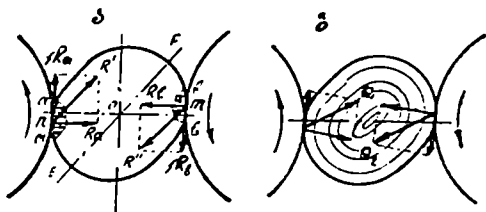
პროცესის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ცილინდრული ფორმის ლითონის ნამზადზე დიამეტრალურად მოქმედებენ გარეშე მკუმშავი ძალები და ლითონი განიცდის თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვას. ამის მარტივ მაგალითს წარმოადგენს ორ პარალელურ ფილებში ცილინდრული ნამზადის გლინვა, სადაც ერთ-ერთი ფილა (მუშა ინსტრუმენტი), ასრულებს წინსვლით-უკუხსვლით მოძრაობას, ხოლო ნამზადი კი თანდათან მოიქიმება (ნახ. 168). როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ძალთა ასეთი მოქმედების შედეგად ჩვენ ვაშჩნევთ ლითონის ცენტრალური (ღერძული) ნაწილის ნგრევას და მნიშვნელოვანი სილრუვის წარმოქმნასაც.

ამ მოვლენამ მისი შემჩნევისთანავე მკვლევართა ფართო მასის ყურადღება მიიპყრო. ამჟამად ჩვენ ვხვდებით, როგორც საზღვარგარეთელი ისე საბჭოთა მკვლევართა მრავალ შრომებს მიძღვნილს აღნიშნული საკითხისადმი.

აღსანიშნავია აგრეთვე ის გარემოება, რომ პროცესის არსი დღემდე საბოლოოდ არ არის დადგენილი და რიგი მკვლევარებისა ერთმანეთის დიამეტრალურად საწინააღმდეგო დასკვნებსაც კი იძლევა. ყველა შეხედულებანი ძირითადად შეიძლება ორ მიმდინარეობად დავეყოთ, რომელთაგანაც პირველნი სილრუვის წარმოქმნის მექანიზმს ხსნიან მხები ძაბვების მოქმედების შედეგად (ღერძულ არეში ინტენსიური დეფორმაციის შედეგად). ამ თეორიის მომხრენი ძირით-

თადად საზღვარგარეთელი მკვლევარებია. მეორენი კი, რომელთა ძირითადი შეხედულებანი გამოხატულია პროფ ვ. ს. სპირნოვის შრომებში, სილრუვის წარმოქმნას უკავშირებენ ნორმალური ძაბვების მოქმედებას (ღერძულ არეში დეფორმაციის განვითარების გარეშე).

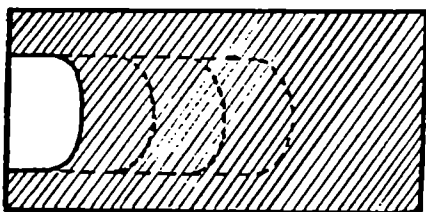
მას შემდეგ რაც ლითონების წნევით დამუშავების ზემოთ აღნიშნული პროცესი გერმანელი ძმების რეიჩხოლდისა და მაქსი მანესმანების მიერ გამოყენებულ იქნა მთლიანნაგლინი მიღების მისაღებად (რისთვისაც მათ 1885 წელს პატენტი მიიღეს), უდიდესი ინტერესი გამოიწვია თანამედროვეობაში. ბევრი შეეცადა თავისებური მეცნიერული დასაბუთება მიეცა აღნიშნული



ნახ. 173. ძალთა მოქმედების სქემა (ტორკი).

პროცესისათვის, რომელმაც ნამდვილი რევოლუცია მოახდინა მიღების წარმოებაში.

1888 წელს ჟურნალში—„გერმანულ ინჟინერთა კავშირი“ (*VDI*),



ნახ. 174.

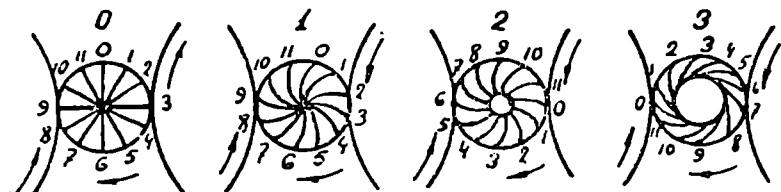
პირველად იბეჭდება განივი გლინვის თეორიისადმი მიძღვნილი ტორკის სტატია. ტორკი სილრუვის წარმოქმნას ხსნიდა ინტენსიური ძვრის შედეგად, რომელიც მაქსიმალურია  $EF$  კვეთში (ნახ. 173), რაც გამოწვეულია ნორმალური ( $R_a$ ,  $R_b$ ) და ფრიკციული ძალებით ( $fR_a$  და  $fR_b$ ).

1890 წლის 8 აპრილს ბერლინის უმაღლეს ტექნიკურ სკოლაში ირიბი გლინვის პროცესის არსის შესახებ მოხსენებით გამოდის ცნობილი გერმანელი მექანიკოსი ფრანც რელო, რომელმაც უ. წ. „გარსის გახდის“ თეორია ჩამოაყალიბა.

რელოს აზრით სილრუვის წარმოქმნის მიზეზი არის გლინების მხრიდან მოქმედი ფრიქციული ძალები, რომელთა გავლენითაც ნამზადი (ან სხმული) ლებულობს წინსვლით—ბრუნვით მოძრაობას.

ამ ფრიქციული შემტაცი ძალების გამო ნამზადის თავი ჩაღრმავებულ ფორმას ლებულობს. ეს ძაბრისებრი ჩაღრმავება შემდგომ გლინვისას თანდათანობით იზრდება სიგრძეში და შედეგად ვლებულობთ თითქოს ნამზადი იხდიდეს თავის გარსს.

როგორც შემდგომმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა სილრუვე შეიძლება მიღებული იქნეს პარალელურ ცილინდრულ გლინებშიც და აგრეთვე განივი ქედვის დროსაც, სადაც ყოველგვარი ფრიქციული ძა-



ნახ. 175. სილრუვის წარმოქმნის პროცესის სქემა (გრუბერი).

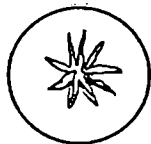
ლები გამოირიცხებულია. ამის გამო რელოს თეორიამ გავრცელება ვერ ჰპოვა.

გრუბერი სილრუვის გაჩენას უკავშირებს ნამზადის გრეხვას, რომელსაც ადგილი აქვს ირიბი გლინვის დროს დეფორმაციის კერაში. მის ასახსნელად ის იძლევა შემდეგ სქემას (ნახ. 175), სადაც ნამზადს წარმოიდგენს, როგორც რადიალურ ძელებისაგან შემდგარს.

როგორც ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან ჩანს, ირიბი გლინვისას დეფორმაციის კერაში ადგილი აქვს ისეთი უმნიშვნელო ფარდობით გრეხვას (დაახლოებით 0,5 გრად/სმ), რომელსაც არ შეიძლება გადამწყვეტი მნიშვნელობა ჰქონდეს. უფრო მეტიც, სილრუვე შეიძლება მივიღოთ ყოველგვარი გრეხვის გარეშეც (განივი ქედვისას ან პარალელურ ფილებში გლინვისას). აღსანიშნავია აგრეთვე ის გარემოება, რომ გრუბერის მიერ მოცემული „რადიალური ძელების“ გრეხვის მიმართულება სრულებით არ შეეფერება სინამდვილეს. ფაქტიურად იგი ნამზადის ბრუნვის საწინააღმდეგოა.



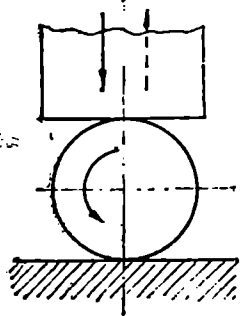
გრუბერი პირველად გაკრიტიკებული იქნა 1918 წელს გასენის მიერ, თუმცა გასენმა თვით წამოაყენა არასწორი თეორია, უფრო სწორედ გაიმეორა ტორკის შეხედულება. იგი აკრიტიკებდა გრუბერს იმაში, რომ მისი თეორიის თანახმად ნამზადის ცენტრში სიღრუვე უნდა გახსნილიყო მრგვალად, წრისებურად და თანდათან უნდა გაზრდილიყო. ცდების შედეგად გასენმა შენიშნა, რომ სიღრუვეს აქვს 176-ე ნახ-ზე მოყვანილი ფორმა. ამით მან დაასკვნა, რომ ნამზადის ცენტრი განიცდის ინტენსიურ დეფორმაციას ვიდრე პერიფერიები და ცენტრალური ზონა ნიშანცვლადი დატვირთვის გამო (კუმშვა-გაქიმვა) ინგრევა.



ნახ. 176.

კორდონის, კოქსის და ლობკოვიცის თეორიები სიღრუვის წარმოქმნას უკავშირებენ აგრეთვე ნამზადის ცენტრში მოქმედ მხებ ძაბვებს.

საზღვარგარეთელ მკვლევართა შორის აღნიშნულ საკითხზე ყველაზე ბევრი შრომა აქვს გაწეული ზიბელს, რომელიც თავის შრომებში საბოლოოდ ანეითარებს ინტენსიური დეფორმაციის შედეგად ნგრევის თეორიას. ზიბელის აზრით, ნამზადის ცენტრალურ ზონაში მიყენებული ძალებისადმი  $45^\circ$ -ით წარმოიქმნებიან მხები ძაბვები, რომლებიც იწვევენ ძვრებს. ძვრების მიმართულება კი განუწყვეტლივ იცვლება ნამზადის ბრუნვის გამო. ასეთ ნიშანცვლად დატვირთვას ლითონი დიდხანს ვერ უძლებს და ბოლოს ინგრევა.



ნახ. 177. განივი კედლის სქემა.

საბჭოთა მკვლევარების მიერ უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები ექვს ბადებს მხები ძაბვებით ნგრევის თეორიის მომხრეთა სისწორეში. მაგალითად, მიღებული იქნა სიღრუვე ისეთი მცირე მოქიმვების ფარგლებში, როდესაც დეფორმაციის ცენტრამდე გავრცელებაზე ლაპარაკიც კი ზედმე-

ტია. ზიბელი გადამწყვეტ მნიშვნელობას ანიჭებს ძაბვათა ნიშანცვლის ციკლის რაოდენობას. რა თქმა უნდა ამ ფაქტორს აქვს მნიშვნელობა, მაგრამ ციკლთა რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ მას არ შეუძლია გამოიწვიოს ლითონის ნგრევა დაღლილობის შედეგად.

სიღრუვის წარმოქმნა შემჩნეული იქნა არა მარტო განივი გლინ-

ვისას. არამედ ცილინდრული ნამზადის განივი კედლის დროსაც (ნახ. 177). მაგალითად, მიღებული იქნა სიღრუვე ცილინდრული ნამზადის განივი კედლისას (ნახ. 178).

ეს მოვლენა დიდი ხანია იყო შემჩნეული და ყოველი კვალიფი-ცირებული მკვდელი, თუკი ოდნავ შესაძლებლობა აქვს, თავს არიდებს ცილინდრული ნამზადების განივ კედლას, რათა თავიდან



ნახ. 178. განივი კედლისას მიღებული სიღრუვე.

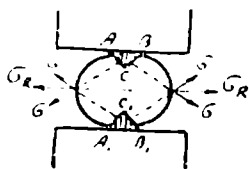
აიცილოს შინაგანი ბზარები. განივი გლინვისას სიღრუვის წარმოქმნის მექანიზმის ახსნის გვერდით, ზოგიერთი მკვლევარი შეეცადა ეს მოვლენა აეხსნა განივი კედლის პირობებში.

ერთელმა და გრუტცნე'რმა, შენიშნეს რა კუთხოვან საცემებით კედლისას (ნახ. 179) რგოლური სიღრუვის გაჩენა, ნამზადის ნგრევის მიზეზად მიიჩნიეს საცემის ფორმა და თავისებური ახსნა მოგვეკეს, რომ: ნამზადი ეხება კუთხოვანი ფორმის ქვედა საცემს ორ წერტილში  $C$  და  $B$ , ზედა საცემის დარტყმისას ძაბვა გადაეცემა  $A$  წერტილიდან სწორედ  $C$  და  $B$  წერტილების მიმართულებით. ვინაიდან განივი კედლისას სხმულს აბრუნებენ თავისი ღერძის გარშემო, ამიტომ  $ABC$  და  $A'B'C'$  და ა. შ. სამკუთხედების შიგნით რჩება არე, რომელიც ძაბვების გავლენას არ განიცდის,

ხოლო გარე ფენები კი—პირიკით. ამის გამო ნამზადის (სხნულის) კვეთში ადგილი აქვს აღნიშნულ ფენებს შორის ერთგვარ დაცურებას, რასაც მივეყვართ რგოლური სიღრუვის წარმოქმნამდე.

ჩიეიკოვი ექსპერიმენტებით და საქარხნო პირობებში დაკვირვებისას მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ სიღრუვის წარმოქმნის მიზეზი არის ბრტყელ საცემებში ჰედვისას ლითონის თავისუფალი გაფართოების შესაძლებლობა და სიღრუვის წარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად იგი ერთელისა და გრუტცნერის საწინააღმდეგოდ გვთავაზობს კუთხოვანი ან სხვა ფორმის ფასონური საცემების გამოყენებას, რომლებიც ხელს შეუშლიან თავისუფალ გაფართოებას.

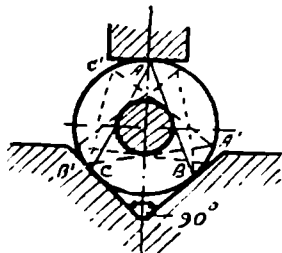
დაახლოებით იგივე აზრს ანვითარებს ძუგუტოვი, რომელიც სიღრუვის წარმოქმნის მიზეზად ავრეთვე თვლის რადიალურ გამკიძვე ძალებს და იძლევა შემდეგ სქემას (ნახ. 180).



ნახ. 180. დეფორმაციის სქემა ბრტყელ საცემებში ჰედვისას (ძუგუტოვი).

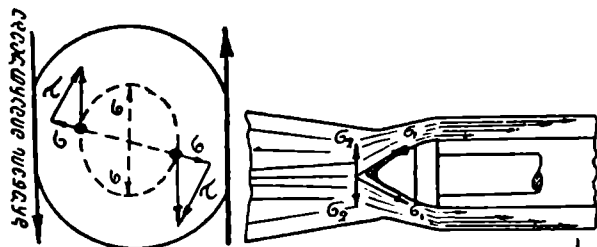
პირველი მეცნიერი, რომელმაც ამ საქმეს მოჰკიდა ხელი პროფ. ვ. ს. სმირნოვია, რომლის შრომებსაც წინ უძღოდა ტექ. მეცნ. დოქტორის, სტალინური პრემიის ლაურეატის ე. ა. ფომიჩევისა და ტექნ. მეცნ. კანდიდატის ა. ფ. ლისოჩკინის თეორიული მოსაზრებანი.

ე. ა. ფომიჩევი განღრუების პროცესში დამუხრუქებული ნამზადის დეფორმაციის კერის სხვადასხვა უბნის ტემპლეტების მაკროსტრუქტურის შესწავლის საფუძველზე მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ სიღრუვის წარმოქმნა შედეგია დეფორმაციის კერაში ნამზადის უთანაბრო დეფორმაციისა. ამას ხელს უწყობს გრეხვაც.



ნახ. 179. წრიული სიღრუვის წარმოქმნის სქემა ჰედვისას (ერთელი და გრუტცნერი).

თავის უფრო გვიანდელ შრომაში ფომიჩევა დეფორმაციის კერაში ლითონის დენადობის ხასიათის ანალიზის საფუძველზე გააკეთა დასკვნა, რომ ნამზადის ცენტრში ადგილი აქვს ყოველმხრივ გამჭიმავი ძაბვების წარმოქმნას, რასაც ხსნის შემდეგი სქემის სა-

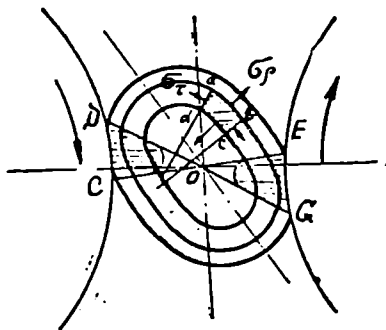


ნახ. 181. ძალთა მოქმედების სქემა (ფომიჩევი).<sup>1</sup>

ფუძველზე (ნახ. 181). ფომიჩევი დიდ მნიშვნელობას ანიჭებდა აგრეთვე სამართლის არსებობას.

ლისოჩკინი განივ გლინვისას ნამზადს წარმოიდგენს, როგორც

ელიფსური<sup>2</sup>; რგოლებისაგან შემდგარს (ნახ. 182), ხოლო დეფორმაციის კერას ყოფს ორ ზონად: გლინების უშუალო მოქმედების ზონად *DOC* და *GOE* და მის გარეშე ზონად *DOE* და *EOG*. იგი იხილავს გლინების მოქმედების გარეშე ზონაში ელემენტარულ მოცულობაზე *abcd* მოქმედ ძალებს.



ნახ. 182. ნორმალური ძაბვების სქემა (ლისოჩკინი).

ელემენტის წონასწორობიდან გამომდინარე იღებს ძაბვების შემდეგ გამოსახულებებს:

რადიალური გამჭიმავი ძაბვა

$$\sigma_r = \sigma_s \ln \frac{r_0}{r}, \quad (186)$$

ტანგენციალური ანუ მხები ძაბვა

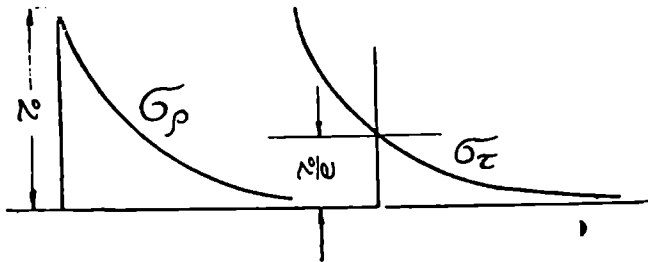
$$\sigma_\tau = \sigma_s \left( 1 - \ln \frac{r_0}{r} \right), \quad (187)$$

სადაც  $\sigma$ , არის ხვედრითი ძაბვა ხაზობრივი კუმშვისას;

$r_0$ —ნამზადის საწყისი რადიუსი;

$\rho$ —ცვლადი რადიუსი.

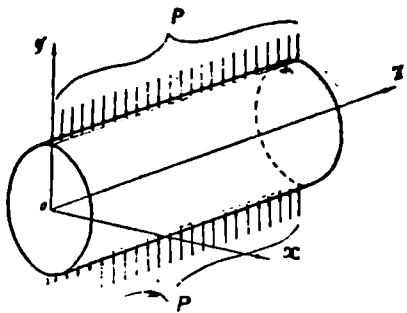
როგორც ამ ფორმულებიდან აგებულ ეპიურებიდან ჩანს (ნახ. 183), ნამზადის ცენტრთან ახლოს ორივე ძაბვა გამჭიმავია. მაშასადამე



ნახ. 183. ნორმალურ ძაბვათა ეპიურები (ლისოჩკინი).

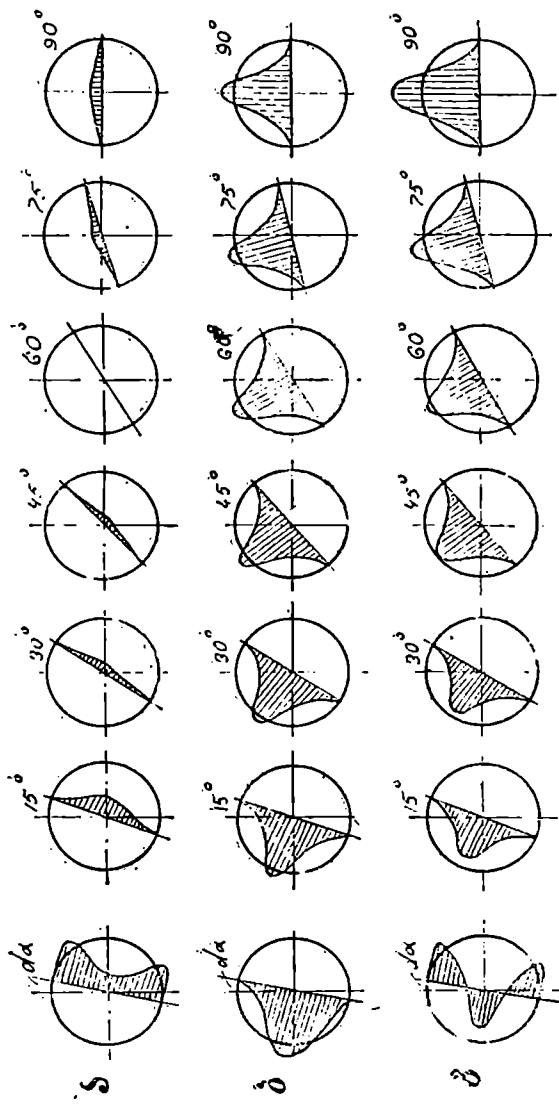
დამე, ლისოჩკინის თეორიული გამოანგარიშების თანახმად ნამზადის ცენტრალური ზონა ყოველმხრივ გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების ქვეშ იმყოფება.

როგორც ადრე აღვნიშნეთ ზემოთ განხილულ თეორიებზე და უამრავ ექსპერიმენტებზე დაყრდნობით პროფ. ვ. ს. სმირნოვი შეეცადა მოეცა სიღრუვის წარმოქმნის დასრულებული თეორია. იგი თავის შრომებში საბოლოოდ მიდის იმ დასკვნამდე, რომ როგორც განივი გლინვისას, ისე განივი ქედვის დროს ნამზადის ცენტრალური ზონა იმყოფება ყოველმხრივ თანაბარი (ან მასთან ახლოს) გამჭიმავი დაძაბულობის ქვეშ. მრავალი ექსპერიმენტი სმირნოვმა გადაკრა აგრეთვე განივი გლინვის ბევრი პრაქტიკული საკითხი.



ნახ. 183 ა.

ნამზადის გრძივი ( $z$ ) და დიდი ღერძის ( $x$ ) მიმართულებით (ნახ. 183 ა) გამჭიმავი ძალების წარმოქმნის შესაძლებლობა ყოველგვარი ექვის გარეშე შეიძლება იქნეს აღიარებული, ხოლო რაც შეეხება



ნახ. 184. მუშა დაბეჭდის ეპიურები (სმინლოვი): ა—დაბლა გარეშე  
 კალისგან; ბ—ღამაღებითი დაბეჭე; გ—მუშა დაბეჭე.

ძალის მოქმედების მიმართულებით (y) გამჭვირვადი ძალის გაჩენას სმირნოვი ძირითადად ორი არგუმენტით ასაბუთებს: 1) მბრუნავი ნაშადის მოქიშვის პროცესში რადიალური გამჭვირვადი ძაბვები, გლინების უშუალო მოქმედების ზონაში სწრაფი გავლისას, ვერ ასწრებენ რელაქსირებას და 2) ნაშადის არათანაბარი დეფორმაცია წარმოქმნის დამატებით ძაბვებს, რომელიც ლერძის მიმართ ყოველმხრივ თანაბრად გამჭვირვად მოქმედებს.

ამ არგუმენტებზე დაყრდნობით სმირნოვი აგებს მუშა ძაბვების ეპიურებს (ნახ. 184), რომელიც წარმოადგენს დამატებითი ძაბვებისა და ძირითადი ძაბვების ალგებრულ ჯამს. იგი მთელ რიგ შრომებში პლასტიკურობის მათემატიკურ თეორიაზე დაყრდნობით გვაძლევს ნაშადის ცენტრალური ნაწილის დაძაბული მდგომარეობის თეორიულ ანგარიშს.

ფომიჩევის, ლისოჩკინის და სმირნოვის აზრთა განმტკიცებას შიუძღვნეს თავიანთი შრომები პროფ. გ. კ. გედევანიშვილმა და ტექნ. მეცნ. კანდ. ლ. ნ. ოკლეიმ, რომლებმაც მილნაშადის ლერძულ არეში ყოველმხრივი გამჭვირვადი ძაბვების არსებობის დასადასტურებლად გამოიყენეს ლისოჩკინის თეორიული გამოანგარიშებანი და პლასტიკურობის თეორიის ზოგადი განტოლებები. მათ განიხილეს გლინების უშუალო მოქმედების ზონაში რაიმე ელემენტზე მოქმედ ძალთა წონასწორობა. მიღებული შედეგები ლერძულ არეში კვლავ გამჭვირვადი ძაბვების მაჩვენებელია, როგორც რადიალური ისე ტანგენციალური მიმართულებით.

ამჟამად განივი გლინების თეორიის საკითხებზე მუშაობენ ლ. ნ. ოკლეი და ჯ. მ. ლომსაძე, რომლებმაც მიზნად დაისახეს განივი გლინებისა და ქედვისას დეფორმაციის პროცესის სისტემატიკური გამოკვლევა. ჩვენი აზრით, ამოცანის სირთულისა და პლასტიკურობის მათემატიკური თეორიის განვითარების დღევანდელი მდგომარეობისათვის დეფორმაციათა ზუსტი განსაზღვრა და მისი ძაბვებთან დაკავშირება წარმოადგენს ნაშადის ცენტრალური ნაწილის დაძაბული მდგომარეობის დადგენის ერთ-ერთ რეალურ გზას.

### § 3. განლაშუბის პროცესის კინემატიკა

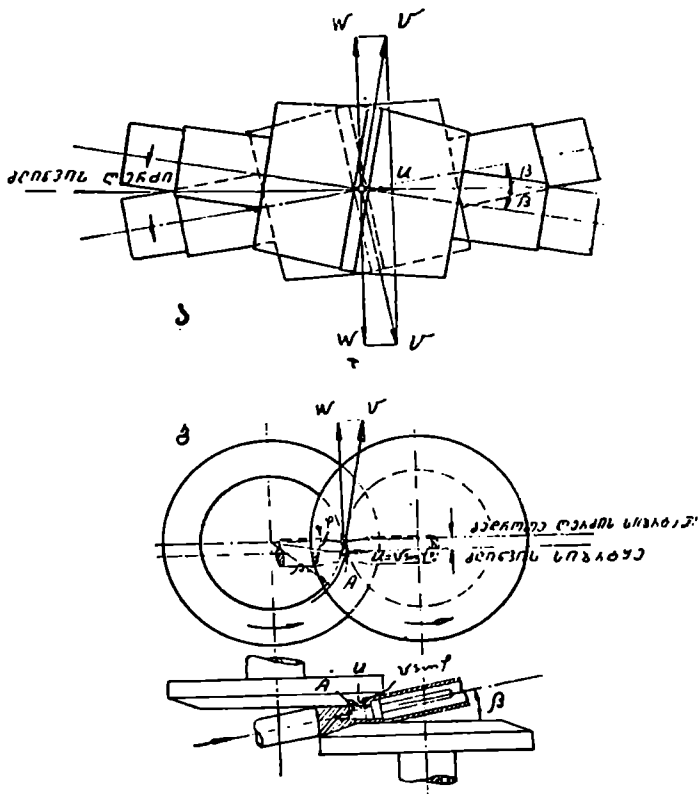
ორიბი გლინების პროცესში გასაგლინი ლითონი ერთდროულად განიცდის ბრუნვით და წინსვლით მოძრაობას, ე. ი. ხრახნული ძრაობით გადაადგილდება წინ. ეს სწორედ იმის გამო ხორციელდება, რომ გლინები ერთმანეთის მიმართ დახრილნი არიან და ბრუნავენ ერთი და იგივე მიმართულებით, მაგალითად, კასრისებრი გლინებისას ნაშადის წრიული და წინსვლითი სიჩქარეები, როცა

გლინებსა და ლითონს შორის სრიალს არა აქვს ადგილი, ასე გა-  
მოისახება (ნახ. 185, ა).

$$w = v \cos \beta,$$

$$u = w \sin \beta,$$

სადაც  $w$  არის ნამზადის წრიული სიჩქარე;



ნახ. 185. განმარტებულ დგანებში სიჩქარეთა დაშლის სქემა.

$u$  — ნამზადის წინსვლითი სიჩქარე;

$v$  — გლინების წრიული სიჩქარე;

$\beta$  — გლინების ღერძსა და მილის ღერძს შორის კუთხე.

თუ სიჩქარეებს გამოვსახავთ ბრუნვათა რიცხვებით მივიღებთ:



$$w = \frac{\pi n}{60} D_x \cos \beta, \quad (188)$$

$$u = \frac{\pi n}{60} D_x \sin \beta, \quad (189)$$

სადაც  $D_x$  არის გლინების დიამეტრი ნებისმიერ განსახილველ კვეთში;  $n$  — გლინების ბრუნვათა რიცხვი, ბრ/წთ.

ბადროსებრ გლინებიან განმალრუებელ დგანებში (ნახ. 185, ბ) გასაგლინი ლითონი წინსვლით მოძრაობას იღებს იმის გამო, რომ გლინვის ლერძი და ბადროთა ლერძებზე გამავალი სიბრტყე ერთმანეთს არ ემთხვევიან; ეს გადახრა ალენიშნოთ  $\alpha$ -თი, ხოლო კუთხე ნამზადის ლერძსა და ბადროს ლერძის მართობულ სიბრტყეს შორის  $\beta$ -თი. ერთ-ერთი ბადროს ზედაპირზე მდებარე ვთქვათ  $A$  წერტილის სიჩქარე ალენიშნოთ  $v$ -თი. ეს სიჩქარე დაეშალოთ სამურთიერთმართობულ მდგენელად, რომელთაგანაც სიჩქარის  $w$  მდგენელი ნამზადს ანიჭებს ბრუნვით მოძრაობას. იგი სრიალის გარეშე; გლინვისას ტოლი იქნება:

$$w = v \cos \varphi,$$

ანდა

$$w = \frac{\pi \cdot \rho \cdot n}{30} \cos \varphi,$$

სადაც  $n$  არის ბადროს ბრუნვათა რიცხვი წუთში;

$\varphi$  — კუთხე,  $A$  წერტილის შემაერთებელ რადიუსსა და ბადროთა ლერძების შემაერთებელ სწორს შორის;

$\rho$  —  $A$  წერტილის რადიუსი.

როგორც 185-ე ნახ-დან ჩანს ნამზადის გრძივი მიმართულებით მოქმედებს მდგენელი  $u$ , რომელიც ტოლია:

$$u = v \sin \varphi \cdot \cos \beta,$$

ხოლო

$$\sin \varphi = \frac{a}{\rho},$$

მაშინ

$$u = \frac{\pi n}{30} a \cos \beta.$$

განმალრუებელ დგანებში დეფორმაციის კერა პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ზონად. პირველი ზონა იქნება ნამზადის შეტაცების მომენტიდან გლინების ყველაზე დიდ დიამეტრამდე. ამ ზო-

ნას უწოდებენ განღრუების კონუსს. აქ წარმოებს დგანში მიწოდებული ნამზადის დიამეტრის თანდათანობითი შემცირება (მოკიშვა) და სიღრუვის გაჩენა. იმისათვის, რომ სამართულის ცხვირის წინ ადგილი არ ჰქონდეს სიღრუვის გაჩენას, ი. ა. ფომიჩევის წინადადებით, სამართულს აყენებენ სარტყელის წინ დაახლოებით იმ ადგილას, სადაც სიღრუვის გაჩენაა მოსალოდნელი. ამ დროს ნგრევისათვის მომზადებული ნამზადის ცენტრალური ნაწილი პირდაპირ გადაიგლინება სამართულის ზედაპირზე, რითაც თავიდან იქნება აცილებული სამართულის ცხვირის წინ ლითონის შიგა ზედაპირის დაქანგვა, რომელსაც მივყევართ მილის შიგნითა ზედაპირზე ფურჩების ანუ ნაქეცების გაჩენისაკენ. შემდეგ, მეორე ზონაში სამართულსა და გლინებს შორის წარმოებს მასრის კედლის თანდათანობითი გათხელება და დიამეტრის გაზრდა. ამ ზონას უწოდებენ გადაგლინვის კონუსს (ნახ. 187).

როგორც პირველ, ისე მეორე ზონაში წარმოებს ნამზადის განივკვეთის ფართის მნიშვნელოვანი შემცირება. საერთო გამოკიშვა ამ დროს აღწევს ოთხს და მეტსაც. ვინაიდან დეფორმაციის კერაში განივკვეთის ფართის თანდათანობით შემცირებას აქვს ადგილი, ამიტომ კვეთთა სიჩქარეებიც თანდათანობით უნდა გაიზარდოს. თუ ჩავივლით, რომ განღრუებისას ლითონის სიმკვრივე რჩება მუდმივი, მაშინ ცალკეულ კვეთთა გადაადგილების სიჩქარეს განვსაზღვრავთ განტოლებით:

$$F_1 u_1 = F_2 u_2 = \dots = F_x u_x, \quad (190)$$

სადაც  $F_1$ ,  $F_2$  და  $F_x$  არის ნამზადის კვეთების ფართი;

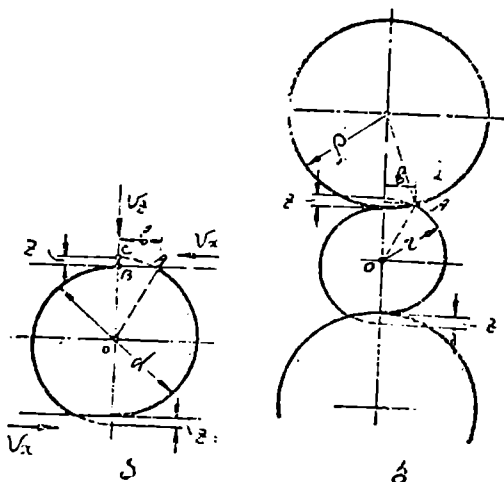
$u_1$ ,  $u_2$  და  $u_x$  — ნამზადის შესაბამისი კვეთების გადაადგილების სიჩქარეები.

#### § 4. ლითონის წნევა გლინებზე

გლინებზე ლითონის წნევის დადგენისათვის, ისე როგორც ჩვეულებრივი გრძივი გლინვის დროს, აუცილებელია პირველ რიგში გავიგოთ ლითონის გლინებთან შეხების ფართი  $F$  და თუ გვეცოდინება აღებულ პირობებში ხვედრითი წნევა  $p$ , მაშინ მათი ნამრავლი მოგვცემს სწორედ საძიებელ წნევას  $P$ .

განღრუების პროცესში საკონტაქტო ფართის განსაზღვრის შესახებ ლიტერატურაში სულ რამდენიმე ნაშრომს თუ შევხვდებით, ესენია გრუბერის, ბეჯელუბენკოს, ცელიკოვის და ლომაკინის შრომები. ამჟამად ძირითადად სარგებლობენ ცელიკოვის მიერ მოცემული მეთოდით, რომელშიც ზოგიერთი შესწორებები ლომაკინმა შეიტანა.

დაუშვათ, რომ ლითონი იგლინება ორ პარალელურ ფილებს შორის. ფილათა მოძრაობის სიჩქარე იყოს  $v_0$ . მრგვალი ნამზადის დიამეტრი, ფილების თანდათანობით დაახლოებასთან ერთად იწყებს შემცირებას. ნამზადის რადიუსის შემცირება მისი ნახევარი შემობრუნებისას აღვნიშნოთ  $z$ , მაშინ ნამზადის ფილასთან შეხების



ნახ. 186. ჭაწვივი გლინვისას ლითონის მოკიშვის სქემა.

ფართის სივანე ( $b = AB$ ) შეიძლება განვსაზღვროთ  $ABO$  სამკუთხედლიდან (ნახ. 186).

$$b = \sqrt{AO^2 - BO^2},$$

სადაც

$$BO = \frac{d}{2},$$

ხოლო

$$AO = CO = \frac{d}{2} + z,$$

მაშინ

$$b = \sqrt{\left(\frac{d}{2} + z\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \sqrt{zd + z^2} \quad (191)$$

თუ ზედა ფილის ქვედასთან დაახლოების სიჩქარეს აღვნიშნავთ  $v_1$ -ით და ნამზადის ბრუნვის სიჩქარეს წუთში  $n$ -ით, მაშინ ნამზადის

ნახევრად შემობრუნებისას მისი რადიუსის შემცირება გამოითვლება ტოლობით:

$$z = \frac{1}{4} \frac{v_z}{n} 60.$$

ფილებსა და ლითონს შორის სრიალის უქონლობის დროს

$$z = \frac{1}{4} \frac{v_z}{v_x} \pi d \quad (192).$$

იმ შემთხვევაში, როცა გლინვა წარმოებს ორ გლინს შორის, რომლებიც ბრუნავენ ერთი და იგივე მიმართულებითა და ტოლი სიჩქარით (ნახ. 186, ბ) საკონტაქტო ფართის სივანე შეიძლება განისაზღვროს პარალელური ფილების ანალოგიურად. 186-ე ნახ.ის თანახმად ნამზადის რადიუსის შემცირება მისი ნახევარბრუნვისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$z = \rho - \sqrt{\rho^2 - b^2} + r - \sqrt{r^2 - b^2}, \quad (193)$$

სადაც  $\rho$  — გლინების რადიუსია, ხოლო  $r = AO$ . უკანასკნელი განტოლების გარდაქმნისა და ცნობილი სიდიდეების შეტანის შედეგად ცელიკოვი იღებს დეფორმაციის ნებისმიერ კვეთში საკონტაქტო ფართის სივანის გამოსაანგარიშებლად შემდეგ ფორმულას:

$$b_z = \sqrt{\frac{D_x(zd_x + 2z^2)}{D_x + d_x + 2z}}, \quad (194)$$

სადაც  $D_x$  არის გლინის დიამეტრი განსახილველ კვეთში;

$d_x$  — ნამზადის დიამეტრი იგივე კვეთში.

ნებისმიერ კვეთში გლინისა და ნამზადის დიამეტრებს ვიღებთ წმინდა გეომეტრიული თანაფარდობიდან. რაც შეეხება  $z$ -ს, ცელიკოვი მისთვის იძლევა სამ მნიშვნელობას:

ა) დეფორმაციის კერის პირველ ზონაში სიღრუვის წარმოქმნამდე იგი ტოლია

$$z = s_x \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (195)$$

სადაც  $s_x$  არის აღებული კვეთის გადაადგილება სხმულის ნახევარ-შემობრუნებისას (ე. ი. ნახევარი ბიჯი);

$\alpha_1$  — ნამზადის კონუსის მსახველის დახრა მის ლერძთან (ნახ. 187).

ბ) დეფორმაციის კერის პირველი ზონისათვის, როდესაც სიღრუვე წარმოიქმნება, იგი ტოლია

$$z = s_x (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \gamma_1), \quad (196)$$

სადაც  $\gamma_1$  არის ნამზადის შიგა ზედაპირის მსახველის დახრის კუთხე მის ღერძთან (ნახ. 187);

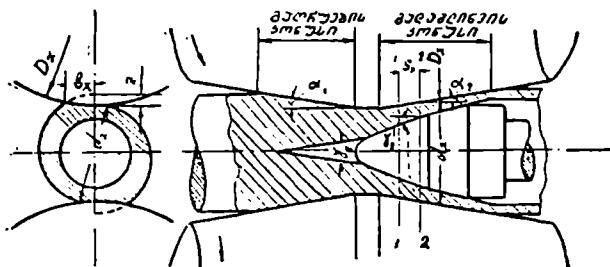
გ) დეფორმაციის კერის მეორე ზონისათვის

$$z = s_x (\operatorname{tg} \gamma_2 - \operatorname{tg} \alpha_2) \quad (197)$$

სადაც კუთხეთა მნიშვნელობები იგივეა, მხოლოდ მეორე ზონისათვის.  $s_x$ -ის გამოსათვლელად ცელიკოვი იძლევა შემდეგ ფორმულას:

$$s_x = \pi \frac{D_0}{D_r} \cdot \frac{F_0}{F_x} \cdot \frac{d_x}{2} \operatorname{tg} \beta \quad (198)$$

აღნიშნული ფორმულით სარგებლობა სირთულესთან არის დაკავშირებული, ვინაიდან მასში შედის ნეიტრალური კვეთის მნიშვნელობანი, რომლის გამოსათვლელადაც ცელიკოვი მხოლოდ გრაფიკულ მეთოდს იძლევა, ხოლო ემილიანენკოს მიერ მოცემულ



ნახ. 187. მოჭიმვის სქემა განღრუების პროცესში.

ფორმულები აღნიშნულ კვეთის საპოვნელად, ძალიან ბევრ უცნობთან არის დაკავშირებული. გარდა ამისა, როგორც ლომაკინის მიერ ჩატარებული ცდები ადასტურებს, აღნიშნული კვეთი განღრუების პროცესში საერთოდ არ არსებობს. იგი იძლევა  $s_x$ -ის საანგარიშოდ შემდეგ ფორმულას:

$$s_x = s_{\text{გაბ}} \cdot \frac{F_{\text{გაბ}}}{F_x}, \quad (199)$$

სადაც  $F_x$  არის აღებულ კვეთში ლითონის განივკვეთის ფართი;  $F_{\text{გაბ}}$ —დეფორმაციის კერიდან გამოსვლის კვეთში მასრის განივკვეთის ფართი;

$s_{\text{გაბ}}$ —ნახევარი ბიჯი დეფორმაციის კერიდან გამოსვლისას, რომელიც გამოითვლება:

$$s_{\text{გაბ}} = \pi \frac{d_{\text{გაბ}}}{2} \operatorname{tg} \beta \frac{\eta_{\text{გაბ}}}{\eta_{\text{ნგაბ}}}.$$

აქ  $\beta$  არის კუთხე გლინების ღერძსა და სხმულის ღერძს შორის;  
 $d_{30}$  — მასრის დიამეტრი გლინებიდან გამოსვლისას;  
 $\eta_x$  და  $\eta_y$  — სხლეტვის კოეფიციენტები ღერძული და ტანგენციალური მიმართულებით. ლომაკინის მონაცემებით:

$$\eta_x = 0,326 \div 0,855;$$

$$\eta_y = 0,612 \div 0,992.$$

ცელიკოვს არ ჰქონდა მხედველობაში მიღებული ოვალურობის კოეფიციენტი  $k_0$ , რომლის მნიშვნელობასაც ლომაკინი იძლევა.  $k_0 = 1,4$ . ამ კოეფიციენტის მხედველობაში მიღებისას ცხადია ფართიც შესაბამისად უნდა გაიზარდოს, ე. ი.

$$b_{x\text{ფაქტ}} = k_0 b_{საანგ}.$$

ამრიგად, მთლიანი საკონტაქტო ფართი ტოლია:

$$F = L \cdot b_{საანგ}, \quad (200).$$

სადაც  $L$  არის დეფორმაციის კერის სიგრძე;

$$b_{საანგ} = \frac{\sum_1^n b_{x\text{ფაქტ}}}{n},$$

აქ  $n$  არის განსახილველ კვეთთა რიცხვი.

რაც შეეხება ხვედრით წნევას მისი განსაზღვრის დაზუსტებული მეთოდი დღემდე არ არსებობს, სარგებლობენ მხოლოდ მიახლოებითი თეორიული გამოთვლებითა და ექსპერიმენტული მონაცემებით. განღრუბების პროცესში ხვედრითი წნევის საანგარიშოდ იყენებენ იგივე მეთოდებს, რაც გრძივი გლინვის შემთხვევაში, რომელთა შესახებაც მოცემული წიგნის სპეციალურ თავში გვექონდა საუბარი.

საბოლოოდ ლითონის საერთო წნევა გლინებზე იქნება

$$P = F p,$$

სადაც  $p$  არის ლითონის ხვედრითი წნევა, კგ/მმ<sup>2</sup>-ში.

ლითონის მიერ გლინებზე ძალთა მოქმედების სქემა შემდეგია (ნახ. 188).  $P$  ძალის ვერტიკალთან დახრის კუთხე აღვნიშნოთ  $\psi$ -თი. დავშალოთ  $P$  ძალა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მდგენელებად, მაშინ ფილაზე ან გლინებზე ჰორიზონტალური მიმართულებით მოქმედი ძალა იქნება:

$$X = P \sin \psi,$$

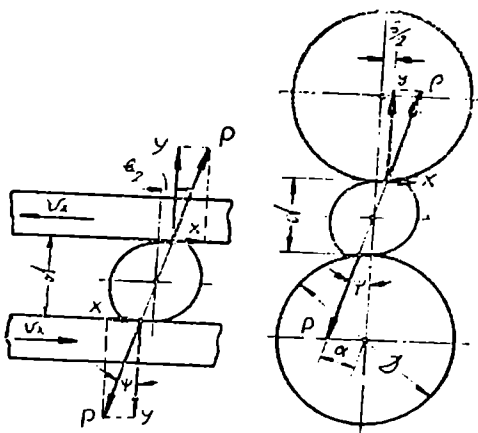
ხოლო ვერტიკალური მიმართულებით

$$Y = P \cdot \cos \psi.$$

$\psi$  კუთხე შეიძლება განესაზღვროთ, ჩვენთვის უკვე ცნობილთ სიდიდეებით

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{b}{d}.$$

მომენტი, რომელიც საჭიროა მიყენებული იქნეს თვითეული



ნახ. 188. განივი გლინვისას მოქმედი ძალები.

გლინის ბრუნვისათვის, საკისურებში ხახუნის ძალების მხედველობაში მიუღებლად ტოლია:

$$M = P \cdot a, \quad (201)$$

ანუ

$$M = P \frac{D+d}{2} \sin \psi \text{ კგმ.} \quad (202)$$

გლინვისათვის საჭირო სიმძლავრე საკისურებში და გადაცემის მექანიზმებში ხახუნის ძალების მიუღებლად ტოლი იქნება:

$$N = \frac{2P V_x \sin \psi}{75} \text{ ც. დ.} \quad (203)$$

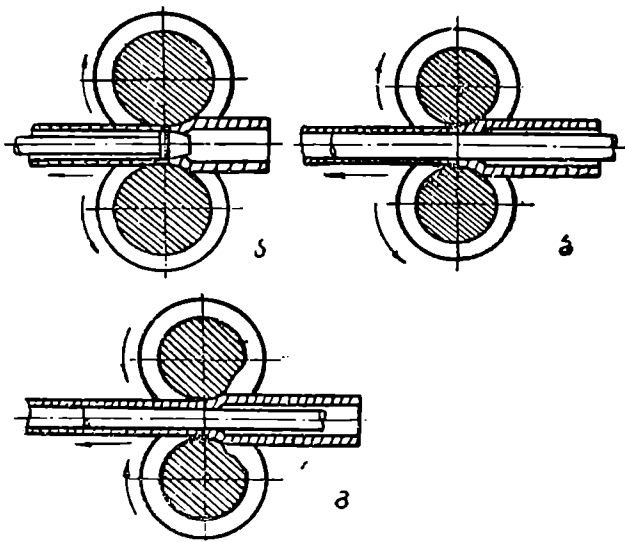
### § 5. ღრუ ხვეულის ანუ მახრის მრგვალ კალიბრში გლინვის თეორიის ძირითადი საკითხები

მიღების დანიშნულებისა და ზომების ნაირსახეობა გახდა მიზეზი მათი წარმოების სხვადასხვა ხერხების შექმნისა. მრგვალ კალიბრში მიღების გლინვის ყველა ტექნოლოგიური პროცესები შეიძლება

დავყოთ ორ ძირითად კატეგორიად: გლინვა სამართულზე და სამართულის გარეშე.

პირველი კატეგორია დამახასიათებელია ისეთი დგანებისათვის, რომელთა დანიშნულებაა სქელკედლიანი მასრებიდან შედარებით თხელკედლიანი მილების მიღება, ე. ი. პროცესებისათვის, რომელთა დროსაც წარმოებს მილის კედლის მნიშვნელოვანი მოკიშვა მისი დიამეტრის შემცირებასთან ერთად.

მეორე კატეგორიის პროცესების მიზანია მილის გარე დიამეტრის შემცირება მისი კედლის სისქის უმნიშვნელო ცვლილებების



ნახ. 189. მასრის გლინვის სქემა.

დროს. იგი გამოიყენება მილების რედუცირებისა და დაკალიბრების დროს, რიგ შემთხვევაში სამართულის გარეშე გლინვისას იყენებენ დაქიმულობასაც, რომლითაც აღწევენ მილის გარედიამეტრის შემცირებასთან ერთად კედლის სისქის მნიშვნელოვან შემცირებასაც.

წარმოებაში მილების სამართულზე გლინვის სამი ძირითადი ხერხი გამოიყენება (ნახ. 189):

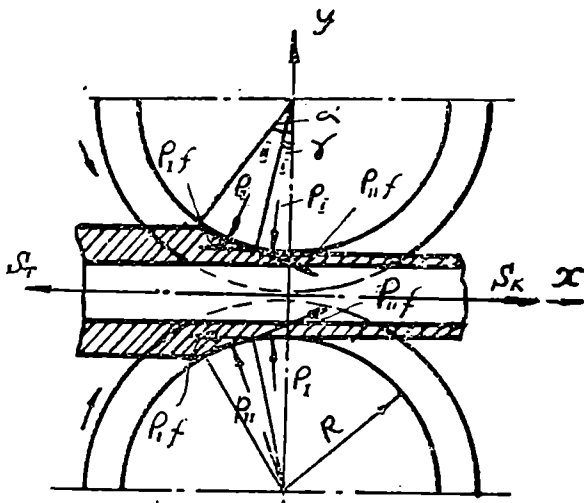
1. გლინვა უძრავ მოკლე სამართულზე;
2. გლინვა მოძრავ გრძელ სამართულზე;



3. ცვლადი პროფილის კალიბრში გრძელ სამართულზე პერიოდული გლინვა (პილიგრამული გლინვა).

უძრავ მოკლე სამართულზე გლინვა გამოიყენება მიღების წარმოებისას ავტომატურ და ნახევრად ავტომატურ დანადგარებში. გრძელ სამართულზე გლინვას იყენებენ მიღების უწყვეტი გლინვის დგანებში, ხოლო პერიოდულ გლინვას ადგილი აქვს მიღების პილიგრამული გლინვისას. ვინაიდან ეს უკანასკნელი მიღების წარმოების დანარჩენ მეთოდებთან შედარებით სპეციფიკური ხასიათისაა, ამიტომ მასზე ცალკე გვექნება საუბარი.

190-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მიღების უსამართულოდ გლინ-



ნახ. 190. მიღების მრგვალ კალიბრში უსამართულოდ გლინვისას დეფორმაციის კერაში ძალთა განაწილების სქემა.

ვისას დეფორმაციის კერის და კალიბრის მაქსიმალურ კვეთში მოქმედი ძალების სქემა. კალიბრის მაქსიმალურ კვეთში წინსწრების არსებობა დეფორმაციის კერას ყოფს წინსწრების (I) და ჩამორჩენის (II) უბნებად, რომელშიც მოქმედებენ ლითონზე გლინების წნევები  $P_I$  და  $P_{II}$ , და ხახუნის ძალები  $P_I f$  და  $P_{II} f$ , რომლებიც მიმართულნი არიან გლინების მიმართ ლითონის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ. დაკბიმულობით გლინვისას მილის ბოლოებზე მიყენებულია ძალები  $S_K$  და  $S_T$ , რომლებიც ზოგად შემთხვევაში ტოლნი არ არიან, ისინი ცვლიან მეზობელი უჯრების გავლენას.

კალიბრის უმაღლეს წერტილისათვის შეტაცების ჯამურ კუთხეს ანგარიშობენ ჩვეულებრივი თანფარდობით:

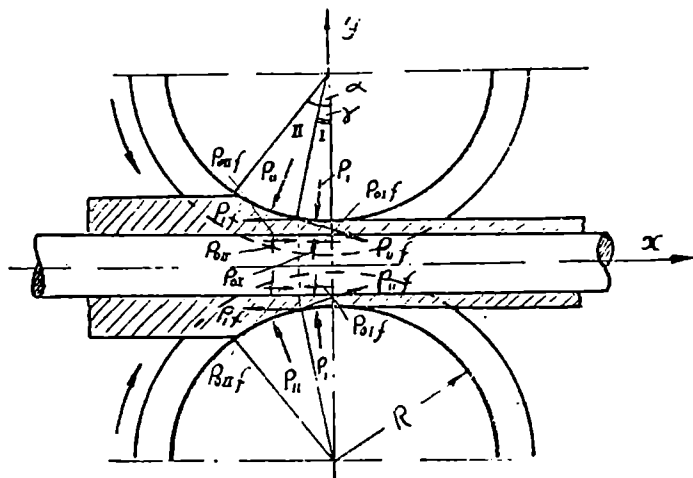
$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{d_1 - d_2}{D}\right), \quad (204)$$

სადაც  $d_1$  არის მილის გარე დიამეტრი გაგლინვამდე;

$d_2$ —მილის გარე დიამეტრი გაგლინვის შემდეგ;

$D$ —გლინის დიამეტრი კალიბრის უმაღლეს წერტილში.

მოძრავ სამართულზე მიღების გლინვისას ძალთა მოქმედების



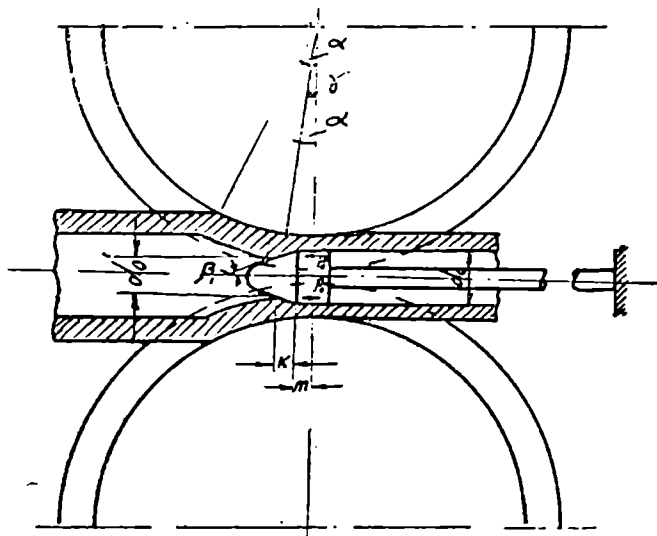
ნახ. 191. ძალთა განაწილების სქემა მიღების გრძელ სამართულზე გლინვისას.

სქემა მოცემულია 191-ე ნახ.ზე. ამ დროს სამართული მოძრაობს გასაგლინ მილთან ერთად. მისი სიჩქარე ნაკლებია გლინებიდან მილის გამოსვლის სიჩქარეზე და მეტია მილის გლინებში შესვლის სიჩქარეზე. გლინების მხრიდან კი ლითონზე მოქმედი წნევისა და ხახუნის ძალის გარდა, წინსწრებისა და ჩამორჩენის ზონაში მოქმედებს აგრეთვე სამართულის მხრიდან წნევის  $P_{01}$  და  $P_{011}$ , და ხახუნის  $P_{01f}$  და  $P_{011f}$  ძალები. შეტაცების ჯამური კუთხე აგრეთვე იანგარიშება (204) ფორმულით.

მოკლე უძრავ სამართულზე მიღების გლინვის (ნახ. 192) მახასიათებელს წარმოადგენს დეფორმაციის კერაში ორი ზონის არსებობა: 1. რედუცირების ზონა და 2. კედლის მოქიმვის ზონა.

პირველ ზონაში შედის უბანი მასრის შეტაცებიდან მისი სამართულ-თან შეხებამდე, ხოლო მეორე ზონაში შედის უბანი მასრის სამართულთან შეხების დასაწყისიდან მილის გამოსვლის ხაზამდე. რედუცირების ზონა ხასიათდება ცენტრალური კუთხით  $\alpha_1$ , ხოლო მოკიშვისა—ცენტრალური კუთხით  $\alpha_0$ .

შეტაცების ჯამური კუთხე აგრეთვე იანგარიშება (204) ფორმულით გლინის, მასრისა და მილის ზომებისაგან დამოკიდებულებით.



ნახ. 192. მოკიშვად ძალთა სქემა მოკლე უძრავ სამართულზე მილების გლინისას.

მოკიშვის ზონის შეტაცების კუთხე დამოკიდებულია გატარებამდე და გატარების შემდეგ მილის კედლის სისქეზე, სამართულის მსახველის დახრის კუთხეზე, მის დაყენებაზე და მთელ რიგ სხვა ფაქტორებზე. მოკიშვის კუთხის ( $\alpha_0$ ) განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ გამარტივებული სქემა (ნახ. 193), სადაც დამეგებული გვაქვს, რომ სამართულის ცილინდრული ნაწილი კონუსურთან გადადის მომრგვალების რადიუსის გარეშე და რედუცირების ზონაში მასრის კედლის სისქე არ იცვლება.

სამართულის მსახველის გაგრძელებით გლინების ცენტრთა ხაზის გადაკვეთამდე ვიღებთ სამკუთხედებს  $abd$  და  $oac$  (ნახ. 193).  $abd$  სამკუთხედიდან გვაქვს

$$ad = m \operatorname{tg} \beta,$$

ნაშინ  $oac$  სამკუთხედის  $oa$  გვერდი ტოლია:

$$oa = R + s - m \operatorname{tg} \beta.$$

გვერდი

$$oc = R + s_{\text{ახ}}$$

$$\angle oac = 90^\circ + \beta, \quad \text{აღნიშნოთ } \angle oca = \varphi.$$

სინუსების თეორემის თანახმად დავწეროთ თანაფარდობა:

$$\frac{R + s_{\text{ახ}}}{R + s - m \operatorname{tg} \beta} = \frac{\sin(90^\circ + \beta)}{\sin \varphi},$$

აქედან

$$\varphi = \arcsin \frac{(R + s - m \operatorname{tg} \beta) \sin(90^\circ + \beta)}{R + s_{\text{ახ}}}.$$

$\Delta oca$ -დან

$$\alpha_0 = 180^\circ - [(90^\circ + \beta) + \varphi].$$

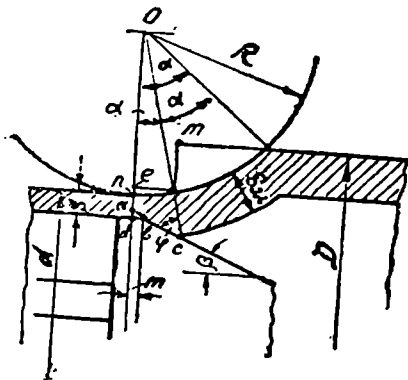
თუ ჩავსვამთ  $\varphi$ -ს მნიშვნელობას მივიღებთ:

$$\alpha_0 = 90^\circ - \beta - \varphi = 90^\circ - \beta - \arcsin \left( \frac{R + S - m \operatorname{tg} \beta}{R + s_{\text{ახ}}} \cos \beta \right).$$

ცხადია

$$\alpha_n = \alpha - \alpha_0$$

$\alpha_0$  და  $\alpha_n$  კუთხეების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზ-



ღვროთ დეფორმაციის ზონის გეომეტრიული ელემენტები, რომლებიც გამოიყენებიან ინსტრუმენტის კალიბრების დროს. კალიბრის ფორმებზე და მათი ანგარიშის ელემენტებზე საუბარი გვექნება სპეციალურ თავში — მილსაგლინავი ინსტრუმენტის დაკალიბრება. დეფორმაციის ძირითადი კოეფიციენტები, რომელთა ცოდნაც აუცილებელია გლინების დაკალიბრების ანგარიშისათვის შემდეგია: დიამეტრის მიხედვით ფარდო-

ნახ. 193. შეტაცების კუთხის განსაზღვრის სქემა მოჭიმვის ზონაში.

ბითი მოჭიმვა ( $m$ ), კედლის სისქის ფარდობითი ცვლილება ( $\Delta S$ ) და გამოჭიმვის კოეფიციენტი ( $\mu$ ).

გარე დიამეტრის მიხედვით ფარდობით მოკიშვად მიღებულია შემდეგი გამოსახულება:

$$m = \frac{d_1 \text{ საშ} - d_2 \text{ საშ}}{d_1 \text{ საშ}} \cdot 100\% \quad (205)$$

სადაც  $d_1 \text{ საშ}$  არის მილის საშუალო გარე დიამეტრი გაგლინვამდე;  
 $d_2 \text{ საშ}$ —მილის საშუალო გარე დიამეტრი გაგლინვის შემდეგ.

მილის საშუალო დიამეტრად ( $d_{\text{საშ}}$ ) ჩვეულებრივად მიღებულია ისეთი წრის დიამეტრი, რომლის ფართი ტოლია მილის გარე კონტურით შემოსაზღვრული ფართისა ( $q$ ).

$$d_{\text{საშ}} = \sqrt{\frac{4q}{\pi}}$$

აღვნიშნოთ

$$\lambda = \frac{d_{\text{საშ}}}{d_2} = \sqrt{\frac{4q}{\pi d_2^2}}$$

ვინაიდან გაგლინვის შემდეგ მილის გარე პროფილი შეესაბამება კალიბრის პროფილს, ამიტომ მილის საშუალო დიამეტრის განსაზღვრისათვის საჭიროა განისაზღვროს კალიბრის საშუალო დიამეტრი, რაც აგრეთვე აუცილებელია გამოკიშვის კოეფიციენტის გამოთვლისათვის.

მრგვალი კალიბრისათვის, ცხადია, კალიბრის საშუალო დიამეტრი ტოლია კალიბრის დიამეტრისა და  $\lambda = 1$ .

$q_1$   $\lambda$  და  $\mu$ -ს მნიშვნელობები კალიბრის სხვადასხვა ფორმების დროს მოცემული იქნება კალიბრების თეორიაში. კედლის სისქის ფარდობითი ცვლილება იქნება

$$\Delta s = \frac{s_{\text{მას}} - s}{s_{\text{მას}}} \cdot 100\% \quad (206)$$

გამოკიშვის კოეფიციენტის ზოგადი გამოსახულება იქნება

$$\mu = \frac{q_1}{q_2}$$

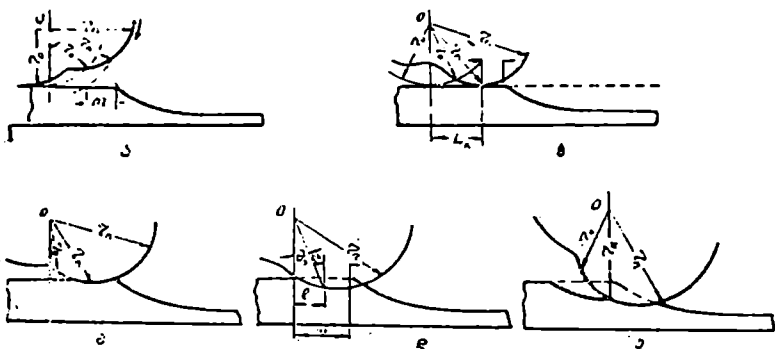
სადაც  $q_1$  არის მილის განივკვეთის ფართი გაგლინვამდე;

$q_2$ —მილის განივკვეთის ფართი გაგლინვის შემდეგ.

პილიგრიმული გლინვის თეორიის ელემენტები. პილიგრიმული გლინვა ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის პროცესებიდან ერთ-ერთ უველაზე რთულ პროცესს წარმოადგენს. მასში გლინვასთან ერთად შერწყმულია კედლის ელემენტები (ყოვე-

ლი პილიგრიმული ბიჯის დასაწყისში). პილიგრიმული გლინვისას განსხვავებით ჩვეულებრივი გრძივი გლინვისაგან, გარდა გლინების კალიბრის პერიოდულობისა მათი ბრუნვის მიმართულემა ეწინააღმდეგება მასრის მიწოდების მიმართულემას, ხოლო მასრის მოქიმა ხორციელდება ცვლადი რადიუსიანი გლინებით.

პილიგრიმული გლინვის თეორიის განვითარებაში განსაკუთრებით დიდი ღვაწლი მიუძღვის საბჭოთა მეცნიერებს პ. ტ. ემელიანენკოს, ა. ი. ცელიკოვს, ა. ი. იროშნიკოვს, მ. გ. პისანენკოს, მ. ა. შუბიკს, პ. კ. ტეტერინს, ო. ა. პლიაცკოვსკის და სხვა. გერმანელ მეცნიერთა (გრალი, ლობკოვიცი, კოკსი და სხვა) მექანიკური თეორიის საწინააღმდეგოდ მათ ჩამოაყალიბეს ახალი მეც-



ნახ. 194. პილიგრიმული გლინების თანმიმდევრული სტადიები.

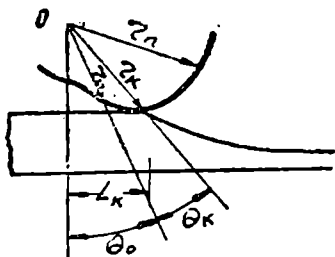
ნიერული თეორია, რომელიც ხსნის პროცესის რთული ბუნების ყველა თავისებურებას.

განვიხილოთ პილიგრიმული პროცესის კინემატიკა. გრძელ სამართულზე (დორნაზე) ჩაცმულ მასრას გლინის ძირითადი მუშა ნაწილი (წინა კონუსი ანუ „საცემი“) ეხება არა მისი მინიმალური რადიუსით  $r_0$ , არამედ რაღაც რადიუსით  $r_k$  (ნახ. 194), რომელიც მეტია  $r_0$ -ზე და მას უწოდებენ შეტაცების რადიუსს.

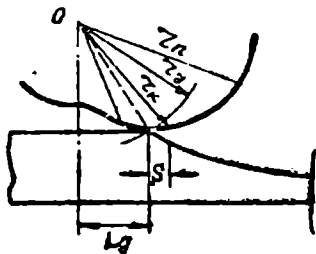
გლინის თხემის დანარჩენი წერტილები, რომლებიც მდებარეობენ  $r_0$ -სა და  $r_k$ -ს შორის და აგრეთვე  $r_k$ -სა და  $r_n$ -ს შორის, ლითონთან შეხებაში მოდიან უფრო გვიან, ვიდრე  $r_k$ . გლინების შემდგომ ბრუნვისას, როცა საწყისი რადიუსი  $r_0$  დაემთხვევა გლინების ცენტრების ხაზს, მაშინ იგი გამოვა მასრასთან შეხებიდან და ასე თანდათანობით გამოვლენ შეხებიდან შემდგომი რადიუსები.

პილიგრიმული გლინვისას არჩევენ შეტაცების პირობების სამ

კატეგორიას: პირველი, როცა შეტაცების რადიუსი მასრას შეეხება პილიგრიმული თავის დასაწყისიდან რაღაც  $m$  მანძილზე (ნახ. 194).  $m$ -ს უწოდებენ მასრის მიწოდების ბიჯს. ამ შემთხვევას „იძულებით-შეტაცებას“ მიაკუთვნებენ. მეორე, როცა შეტაცების რადიუსი ემთხვევა პილიგრიმული თავის დასაწყისს (ნახ. 195), ამას მიაკუთვნებენ „ბუნებრივი“ შეტაცების კატეგორიას და ბოლოს მესამე შემთხვევა, როცა შეტაცების რადიუსი ემთხვევა მასრის მსახველის გაგრძელებას პილიგრიმული თავის წინ (ნახ. 196), რაღაც  $s$  მანძილზე.



ნახ. 195. მასრის „ბუნებრივი“ შეტაცება.



ნახ. 196. მასრის „შემსუბუქებული“ შეტაცების რეჟიმი.

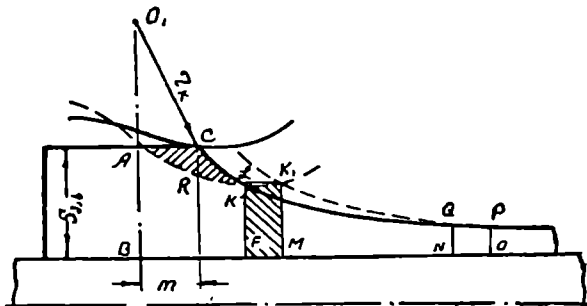
ამ შემთხვევას უწოდებენ შეტაცების „შემსუბუქებულ“ რეჟიმს. მასრასთან პირველ შეხებაში მიდის არა  $r_1$ , არამედ  $r_0$ , რომელიც ნაკლებია პირველზე. უნდა აღინიშნოს, რომ შეტაცების ამ სამივე შემთხვევისას ერთ საერთო მოვლენას აქვს ადგილი, კერძოდ იმას, რომ მასრის შეტაცების სიბრტყე გლინების ცენტრთა ხაზიდან გადახრილია გარკვეულ  $L_k$  მანძილით ანდა შეტაცების მესამე კატეგორიისათვის მანძილით— $L_0$ .

როდესაც შეხებიდან გამოდის  $r_0$  რადიუსი, დგება პროცესის საბოლოო სტადია—გადაუთოება. გლინების შემდგომი შემობრუნებისას მათ შორის ხახა იზრდება და უკან გამოგდებული მასრა მიმწოდებელი მექანიზმის („ფოლგოლერი“) საშუალებით კვლავ მიეწოდება  $m$  სიღიღით. ამ დროს გლინების მუშა ზედაპირები მოასწრებენ შემობრუნებას, კვლავ შეეხებიან მასრას და გამეორდება იგივე ციკლი.

პილიგრიმული თავის პროფილის პერიოდული ნაწილის ნებისმიერ კვეთში გლინის თხემის მიერ მასრის კედლის მოქიშვას განსაზღვრავენ პ. ტ. ემელიანენკოს მეთოდით.

დეფორმაციის პროცესში, როცა მასრა თანდათანობით მოიქიმება გლინის თხემით, დეფორმირებული ლითონი გლინების ბრუნვის

საწინააღმდეგოდ გადაადგილებს ლითონის იმ ნაწილს, რომელიც უშუალოდ არ განიცდის გლინების მოქმედებას. ამ გადაადგილების სიდიდეს განსაზღვრავენ გლინების მიერ მოქმედი ლითონის მოცულობით. პილიგრიმული თავის ნაწილის ამ გადაადგილების გამო გლინის თხემის მრუდი მას გადაკვეთს არა  $k$  წერტილში, არამედ რომელიღაც  $k_1$  წერტილში (ნახ. 197). წერტილი  $k_1$  მდებარეობს  $k$  წერტილზე ზემოთ, ვინაიდან მას თავის მრუდის უფრო დიდი ორდინატა შეესაბამება.  $k_1$  წერტილის მდებარეობას განსაზღვრავენ ლითონის მოცულობის მუდმივობის პირობიდან დეფორმაციამდე და მის შემდეგ. მასრის მოქმედის პროცესში ლითონის  $QNFL$  მოცულობა შეუსვლელად გადაადგილდება მარჯვნივ  $FM$ , ანუ  $NO$



ნახ. 197. დეფორმაციის კინემატიკა პილიგრიმული გლინების დროს.

მანძილზე, ე. ი. იგი ტოლია  $K_1MOP$  მოცულობისა. მოცულობის მუდმივობის შედეგად სამართლიანია ტოლობა:

$$V_{\Delta CLFB} = V_{ARKK_1MB}$$

ამ პირობით განისაზღვრება  $K_1M$  კვეთის მდებარეობა, საიდანაც იწყება პილიგრიმული თავის არადეფორმირებული ნაწილი.

უბანი  $ARDB$  წარმოადგენს ახალი პილიგრიმული თავის დასაწყისს და

$$V_{ARDB} = V_{CLFD}$$

მაშინ

$$V_{\Delta CLFB} - V_{CLFD} = V_{ARKK_1MB} - V_{ARDB};$$

$$V_{\Delta CLFB} - V_{CLFD} = V_{\Delta ODB};$$

$$V_{ARKK_1MB} - V_{ARDB} = V_{RKK_1MD}$$



მაშასადამე,

$$V_{ACDB} = V_{BKK_1MD}$$

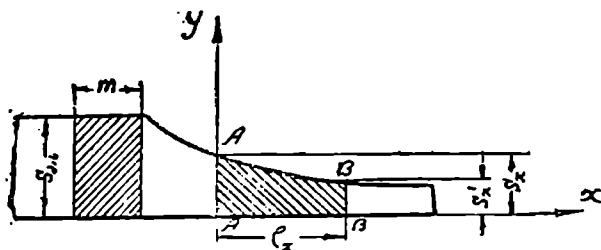
$V_{ACDB}$  მოცულობა შეესაბამება მიწოდების მოცულობას

$$V_m = s_{\text{გაბ}} \cdot m,$$

სადაც  $m$  არის მიწოდების სიდიდე;

$s_{\text{გაბ}}$  — დეფორმაციამდე კვეთის სიმაღლე, რომელიც ტოლია მასრის კედლის სისქისა.

$V_{BKK_1MD}$  მოცულობა პილიგრიმული თავის ის მოცულობაა, რომელიც მოქცეულია დეფორმაციამდე კვეთის სიმაღლესა  $s_x$  და დეფორმაციის შემდეგ კვეთის  $s_x'$  სიმაღლეს შორის. ამიტომ პილიგრიმული თავის პროფილის პერიოდულ ნაწილში მოკიმვის სიდიდე



ნახ. 198. მოკიმვა პილიგრიმული პროცესის დროს.

ტოლია განსახილველ კვეთის სიმაღლესა  $s_x$  და მისგან მიწოდების მოცულობით  $V_m$  დაშორებულ  $s_x'$  კვეთის სიმაღლეს შორის სხვაობისა.

ამიტომ პილიგერთავის ნებისმიერ  $AA$  კვეთისათვის (ნახ. 198) მოკიმვა ტოლია სხვაობისა

$$s_x - s_x',$$

რომელიც განისაზღვრება მოცულობათა ტოლობიდან

$$V_x = V_m = s_{\text{გაბ}} \cdot m,$$

სადაც  $V_x$  არის  $AA$  და  $BB$  კვეთებს შორის მოქცეული მოცულობა.

როგორც ცნობილია პილიგრიმული პროცესი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ გამოკიმვის კოეფიციენტი 2-დან 15—16-მდე და მეტიც, მაშინ როდესაც გრძივი გლინვისას იგი იშვიათად აღემატება 1,7—2,0.

3. ტ. ემელიანენკოს მონაცემებით მასრის ჯამური გამოკიმვის კოეფიციენტი გამოითვლება:

17. გლინვის წარმოების საფუძვლები

$$\mu = \mu_{\text{საზ}} + \frac{L}{m} (\mu_{\text{საზ}} - 1), \quad (207)$$

სადაც  $\mu_{\text{საზ}} = \frac{L+l}{L+m}$  არის გამოკიმვის საშუალო კოეფიციენტი;

$L$ —გლინის კალიბრის მუშა სიგრძე;

$l$ —მზა მილის სიგრძე, რომელიც მიიღება ყოველი პილი-გრამული ბიჯისას;

$m$ —გლინებში მასრის მიწოდების სიდიდე ყოველი პილი-გრამული ბიჯისას.



თ ა ვ ი   მ ე თ ო რ მ ე ბ ა

**გ ღ ი ნ ე ბ ი ს   ღ ა კ ა ღ ი ბ რ ე ბ ი ს   ს ა უ შ კ ვ ლ ე ბ ი**

**§ 1. კ ა ღ ი ბ რ ე ბ ი ს   ღ ა ნ ი მ უ ლ ბ ა**

მარტივი და ფასონური პროფილების გლინვას აწარმოებენ ნამზადებიდან (ან სხმულებისაგან), რომელთა უმეტეს ნაწილს აქვს კვადრატული ან მართკუთხოვანი ფორმის განივკვეთი.

მზა პროფილი მიიღება რამდენიმე გატარების შემდეგ. გატარებათა რიცხვი ძირითადად დამოკიდებულია ნამზადისა და მისაღები პროფილის განივკვეთების ფარდობაზე. ყოველი გატარებისას გასაგლინავი ლითონის განივკვეთის ფართი მცირდება და ამასთანავე მისი ფორმა და ზომები თანდათანობით უახლოვდება მზა პროფილს.

გასაგლინავი ლითონისათვის საჭირო ფორმის მისაცემად გლინვებზე გაჩარხულია სპეციალური ამონაჭრები, რომელთა ზომებს განსაზღვრავს დაკალიბრების ესა თუ ის წესი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ პროფილების განსაზღვრულ ნაწილს (როგორცაა სქელი და თხელი ფურცლები, განიერი ლენტები და სხვა) გლინავენ გლუვ გლინებში.

ამონაჭერს, რომელიც მოთავსებულია ერთ-ერთ გლინზე უწოდებენ ლარს. დაწყვილებული გლინების ამონაჭრები წარმოქმნიან სათანადო განივკვეთის კალიბრს. აღნიშნული კალიბრი უნდა შეავსოს ლითონმა მასში გატარების დროს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ კალიბრის სრული გავსება ყოველთვის არ ხდება. ზოგჯერ ადგილი აქვს კალიბრის ზედმეტად გავსებას ან ნაწილობრივ შევსებას. ორივე შემთხვევაში მზა პროფილი, რომელიც მიიღება სათანადო კალიბრებში ზოლის თანმიმდევრობითი გატარებით, უხარისხო გამოდის.

პროფილის დაკალიბრებას უწოდებენ თანმიმდევრობით განლაგებული კალიბრების სისტემას, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოცემული ზომისა და ფორმის მზა პროფილის მიღებას. ამასთან პრო-

ფილის დაკალიბრების ცნებაში შედის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა განსაზღვრული იქნეს გასაგლინავი ზოლის გარდამავალი კვეთების ფორმა და ზომები.

გლინების დაკალიბრებას უწოდებენ გლინებზე კალიბრების განაწილების წესს, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს გასაგლინავი ზოლის ნორმალური მიწოდება, გამოსვლა და გლინების საკმაო სიმტკიცე. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ გლინებისა და პროფილის დაკალიბრებას აერთიანებენ ერთი ცნების ქვეშ—გლინების დაკალიბრება.

იმ შემთხვევაში როცა გლინვას აწარმოებენ კალიბრების გარეშე (როგორცაა სლიაბების, ფურცლების, ზოლოვანი ფოლადისა და ლენტების გლინვა), დაკალიბრება ითვალისწინებს ისეთი საკითხების გადაწყვეტას, რომლებიც დაკავშირებულია გატარებების მიხედვით მოქიშვების განაწილების გამოთვლასა და გლინების კასრის პროფილირებასთან. ამ შემთხვევაში გლინების კასრის პროფილირება ითვალისწინებს მისდამი ამოზნექილი ან ჩაზნექილი ფორმის მიცემას, რაც აუცილებელია გლინების დრეკადი ჩალუნვის ან არათანაბარი გახურების შედეგად დიამეტრის შეცვლის კომპენსირებისათვის.

გლინების დაკალიბრების ძირითად ამოცანას შეადგენს თანმიმდევრობით განაწილებული კალიბრების განივკვეთის ფორმისა და ზომების დადგენა. ამასთან ერთად უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს პროფილის მიღება სუფთა ზედაპირითა და საკმარის ზომებით, ენერჯისა და გლინების მინიმალური ხარჯი, დგანის მაქსიმალური წარმადობა და მზა პროფილში მინიმალური შანაგანი ძაბვები. ყველა ამ ამოცანის სწორად გადაკრა დამოკიდებულია თვით დამკალიბრებელზე და საამქროს მომსახურე პერსონალზე.

საერთოდ, დაკალიბრება ჩატარებული უნდა იქნეს მოცემული დგანის ყველა კონკრეტული თავისებურებების მხედველობაში მიღებით. დამკალიბრებელს უნდა ახსოვდეს, რომ მეთოდი, რომელიც ერთ შემთხვევაში საუკეთესო შედეგს იძლევა, შეიძლება სხვა შემთხვევისათვის სრულიად უვარგისი აღმოჩნდეს. ამიტომ ნოცემულ დგანს დაკალიბრების განსაზღვრული მეთოდი ეთანადება.

## § 2 კალიბრის ხახმები

გლინვის დროს გამოყენებული კალიბრები შეიძლება დაყოფილი იქნას სამ ძირითად ჯგუფად:

1. მოშქიშავი, ანუ გამწვევი კალიბრები, რომელთა დანიშნულებაა შოახდინოს გასაგლინავი ლითონის განივკვეთის ფართის შემცირება;

2. შავი, ანუ მოსამზადებელი კალიბრები, სადაც გასაგლინავი ლითონის განივკვეთის ფართის შემცირებასთან ერთად ადგილი აქვს პროფილის უხეშ დამუშავებას, რომლის ფორმა და ზომები თანდათანობით უახლოვდება საბოლოო კვეთს;

3. გამომყვანი, ანუ სუფთა კალიბრები, სადაც პროფილი იღებს საბოლოო სახეს; ამ კალიბრების ფორმა და ზომები თითქმის ემთხვევა მისაღები პროფილის ფორმასა და ზომებს.

ფორმის მიხედვით მოქიმავე კალიბრები შეიძლება იყოს (ნახ. 199):

- 1) ბრტყელი (ა) (ყუთისმაგვარი);
- 2) ისრისებური (ბ);
- 3) რომბული (გ);
- 4) ოვალური (დ);
- 5) კვადრატული (ე).

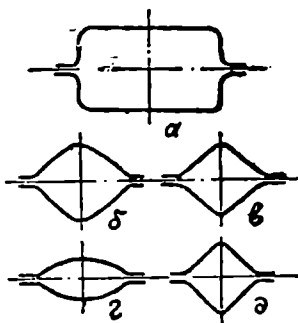
მოქიმავე კალიბრებში გლინვა წინ უსწრებს ყოველნაირი პროფილის გლინვას.

მარტივი პროფილებისათვის (მრგვალი, კვადრატული, ზოლოვანი) მოსამზადებელ კალიბრებს შეიძლება ჰქონდეთ ბრტყელი, მრავალწახნაგა, ოვალური, წრიული, რომბიჯული, კვადრატული, წიბოიანი და ისრისებური ფორმები, ხოლო ფასონური პროფილებისათვის მოსამზადებელი კალიბრების ფორმა ფასონურია და ფორმით თანდათანობით უახლოვდება მისაღებ პროფილს.

სპეციალურ ჯგუფად შეიძლება გამოყოფილი იქნას პერიოდული პროფილების გლინვისათვის საჭირო კალიბრები, რომლებმაც უკანასკნელ ხანებში ფართო გავრცელება ჰპოვეს. ამ ჯგუფის კალიბრები გლინების გარშემოწერილობაზე იცვლიან თავის ფორმას, რისი მეშვეობითაც გაგლინული ზოლი სიგრძეზე ღებულობს სათანადო ფორმას.

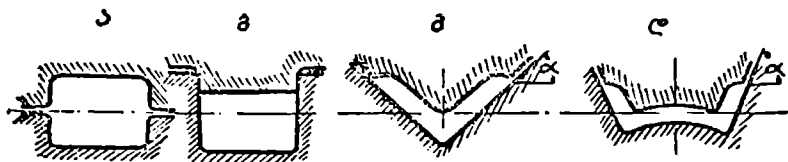
გლინებზე ჩაქრის მიხედვით კალიბრები შეიძლება იყოს ღია და დახურული. ადგილს სადაც პროფილის საზღვარი ერთი გლინიდან მეორეში გადადის კალიბრის გამყოფს უწოდებენ. იმ შემთხვევაში, როცა გლინების გაყოფის (გახსნის) ხაზი იმყოფება კალიბრის საზღვრებს გარეთ, მას უწოდებენ დახურულს, შებრუნებულ შემთხვევაში კალიბრს ღია ეწოდება.

ხშირ შემთხვევაში ერთი და იგივე პროფილის გლინვის დროს დამკალიბრებელს საშუალება აქვს გამოიყენოს როგორც ღია ისე დახურული კალიბრები (ნახ. 200).



ნახ. 199. მოქიმავე კალიბრების ფორმა.

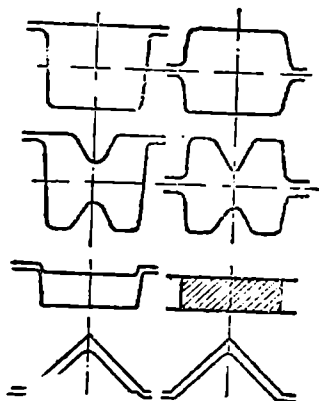
ვ. ტაფელი [8] ღია და დახურულ კალიბრებს შემდეგნაირად განმარტავს. თუ კალიბრის გამყოფი შემოსაზღვრულია გლინების ღერძის პარალელური ხაზებით, მაშინ მას ღია ეწოდება (ნახ. 201)



ნახ. 200. ერთი და იგივე პროფილის მიღებისათვის ღია და დახურული კალიბრების გამოყენების მაგალითი.

თუ ეს ხაზები გლინების ღერძის პერპენდიკულარულია, მაშინ კალიბრი დახურულია. ბუნებრივია, რომ არსებობენ შუალედი შემთხვევები.

ასეთი შემთხვევებისათვის ტაფელი ღიას უწოდებს ისეთ კალიბრს, სადაც გახსნის ხაზსა და გლინის ღერძს შორის მდებარე კუთხე  $\alpha < 60^\circ$ , თუ კუთხე  $\alpha > 60^\circ$ , მაშინ კალიბრს დახურული ეწოდება.



ნახ. 201. ღია და დახურული კალიბრების სახე ვ. ტაფელის მიხედვით.

202-ე და 203-ე ნახაზებზე მაგალითის სახით მოყვანილია გლინების დაკალიბრება. აღნიშნულ ნახაზებზე ნაჩვენებია გლინების მუშა მდგომარეობა (როცა ისინი ერთდროულად მუშაობენ ერთ გაღში) და გლინებზე ამოჩარხული კალიბრების მოხაზულობა და ზომები.

დაკალიბრებული გლინების ნახაზზე ჩვეულებრივად არ უჩვენებენ გლი-

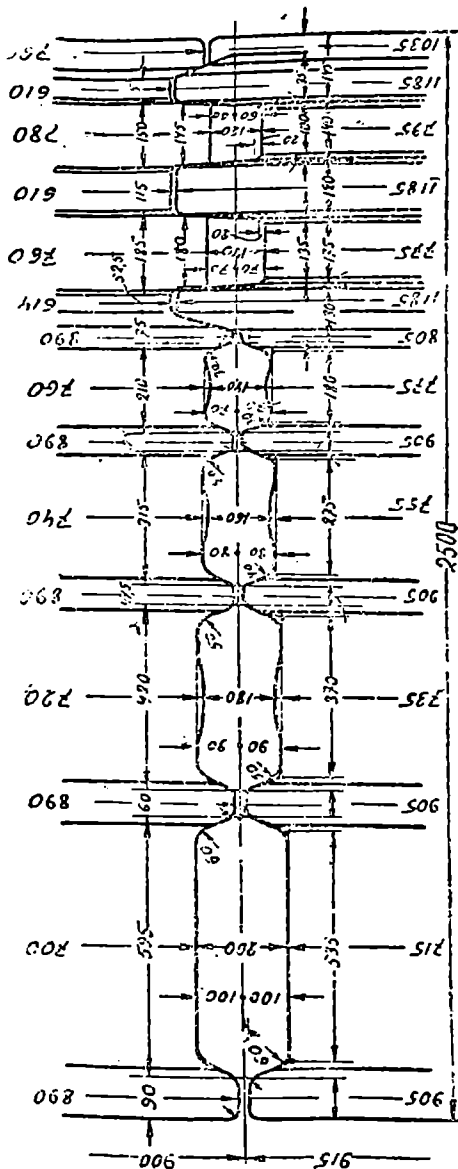
ნების ყელს; მასზე უჩვენებენ მხოლოდ გლინების კასრის დიამეტრის, შვერილებისა და კალიბრების ზომებს.

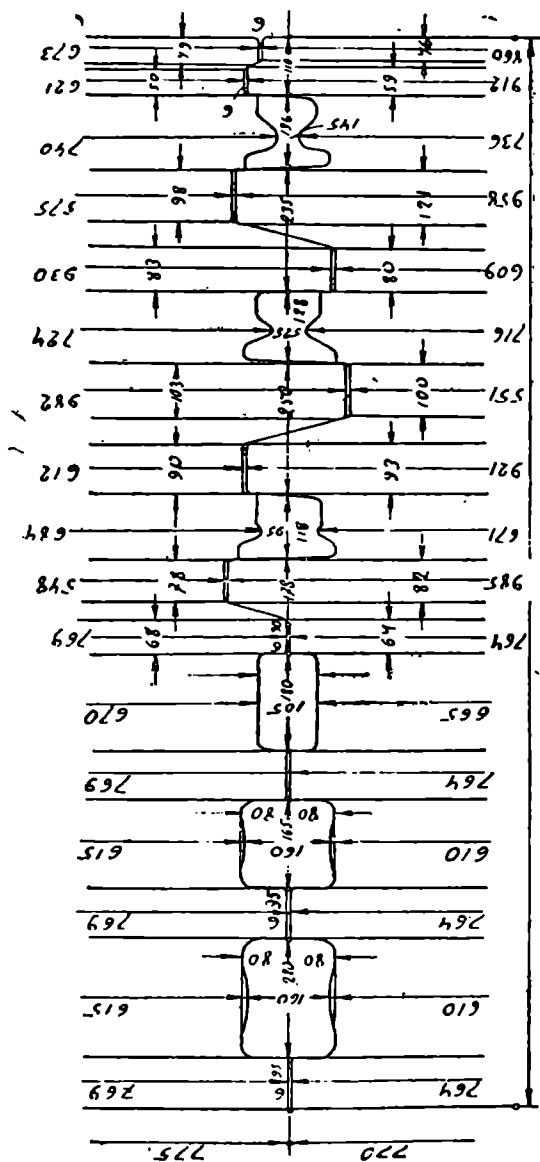
შვერილების დანიშნულებაა ერთი კალიბრის გამოყოფა მეორე კალიბრიდან. ამიტომ მათი რიცხვი ყოველთვის ერთით მეტია კალიბრების რიცხვზე. შვერილები შეიძლება იყოს როგორც ბრტყელი, ისე საფეხურიანი. საფეხურიანი შვერილების დანიშნულებაა აცილებული იქნას გლინების ჰორიზონტალური გადაადგილება. სა-

ფეხურიანი შვერილები რი-  
ცხვიყოველთვის მეტია ერთ-  
ზე. ისინი შეიძლება განა-  
წილებული იქნას როგორც  
გლინების განაპირა მხარეებ-  
ზე, ასევე მათ შუაში, განსა-  
კუთრებით ფასონური პრო-  
ფილების გლინვის დროს.

შვერილების სიგანე შეიძ-  
ლება იყოს სხვადასხვა და  
მათი სიდიდე დაკავშირებუ-  
ლია გლინების კასრის სიგრ-  
ძესთან. ამიტომ შვერილის  
სიგანეს კასრის ეკონომიუ-  
რად გამოყენების მიზნით  
შეძლებისდაგვარად ვიწროს  
იღებენ. ამასთანავე მხედვე-  
ლობაში უნდა გექონდეს ის  
გარემოება, რომ შვერილები  
განიცილიან გვერდით დაწო-  
ლას, რომელიც გლინვის  
დროს წარმოიშვება და ისინი  
არასაკმაო სიმტკიცის  
შემთხვევაში შეიძლება გატყ-  
დნენ. შვერილის სიგანე მით  
უფრო მცირეა რაც უფრო  
ნაკლებია მისი სიმაღლე და  
პირიქით.

ძველი ემპირიული წესის  
მიხედვით შუალედი შვერი-  
ლების სიგანეს იღებენ მისი  
სიმაღლის ტოლს  $b=h$ . ეს  
სიდიდე შეიძლება ჩაითვა-  
ლოს როგორც უდიდესი  
თუჯის გლინებისათვის. ფო-  
ლადის გლინებისათვის შვე-  
რილების სიგანეს იღებენ  
დაახლოებით მისი სიმაღლის





ნახ. 203. რელსსაგლინი გლინების დაკალიბრება.



ნახევრის ტოლს  $b = \frac{h}{2}$ . დიდი გვერდითი დაწოლების შემთხვევაში სასურველია ტოლობა  $b = h$ .

შვერილებისა და საერთოდ კალიბრის ელემენტების ანგარიშის ასეთი წესი მართალია არ შეესაბამება გაანგარიშების საინჟინერო მეთოდს, მაგრამ რადგან გლინვის თანამედროვე თეორია ჯერჯერობით არ იძლევა კალიბრებში გლინვის დროს წნევის ძალების საანგარიშო ზოგად ფორმულებს, დამკალიბრებელი იძულებულია მიმართოს ანგარიშის ასეთ წესს.

### § 3. გლინებშორისი ღრეჩო და კალიბრის დახრილობა

ზედა და ქვედა გლინის შვერილებს შორის არსებულ ხერხელს გლინებშორისი ღრეჩოს უწოდებენ. გლინის დროს ლითონის გლინებზე დაწნევის გამო გლინებშორისი ღრეჩო იზრდება, რასაც საქარხნო პრაქტიკაში „გლინების თამაშს“ უწოდებენ, ჩვეულებრივად ამ მოვლენას გლინების „ზამბარვა“ ეწოდება.

ამიტომ გლინებიდან გამოსული ზოლის სიმაღლე ყოველთვის მეტია კალიბრის სიმაღლეზე, რომლის სიდიდე უდრის ზედა და ქვედა გლინის ჩანაჭერების სიმაღლისა და გლინებშორისი ღრეჩოს ჯამს.

გლინების ზამბარის სიდიდე მით მეტია, რაც უფრო დიდი ლითონის გლინებზე წნევა, რაც უფრო დიდია მოქიმივის სიდიდე და შესაბამისად რაც უფრო დიდია მუშა გალის დეტალების დრეკადი დეფორმაცია: გლინების ჩალუნვა, დამკიმავეი ხრახნების, ბალიშებისა და საფენების კუმშვა, დგარის ვაკიშვა და ლუნვა. სხვადასხვა სახის დგანებისათვის მათი მუშა გალის კონსტრუქციისა და მოქმედი ძალების სიდიდის მიხედვით გლინების ზამბარვა შეიძლება იცვლებოდეს ძალიან ფართო საზღვრებში: 0,1 მმ-დან (ფურცლებისა და მავთულის საგლინავი დგანებისათვის) 5—10 მმ-მდე (ბლიუმინგისა და სხვა მომკიმავეი დგანებისათვის).

იმ შეთხვევაში, როდესაც საჭიროა გაგლინული ზოლის სიმაღლე ემთხვეოდეს ნახაზზე გამოხაზულ კალიბრის სიმაღლეს, აუცილებელია ფაქტიური გლინებშორისი ღრეჩო გლინების ზამბარვის სიდიდით ნაკლები იყოს ნახაზზე მოცემულ ღრეჩოზე.

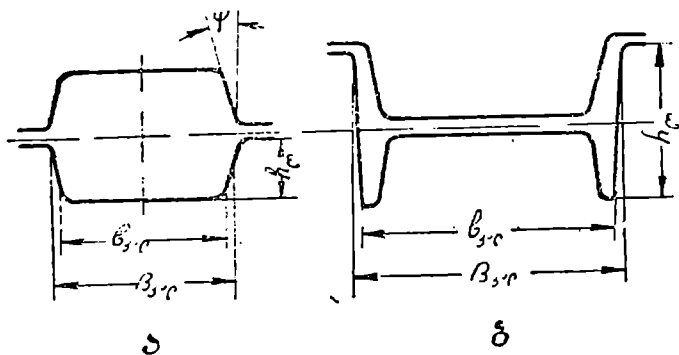
ღრეჩოს ცვალებადობა წარმოებს ზედა გლინის გადაადგილების მეშვეობით. ამიტომაც რომ გლინებს შორის ყოველთვის გათვალისწინებულია სათანადო სიდიდის ღრეჩო; წინააღმდეგ შემთხვევაში მათი აწყობა შეუძლებელია, რადგან გაგლინული ზოლის სიმაღლე ყოველთვის მეტი იქნებოდა კალიბრის სიმაღლეზე ღრეჩოს გარეშე.

გარდა ზემოაღნიშნულისა გლინებშორისი ღრეჩოს უქონლობამ (როცა გლინები ერთიმეორეს ეხებიან) შეიძლება გამოიწვიოს გლინების სწრაფი გაცვეთა და მათი ხშირი დამტვრევა.

საერთოდ ღრეჩოს სიდიდეს იღებენ 1—20 მმ ფარგლებში. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა ეთანადება მომქიმავე კალიბრებს, ხოლო მინიმალური სუფთა კალიბრებს.

ტექსტოლიტის საკისურებზე მომუშავე გლინებისათვის ღრეჩოს სიდიდეს იღებენ გლინის დიამეტრის  $1\frac{1}{2}\%$  სუფთა კალიბრებისათვის,  $2\%$ —წავი კალიბრებისათვის და  $3\%$ —მომქიმავე კალიბრებისათვის. გორგოლაქიან საკისურებზე მუშაობის შემთხვევაში ღრეჩოს სიდიდეს, თუ ეს აუცილებელია, მნიშვნელოვნად ამცირებენ ( $0,4\%$ ).

ღია და დახურული კალიბრების გვერდით ზედაპირებს ჩვეულებრივად დახრილს აკეთებენ (ნახ. 204). მისი სიდიდე დამოკიდე-



ნახ. 204. კალიბრები დახრილი გვერდითი, ზედაპირებით:  
ა—ყუთისმაგვარი კალიბრი; ბ—კოქის საგლინავე შავი კალიბრი.

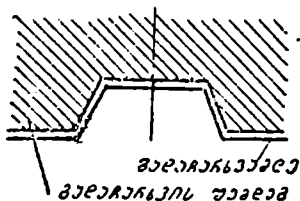
ბულია კალიბრის დანიშნულებაზე, პროფილის ხასიათზე, მზა პროფილის დაშვებებზე (სუფთა კალიბრებში) და სხვა ფაქტორებზე. კალიბრის დახრილობა ხელს უწყობს გასაგლინავე ზოლის საიმედო შეტაცებასა და გამოსვლას.

დახრილობის არსებობის შემთხვევაში გამორიცხულია კალიბრის გვერდითი ზედაპირების მიერ გასაგლინავე ზოლის გაჭედვა და შემცირებულია ზოლის გლინზე შემოხვევის შესაძლებლობა, რაც მოსალოდნელია, როცა გვერდითი ზედაპირები გლინების ღრძის პერპენდიკულარულია.

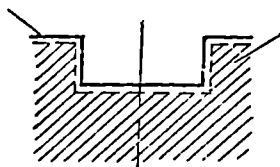
კალიბრის გვერდითი ზედაპირების დახრილობის ყველაზე დიდი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი გაცვეთის შემდეგ

შესაძლებელია პირვანდელი ზომები აღვადგინოთ გადაჩარხვის საშუალებით, ისე, რომ კალიბრის სიგანე გლინის დიამეტრის შემცირების ხარჯზე უცვლელი დარჩეს (ნახ. 205).

დახრილობის უქონლობის შემთხვევაში (ნახ. 206) გლინების გადაჩარხვის დროს კალიბრის სიგანე აუცილებლად გაიზრდება.



შედაპირის შიდა ნაწილი      შედაპირის გარე ნაწილი



ნახ. 205. კალიბრის გადაჩარხვა დახრილი გვერდების შემთხვევაში.

ნახ. 206. კალიბრის გადაჩარხვა დახრილობის გარეშე.

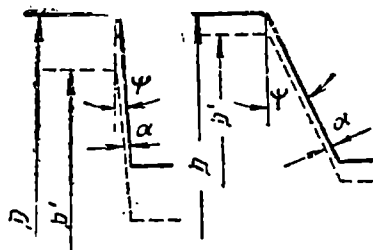
დახრილობის დამახასიათებელ სიდიდეთ მიღებულია კალიბრის გვერდითი ზედაპირების გლინების ლერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი, რომლის სიდიდე გამოითვლება შემდეგი ტოლობიდან:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{B_{კალ} - b_{კალ}}{2h_{კ}} \quad (208)$$

სადაც  $B_{კალ}$  არის კალიბრის მაქსიმალური სიგანე,  
 $b_{კალ}$  — კალიბრის მინიმალური სიგანე;  
 $h_{კ}$  — კალიბრის ღარის სიმაღლე.

დახრილობის გადიდებით გლინების გადაჩარხვის სიდიდე დიამეტრზე მცირდება, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს გლინების სამსახურის ვადის ხანგრძლიობის გადიდებისათვის, გლინების გადაჩარხვის ეს სიდიდე დიამეტრზე შეადგენს (ნახ. 207):

$$D - D' = \frac{2a}{\operatorname{tg} \psi} \quad (209)$$



ნახ. 207. გლინების გადაჩარხვის სიდიდე დიამეტრზე კალიბრის დახრის სხვადასხვა სიდიდისათვის,

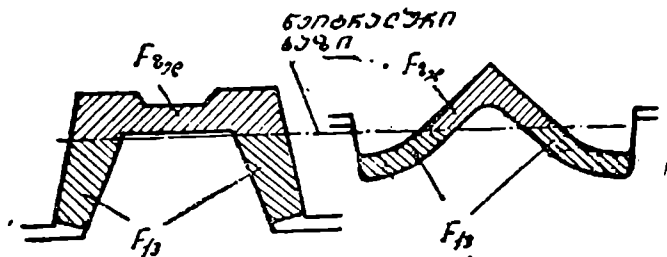
გარდა შემოაღნიშნულისა კალიბრის გვერდითი ზედაპირების დახრილობის ცვალებადობა საშუალებას გვაძლევს ვარიგულიროთ კალიბრის გავსების ხარისხი. აღნიშნული მოსაზრებით ხშირად სარგებლობენ ბლუმინგისა და მომჭიმავი დგანების გლინების დაკალიბრების დროს.

#### § 4. კალიბრის ნეიტრალური ხაზი

კალიბრის ნეიტრალური ხაზი ისეთ ხაზს ეწოდება, რომლის შიშართ ზედა და ქვედა გლინებიდან პროკილზე მოდებული ძალების მომენტი ერთმანეთის ტოლია.

მარტივ კალიბრებში (წრიული, ოვალური, კვადრატული, რომბული და სხვა) ნეიტრალური ხაზი მათი სიმეტრიის ღერძს ემთხვევა.

ფასონურ კალიბრებში ნეიტრალური ხაზის მდებარეობის განსაზღვრისათვის არსებობს რამდენიმე წესი, რომელთა მიხედვით



ნახ. 208. კალიბრის ნეიტრალური ხაზის მდებარეობის განსაზღვრა პირველი წესის მიხედვით.

განგარიშება ერთიმეორისაგან განსხვავებულ შედეგებს იძლევა.

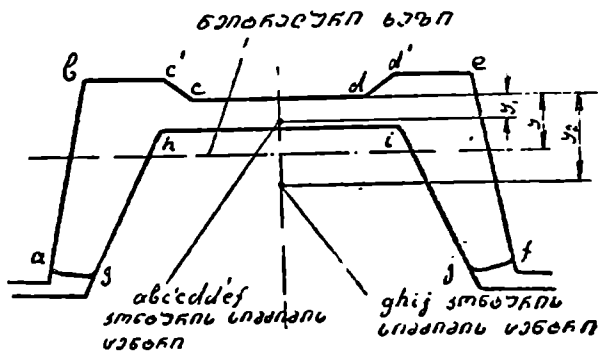
პირველი წესი. ნეიტრალურ ხაზს ისეთნაირად ატარებენ, რომ მის ზემოთა და ქვემოთ მდებარე კალიბრის ფართი ერთმანეთის ტოლია (ნახ. 208), ე. ი.  $F_{ზე} = F_{ქ}$ .

მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული წესი ზოგიერთი შემთხვევისათვის ძალზე მარტივია, მისი ყოველთვის გამოყენება არ შეიძლება, ვინაიდან იგი ზოგჯერ არასწორ შედეგს იძლევა.

მეორე წესი. კალიბრის ნეიტრალურ ხაზს ატარებენ მისი ფართის სიმძიმის ცენტრზე, ამ წესის იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ გლინების მოქმედებას პროფილის ცალკეულ ელემენტებზე იღებენ მათი სტატიკური მომენტების პროპორციულად. ამ შემთხვევაში ყველა ძალების ტოლქმედის მოდების წერტილს, რომელიც პროფილზე მოქმედებს, წარმოადგენს მისი სიმძიმის ცენტრი.

მესამე წესი. კალიბრის ნეიტრალურ ხაზს ატარებენ თვითვე გლინზე მოთავსებული კალიბრის კონტურის სიმძიმის ცენტრებს შორის მანძილის შუაში (ნახ. 209).

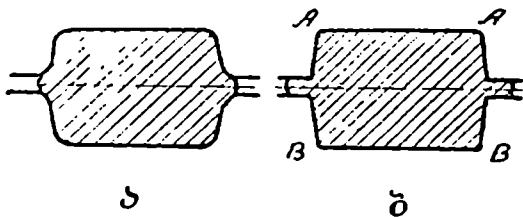
ამ მეთოდის თეორიულ დასაბუთებას წარმოადგენს ის მოსაზრება, რომ გლინის მოქმედება პროფილზე მასზე მოთავსებული კალიბრის ნაწილის კონტურის მომენტის პროპორციულია.



ნახ. 209. კალიბრის ნეიტრალური ხაზის მდებარეობის განსაზღვრა მესამე წესის მიხედვით.

### § 5. კალიბრის მომრგვალების რადიუსები

კალიბრების დაპროექტების დროს მათი წარმატებით მუშაობისათვის ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს კალიბრის მომრგვალების რადიუსების სწორად შერჩევას. კალიბრის ფორმისა და მისი მდე-



ნახ. 210. ფხის ფორმა მომრგვალებულ (ა) და მოუმრგვალებულ კალიბრებში (ბ).

ბარეობის მიხედვით მომრგვალებები საშუალებას იძლევა გადაკრილი იქნას შემდეგი ამოცანები:

1. ცალმხრივი „ჩაჭრის“ აცილება გლინებში ზოლის არასწორი მიწოდების შემთხვევაში. გლინების გახსნის ადგილას საკმაო მომრგვალება (ნახ. 210) საშუალებას იძლევა კალიბრის მცირეოდენი ზედმეტად გავსების შემთხვევაში მივიღოთ დახრილკედლებიან

ფხა, რომლის შემდეგ კალიბრში მიგლინვა არავეითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს;

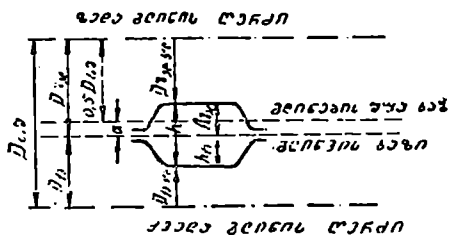
2. აცილებულია გაგლინული ზოლის კუთხეების მკვეთრი გაცივება (მომრგვალება  $A$  და  $B$  კუთხეებში, ნახ. 210);

3. გაფართოების გამო გადაადგილებული ლითონისათვის თავისუფალი ადგილის წარმოქმნა. მომრგვალების გამოყენების ასეთ მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ კუთხოვანი ფოლადის დაკალიბრება და გამომკიმიავი კალიბრების სისტემა (რომბი—რომბი ან რომბი—კვადრატი).

კალიბრის ცალკეული ნაწილების ზომების ან ფართის ანგარიშის დროს, მომრგვალებით გამოწვეულ პროფილის დამახინჯებას მხედველობაში არ იღებენ. კალიბრი თავიდან აიგება მომრგვალების გარეშე. ასეთი სახით წარმოდგენილ ნახაზს კალიბრის ჩონჩხს უწოდებენ.

### § 6. ზედა და ქვედა წნევა

ერთდროულად მომუშავე დაწყვილებული გლინების დიამეტრები შეიძლება იყოს როგორც ერთი და იგივე ისე სხვადასხვა ზომის. თუ ზედა გლინის დიამეტრი ( $D_{ზე}$ ) მეტია ქვედა გლინის დიამეტრზე ( $D_{ქ}$ ), მაშინ ორთავე გლინის ერთი და იგივე ბრუნვათა რიცხვის შემთხვევაში ზედა გლინის წრიული სიჩქარე მეტი იქნება ქვედა



ნახ. 211. ზედა და ქვედა წნევა.

გლინის წრიულ სიჩქარეზე, და შესაბამისად ზედა გლინთან მდებარე გასაგლინავი ზოლის ნაწილაკების სიჩქარე უფრო მეტი იქნება. ამიტომ ზოლის ზედა ფენების სიგრძე გაგლინვის შემდეგ მეტი იქნება ქვედა ფენების სიგრძეზე და ზოლი გაილუნება ქვემოთ.

დიდი ზომის მქონე ზედა გლინის მოქმედებას ზედა წნევას უწოდებენ. იმ შემთხვევაში თუ  $D_{ქ} > D_{ზე}$ , მაშინ ზოლს აქვს მისწრა-

ფება გაიღუნოს ზემოთ, რადგან ადგილი აქვს ქვედა წნევას. ზედა და ქვედა წნევის საზომს წარმოადგენს ორთავე გლინის მუშა დიამეტრების სხვაობა. ერთი და იგივე დიამეტრის მქონე გლინებში გლინვის დროს (როცა არა გვაქვს როგორც ზედა ისე ქვედა წნევა), ზოლი გლინებიდან გამოსვლის მომენტში შეიძლება გაიღუნოს როგორც ზედა, ისე ქვედა მიმართულებით. გამოსვლის მიმართულება უმეტესად შემთხვევით ხასიათს ატარებს. არათანაბარი დიამეტრების მქონე გლინებში გლინვის დროს ზოლი იღუნება მცირე დიამეტრის მქონე გლინის მხარეს და ცდილობს შემოეხვიოს მას.

გლინზე გასაგლინავი ზოლის შემოხვევის დროს, როგორც წესი, ადგილი აქვს მის გატეხვას. გლინზე შემოხვევის თავიდან აცილების მიზნით იყენებენ გამყვან მიმმართველებს, რომელთა ერთი ბოლო ძვეს საყრდენ ძელზე, ხოლო მეორე ეხება გლინს.

ზედა და ქვედა წნევის უქონლობის შემთხვევაში აუცილებელია გამყვანი მიმმართველები დაყენებული იქნას როგორც ზედა, ისე ქვედა გლინებთან. რაც ართულებს დგანის მუშაობასა და გლინების გამოცვლის სამუშაოს. ჩვეულებრივად მიღებულია ზედა წნევა და გამყვან მიმმართველებს აყენებენ ქვემოთ.

ქვედა წნევას იყენებენ ბლუმინგზე, სადაც იგლინება დიდი კვეთის ზოლები, რომლებსაც არ შეუძლიათ გლინებზე შემოხვევა. ამ შემთხვევაში ქვედა წნევა საშუალებას იძლევა ზოლის გლინებიდან გამოსვლის მომენტში აცილებული იქნას დარტყმები მუშა როლგანგების გორგოლაკებზე.

ქვედა წნევის სიდიდე ბლუმინგზე მცირეა და დაახლოებით უდრის 10—15 მმ. ქვედა წნევას იყენებენ აგრეთვე ზოგიერთი ფასონური პროფილების გლინვის დროს, კერძოდ, ორტესებური კოქების გლინვისას.

ზედა წნევის სიდიდე სხვადასხვა დგანებისათვის სხვადასხვაა. ჩვეულებრივად ცდილობენ, რომ ზედა წნევა რაც შეიძლება მცირე იყოს, რადგან გლინვის სიჩქარეების სხვადასხვაობა ზოლის კვეთზე იწვევს დგანის გადატვირთვას და ზოგიერთ შემთხვევაში აუარესებს გასაგლინავი ლითონის ზედაპირის ხარისხს.

ზედა წნევის შერჩევის დროს მისი სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს გლინების საშუალო დიამეტრის 2—3%, ხოლო ბოლო გატარებებისათვის 1%.

ზედა წნევის სიდიდე აღენიშნოთ  $+m$ -ით, მაშინ

$$D_{\text{ყვ}} - D_{\text{კ}} = \pm m.$$

თუ ცნობილია გლინების საშუალო დიამეტრი  $D_{საშ}$  (ე. ი. გლინების ლერძებს შორის მანძილი) და ზედა წნევა  $m$ , მაშინ  $D_{ზე}$  და  $D_{ქ}$  განისაზღვრება შემდეგი ტოლობებიდან:

$$D_{ზე} = D_{საშ} + 2x; \quad (210)$$

$$D_{ქ} = D_{საშ} - 2x, \quad (211)$$

სადაც  $x$  არის გლინების საშუალო ხაზს და გლინვის ხაზს შორის მანძილი.

თუ ზედა ტოლობას გამოვაკლებთ ქვედას, მაშინ მივიღებთ:

$$m = D_{ზე} - D_{ქ} = 4x, \quad \text{აქედან } x = \frac{m}{4}.$$

თუ (210) და (211) ტოლობებს შევკრიბავთ, მივიღებთ:

$$D_{საშ} = \frac{D_{ზე} + D_{ქ}}{2}.$$

## § 7. კალიბრების განაწილება გლინებზე

კალიბრები გლინებზე განაწილებული უნდა იქნას ისეთნაირად, რომ სიჩქარეების სხვაობა კალიბრის ზედაპირზე იყოს რაც შეიძლება მცირე. მცირე უნდა იყოს აგრეთვე გლინებში ჩაქრის სიდიდელითონის სხვადასხვა ფენების სიჩქარეთა უმცირესი სხვაობისას მასში აღიძვრება მცირე ძაბვები, რაც დადებითად მოქმედებს როგორც ლითონის ხარისხზე, ასევე დგანის მუშაობაზე.

გლინების ლერძებს შორის მანძილს, როცა გლინები დაცილებულია ერთმანეთისაგან ნორმალური ღრეჩოს სიდიდით, უწოდებენ საშუალო დიამეტრს ( $D_{საშ}$ ). ჰორიზონტალურ ხაზს, რომელიც ამ მანძილს შუაზე ჰყოფს, უწოდებენ გლინების საშუალო ხაზს, ხოლო ჰორიზონტალურ ხაზს, რომლის მიმართ განლაგებულია კალიბრები, უწოდებენ გლინვის ხაზს (ნახ. 212). ჩვეულებრივად გლინვის ხაზი არ ემთხვევა გლინების საშუალო ხაზს.

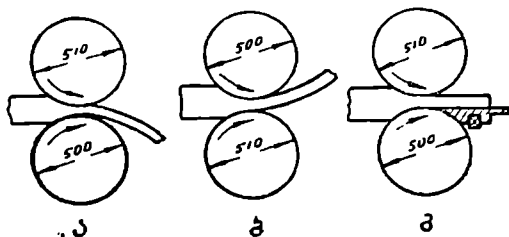
თეორიულად ყველაზე სწორად ითვლება კალიბრების ისეთი განაწილება გლინებზე, როცა მათი ნეიტრალური ხაზი ემთხვევა გლინების საშუალო ხაზს.

კალიბრების ასეთი განაწილების დროს ზოლი გლინებიდან უნდა გამოდიოდეს ჰორიზონტალურად, ქვემოთ და ზემოთ გალუნვის გარეშე. როცა კალიბრის ნეიტრალური ხაზი მდებარეობს გლინების საშუალო ხაზს ქვემოთ, მაშინ ადგილი აქვს ზედა წნევას. თუ



კალიბრის ნეიტრალური ხაზი მდებარეობს გლინების საშუალო ხაზს ზემოთ, მაშინ ადგილი აქვს ქვედა წნევას.

გლინვის ხაზი, რომელიც გადის კალიბრის ნეიტრალურ ხაზზე,



ნახ. 212. ზედა და ქვედა წნევა.

წარმოადგენს წარმოსახვით ხაზს. კერძო შემთხვევაში, ზემოთ აღნიშნული, გლინების საშუალო ხაზი, გლინვის ხაზი და კალიბრების ნეიტრალური ხაზი ერთმანეთს ემთხვევა.

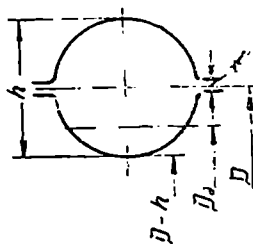
### § 8. გლინების მუშა დიამეტრი

გლინების დიამეტრს, რომელზედაც ლითონი გლინებს ეხება უწოდებენ მუშა დიამეტრს. ხშირ შემთხვევაში გასაგლინავი ზოლის სხვადასხვა ნაწილები გლინების ზედაპირის ისეთ უბნებს ეხება, რომელთაც სხვადასხვა მუშა დიამეტრები აქვთ და შესაბამისად, სხვადასხვა წრიული სიჩქარეები.

მაგალითისათვის ავიღოთ წრიული კვეთის მქონე პროფილების გლინვის შემთხვევა (ნახ. 213). გლინის წრიული სიჩქარე კალიბრის გაყოფის ხაზთან შეადგენს:

$$v' = \frac{\pi n}{60} (D - t),$$

სადაც  $(D - t)$  არის გლინების მუშა დიამეტრი კალიბრის გამყოფთან.



ნახ. 213. გლინების მუშა დიამეტრი.

კალიბრის სიღრმეში გლინის წრიული სიჩქარე შეადგენს:

$$v'' = \frac{\pi n}{60} (D - h),$$

სადაც ( $D-h$ ) არის მუშა დიამეტრი კალიბრის ფსკერთან.

ზოლის გლინებიდან გამოსვლის ფაქტიური სიჩქარე უნდა იყოს  $v'$  და  $v''$  სიჩქარეების სიდიდეებს შორის.

დიამეტრს, რომელსაც ზოლის გლინებიდან გამოსვლის სიჩქარე ეთანადება (წინსწრების მხედველობაში მიღების გარეშე) ეწოდება საშუალო მუშა დიამეტრი ( $D_a$ ). ამრიგად, ზოლის გამოსვლის სიჩქარე შეადგენს:

$$v = \frac{\pi \eta^4}{60} \cdot D_a,$$

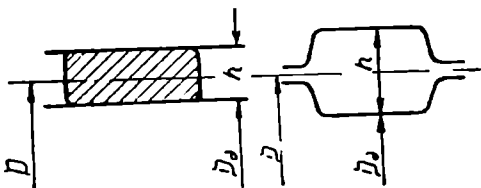
სადაც  $D_a$  არის საშუალო მუშა დიამეტრი.

გლუვ კასრებზე და ყუთისებურ კალიბრებში გლინვის დროს მუშა დიამეტრის სიდიდე გასაგლინავე ზოლის მთელ სიგანეზე მუდმივია.

ამ შემთხვევაში (ნახ. 214) მუშა დიამეტრი განისაზღვრება განტოლებით

$$D_a = D - h. \quad (212)$$

კალიბრებში სადაც მუშა ზედაპირები არაპორიზონტალურია, საშუალო მუშა დიამეტრი შეიძლება განსაზღვრული იქნას საშუა-



ნახ. 214. კალიბრები მუდმივი მუშა დიამეტრით გასაგლინავე ზოლის მთელ სიგანეზე.

ლო დაყვანილი სიმაღლის მიხედვით ( $h_{საა}$ ), რომელიც მოინახება კალიბრის მთლიანი ფართის მის სიგანეზე გაყოფით ( $h_{საა} = \frac{F}{B}$ ). მაშინ საშუალო დიამეტრის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$D_a = D - h_{საა} = D - \frac{F}{B}, \quad (213)$$

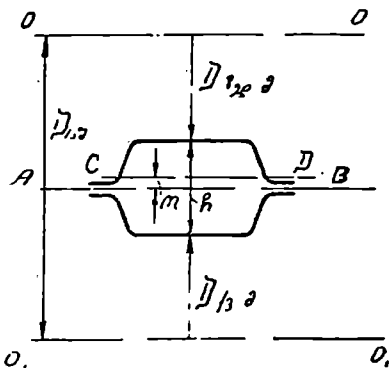
სადაც  $F$  არის კალიბრის ფართი;

$B$  — კალიბრის სიგანე.

## § 9. კალიბრების გამოხაზვის შხის გლინებში

კალიბრების გამოხაზვა უნდა წარმოებდეს შემდეგი მიმდევრობით:

1. როცა ცნობილია  $D_{\text{ს.ა}}$ ,  $m$  და  $h$  პირველად გაივლება გლინების საშუალო ხაზი  $AB$  (ნახ. 215 ა).
2. შემდეგ გაივლება გლინვის ხაზი  $CD$ , რომელიც გლინების



ნახ. 215 ა.

საშუალო ხაზიდან დაცილებული უნდა იყოს მანძილით  $1/4m$ . ერთი და იგივე გლინებზე მდებარე სხვადასხვა კალიბრებისათვის  $m$  შეიძლება იყოს სხვადასხვა.

3. თვითეული კალიბრისათვის რომელიმე წესით მოინახება მისი ნეიტრალური ხაზი (რომელიც უნდა შეუთავსდეს გლინვის ხაზს), რომლის მიმართ უნდა აიგოს კალიბრი.

4. უნდა განისაზღვროს მუშა დიამეტრის სიდიდეები და მოხდეს ზომების შემოწმება შემდეგი ტოლობის მიხედვით:

$$\frac{D_{\text{ს.ა}}}{2} + \frac{D_{\text{გ.ა}}}{2} + h = D_{\text{ს.ა}}$$

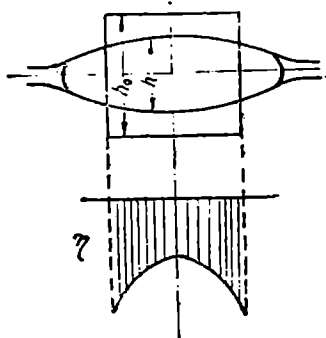
5. დაიტანება შვერილები, ე. ი. ღარების ფაქტიური სიღრმე.

## § 10. მოჭიკვა კალიბრებში და მათი განაწილება გათაკობათა მიხედვით

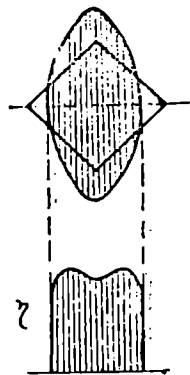
ფასონური პროფილების ქვეშ იგულისხმება ისეთი რთული კვეთები, რომლებიც არ შეიძლება მიღებული იქნას კვადრატული და მართკუთხოვანი ნამზადებიდან მისი ყველა ნაწილების თანაბარი

მოქიმივით. ფასონურ პროფილებს არ მიაკუთვნებენ მარტივ კვეთებს (წრიული, ექვსწახანაგოვანი და სხვა), მიუხედავად იმისა, რომ ისინი მიიღებიან პროფილის სხვადასხვა ნაწილების არათანაბარი მოქიმივით კვადრატული ნამზადიდან.

საერთოდ გასაგლინავი პროფილების უმეტესი ნაწილი განიცდის არათანაბარ მოქიმივას სივანეზე. 215-ე და 216-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია ზოლის არათანაბარი მოქიმივა.



ნახ. 215. კვადრატის დეფორმაცია ოვალში.

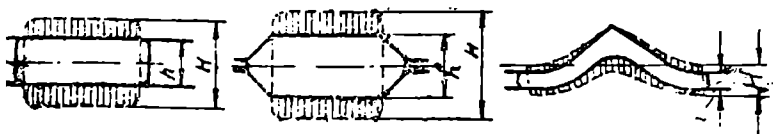


ნახ. 216. ოვალის დეფორმაცია კვადრატში.

კვადრატის ოვალში გლინვის მარტივი შემთხვევისათვის თუ კვადრატული ნამზადის კვეთს წარმოდგენით დაყვოფთ რამდენიმე თანაბარ ნაწილად და მხედველობაში არ მივიღებთ გაფართოებას, მაშინ შესაძლებელია განისაზღვროს თვითეული ნაწილის გამოქიმივა (თუ მას განვიხილავთ როგორც დამოუკიდებელს მეზობელი ნაწილებისაგან). ამისათვის საჭიროა მოცემულ კვეთში ვიცოდეთ კვადრატისა და ოვალის სიმაღლეების ფარდობა. ასეთ გამოქიმივებს „ბუნებრივს“ უწოდებენ. მოცემულ შემთხვევაში ყველაზე მეტ „ბუნებრივ“ გამოქიმივას ადგილი ექნება კვადრატის განაპირა მხარეებში. ლითონის ცალკეული ფენები სხვადასხვანაირ წაგრძელებას მიიღებდნენ, რომ მათ შორის არ არსებობდეს ურთიერთ კავშირი.

არათანაბარი დეფორმაციის შედეგად ლითონის ცალკეულ ფენებს შორის აღიძვრება დაძაბულობანი, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს როგორც პროფილის დაშახინჯება, ასევე მისი მთლიანობის დარღვევა. ასე მაგალითად, ორტესებური კოქის გლინვის დროს, როცა მოქიმივას განიცდის. მხოლოდ მისი ცენტრალური.

დაწილი—ყელი, ხოლო თაროები არ მოიქიმებიან, შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს თაროების დარღვევას ყელის გამოქიმვის გამო. ან ყელის დანაოქებას მისი გამოქიმვის დამუხრუქების ხარჯზე. დანაოქებისა და თაროების დარღვევის ხარისხი დამოკიდებულია



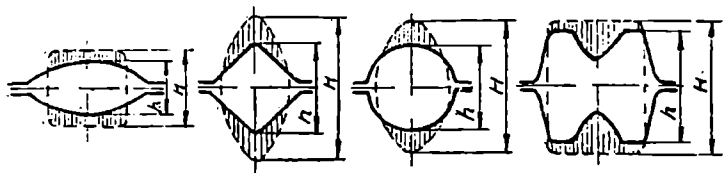
ნახ. 217. თანაბარი მოქიმვის შემთხვევები.

თაროებისა და ყელის ზომების ფარდობაზე. ეს ფარდობა ისეთნაირად უნდა შევარჩიოთ, რომ ზემოთ აღნიშნულ შემთხვევებს ადგილი არ უნდა ჰქონდეს.

ზოლის თანაბარი მოქიმვით გლინვის შემთხვევაში (ნახ. 217) მოქიმვის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta h = Hh.$$

არათანაბარი მოქიმვით კალიბრებში გლინვის დროს მოქიმვის განმსაზღვრელი სიდიდის დადგენა უფრო გართულებულია (ნახ.



ნახ. 218. არათანაბარი მოქიმვის შემთხვევები.

218). ასეთ შემთხვევაში მოქიმვის გამოთვლისათვის კალიბრის მოცემული სიგანისათვის ( $b$ ) ანგარიშობენ მის საშუალო სიმაღლეს ( $h_{საშ}$ ) შემდეგი ფორმულით:

$$h_{საშ} = \frac{F}{b};$$

სადაც  $F$  არის კალიბრის ფართი.

მოქიმვის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta h_{საშ} = H - h_{საშ} = H - \frac{F}{b}. \quad (214)$$

ასეთივე წესით ფასონური ნამზადის მიწოდების შემთხვევაში გამოითვლიან მის საშუალო სიმაღლეს ( $H_{სა}$ ), მაშინ

$$\Delta h_{სა} = H_{სა} - h_{სა} = \frac{F_0}{B} - \frac{F}{b}, \quad (215)$$

სადაც  $F_0$  არის ნამზადის ფართი;

$B$  — ნამზადის სიგანე.

ფაქტიური თანფარდობა კალიბრისა და დაყვანილი ზოლის ნამდვილ ზომებს შორის ოვალისა და კვადრატისათვის წარმოდგენილია 219-ე ნახ-ზე.

საშუალო მოქიშვის სიდიდის ანგარიშის ზეცოალნიშნული წესის ვარდა არსებობს პროფ. ა. ფ. გოლოვინის მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს კალიბრის ფაქტიური ზომების შეცვლა შესაბამისი ზოლის ზომებით. შესაბამისი ზოლი წარმოადგენს მართკუთხოვანი განივკვეთის მქონე ზოლს, რომლის გვერდების ფარდობა ტოლია სათანადო კალიბრის შესაბამისი გვერდების ფარდობისა, ხოლო შესაბამისი ზოლის განივკვეთის ფართი უდრის კალიბრის კვეთის ფართს (ნახ. 220). შესაბამისი ზოლის გვერდების ზომები (დაყვანილი ზომები) გამოითვლება შემდეგი განტოლებების ერთდროული გადაწყვეტით:

$$h_{დაყ} \cdot b_{დაყ} = F;$$

$$\frac{h_{დაყ}}{b_{დაყ}} = \frac{h}{b}.$$

ნახ. 219. კალიბრის ფაქტიური და დაყვანილი ზომები ოვალისა და კვადრატისათვის.

როგორც ცნობილია მოქიშვის მაქსიმალური სიდიდე შეტაცების კუთხისა ( $\alpha$ ) და გლინების დიამეტრის მიხედვით გამოითვლება ფორმულით.

$$\Delta h_{გა} = D(1 - \cos \alpha). \quad (216)$$

ვინაიდან შეტაცების კუთხე დამოკიდებულია ხახუნის კოეფიციენტზე და დაკავშირებულია მასთან განტოლებით:

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha,$$

მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ უშუალო დამოკიდებულებით მოქიშვასა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის შეტაცების კუთხის გან-

საზღვრის გარეშე. ასეთ დამოკიდებულებას შემდეგი სახე ექნება:

$$\Delta h_{\text{აკ}} = D \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}} \right), \quad (217)$$

ან

$$\Delta h_{\text{აკ}} \approx \frac{1}{2} D f^2. \quad (218)$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ აღნიშნული განტოლებები (217) და (218) გამოყვანილია პირობიდან

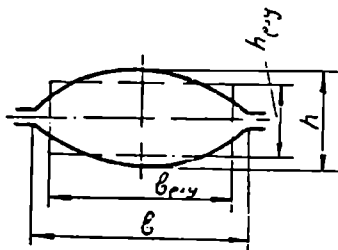
$$\operatorname{tg} \alpha = f$$

ამიტომ გასაგლინავე ზოლის წინა ნაწილის მნიშვნელოვანი დათელვის პირობებში ფაქტიური მაქსიმალური მოკიშვა მეტი იქნება ნანგარისშეგზე. იმ შემთხვევაში როცა ხახუნის კოეფიციენტის მაგივრად მოსახერხებელია შეტაცების კუთხით სარგებლობა შეიძლება შემდეგი ფორმულის გამოყენება:

$$\Delta h_{\text{აკ}} = \alpha^2 R = \left( \frac{\pi}{180} \cdot \alpha^\circ \right)^2 \cdot R. \quad (219)$$

ამ ფორმულით შესაძლებელია გამოვითვალოთ მაქსიმალური მოკიშვა ტრიგონომეტრიული ფუნქციების მოძებნის გარეშე (წინასწარ დადგენილი შეტაცების მაქსიმალური კუთხისათვის).

საერთოდ მოკიშვების შერჩევა და მათი განაწილება ცალკეულ გატარებათა მიხედვით უნდა ჩაითვალოს გლინების დაკალიბრების ერთ-ერთ ძირითად საკითხად. რაც უფრო დიდია მოკიშვის სიდიდე ცალკეული გატარებისათვის, მით ნაკლებია მოცემული პროფილის გაგლინვისათვის საჭირო გატარებათა რიცხვი და შესაბამისად დიდია დგანის წარმადობა.



ნახ. 220. მრუდნახოვანი ფორმის კალიბრის შეცვლა შესაბამისი ზოლით ა. ფ. გოლოვინის მეთოდით.

ამასთან დაკავშირებით უნდა ვეცადოთ ვიმუშაოთ რაც შეიძლება ნაკლები გატარებათა რიცხვით და შესაძლებლობის ფარგლებში დიდი მოკიშვებით და შესაბამისად დიდი გამოკიშვებით უდიდეს შესაძლებელ მოკიშვას განსაზღვრავს:

1. გლინებისა და დგანის დეტალების სიმტკიცე;

2. დგანის ძრავის სიმძლავრე;
3. გლინების მიერ ლითონის შეტაცების პირობა;
4. ლითონის უნარი დეფორმაციისადმი დარღვევის გარეშე, რასაც მისი პლასტიკურობა განსაზღვრავს.

თვითეული გატარებისათვის უნდა შევირჩიოთ ისეთი მოქიშვა, რომ გლინების დროს წარმოშობილი წნევა გლინებზე არ აღემატებოდეს დასაშვებ დატვირთვას.

ამასთან ერთად დაცული უნდა იყოს შეტაცების პირობა. მოქიშვა ცალკეული გატარებისათვის ისეთი უნდა იყოს, რომ შეტაცების კუთხე არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებს (ცხრილი 12).

ცხრილი 12

დასაშვები შეტაცების კუთხის მნიშვნელობა

გლინების სახე	შეტაცების კუთხე გრადუსებში	$\frac{\Delta h}{D}$
1	2	3
ცივად გლინვა დახეუთით კარგად გახეხილ გლინებზე	3—4	$\frac{1}{700} - \frac{1}{400}$
ცივად გლინვა უფრო უხეშად დამუშავებულ გლინებზე	5—8	$\frac{1}{250} - \frac{1}{100}$
ფურცლების ცხლად გლინვა რევერსიულ დგანებზე	12—22	$\frac{1}{30} - \frac{1}{15}$
ფურცლების გლინვა დგანებზე ამჟღადი ზედა გლინით	6—8	$\frac{1}{120} - \frac{1}{100}$
ფურცლების გლინვა დგანებზე ამჟღადი საშუალო გლინით	14—19	$\frac{1}{35} - \frac{1}{18}$
ძორტული მასალის გლინვა	22—24	$\frac{1}{15} - \frac{1}{12}$
დაკეპნილ და დადუღებულ ზედაპირიან გლინებზე	27—34	$\frac{1}{9} - \frac{1}{6}$

უნდა აღინიშნოს, რომ მოქიშვის სწორად შერჩევის საკითხი, სიმტკიცის პირობასთან დამოკიდებულებით, გართულებულია ვინაიდან გლინებზე მოქმედი ლითონის წნევის ძალების განსაზღვრის მეთოდი არასაკმარისად ზუსტია. მიუხედავად აღნიშნულისა ზოგიერთი არაჩებული ფორმულები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას პრაქტიკული ანგარიშების ჩატარების დროს. რაც შეეხება მოქიშვის შერჩევას



ლითონის პლასტიკურობასთან დამოკიდებულებით, იგი ძალზე გართულებულია.

საგლინავ საქმეში დიდი ხნით არსებობდა კირხბერგის მცდარი თეორია, რომლის მიხედვით ზოლის გამოკიშვის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 2-ს (მოკიშვა დაახლოებით 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub>).

პირველი, რომელმაც დაასაბუთა კირხბერგის ზღვრული თეორიის მცდარობა იყო გრუმ-გრეიმაილო, რომელმაც ცდებით დაადგინა, რომ შესაძლებელია ათჯერადი გამოკიშვა ლითონის დარღვევის გარეშე.

საერთოდ უნდა ითქვას, რომ ლითონის ხარისხის გაუმჯობესება და სათანადო დეფორმაციის პირობების შექმნა (ძირითადად დაძაბულობის სქემის შერჩევა) ყოველთვის იძლევა მოკიშვისა და შესაბამისად გამოკიშვის გადიდების საშუალებას ლითონის დარღვევის გარეშე.

მოკიშვების (გამოკიშვების) განაწილების დროს გატარებათა მიხედვით გამოდიან შემდეგი მოსაზრებებიდან:

1. ლითონის გლინებზე წნევის მუდმივობა;
2. სიმძლავრის ხარჯის მუდმივობა;
3. გლინების სიმტკიცის მაქსიმალური გამოყენება;
4. პრაქტიკული მონაცემები.

პირველი წესის მიხედვით ლითონის გლინებზე წნევის მუდმივობა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$P = pb\sqrt{\Delta hr} = \text{const.} \quad (220)$$

სადაც  $p$  არის დეფორმაციის წინალობა გლინვის დროს კგ/მმ<sup>2</sup>;

$b$  — ზოლის საშუალო სიგანე;

$r$  — გლინების რადიუსი.

(220) განტოლებიდან

$$\sqrt{\Delta h} = \frac{P}{pb\sqrt{r}} \quad (221)$$

უკანასკნელი განტოლება გვიჩვენებს, რომ მოკიშვა მით უფრო მცირეა, რაც მეტია ლითონის დეფორმაციის წინალობა და გასაგლინავი ზოლის სიგანე.

$b$  და  $r$  სიდიდეების მუდმივობის შემთხვევაში, მაგალითად, ფურცლების გლინვის დროს რომელიმე დგანზე, მოკიშვა დამოკიდებული იქნება მხოლოდ დეფორმაციის წინალობაზე, რომელიც მით მეტია, რაც უფრო თხელია გასაგლინავი ზოლი და დაბალია გლინვის ტემპერატურა. აღნიშნული მიზეზების გამო ფურცლების გლინ-

ვის დროს პირველი გატარებებისათვის იღებენ მოქიშვის უდიდეს-  
მნიშვნელობებს, ხოლო ბოლო გატარებებისათვის უმცირესს.

პრაქტიკაში გატარებათა მიხედვით მიღებულია შემდეგი გამო-  
ქიშვის კოეფიციენტები:

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. ბლუმინგი და მომჭიშავი დგანები             | 1,10—1,25 |
| 2. სორტული ლითონი:                           |           |
| სუფთა კალიბრები . . . . .                    | 1,14—1,15 |
| მოსამზადებელი კალიბრები                      | 1,14—1,20 |
| კვადრატ-ოვალი                                | 1,20—1,80 |
| რომბული კალიბრი . . . . .                    | 1,25—1,50 |
| ზოლოვანი და წვრილი პროფილებისათვის           | 1,30—2,0  |
| 3. ფასონური პროფილები:                       |           |
| გამომყვანი კალიბრები . . . . .               | 1,10—1,20 |
| შავი კალიბრები (კუთხოვანა და სხვა)           | 1,3—1,4   |
| მომჭიშავი კალიბრები ფასონური პროფილებისათვის | 1,3—1,8   |

გლინებზე მაქსიმალური დასაშვები წნევის ანგარიშისათვის სარ-  
გებლობენ შემდეგი ფორმულებით:

1. ფურცლოვანი დგანებისათვის

$$P_y = \frac{\sigma_b \cdot 0,1 D^3}{\frac{a}{4} \frac{b}{8}}; \quad (222)$$

$$P_y = \frac{\sigma_b \cdot 0,2 d^3}{c}, \quad (223)$$

სადაც  $P_y$  არის მაქსიმალური დასაშვები წნევა გლინის კასრზე, კგ;

$D$ —გლინის დიამეტრი, სმ;

$\sigma_b$ —გლინის დასაშვები ძაბვა, რომელიც ნაჭედი ლეგირე-  
ბული ფოლადისათვის უდრის 1400—1500 კგ/სმ<sup>2</sup>,  
ნახშირბადიანი ნაჭედი ფოლადის გლინებისათვის—  
1200—1300 კგ/სმ<sup>2</sup>, სხმული ფოლადის გლინებისა-  
თვის—1000—1200 კგ/სმ<sup>2</sup>, თუჯის გლინებისათვის—  
700—750 კგ/სმ<sup>2</sup>;

$a$ —დამწნევი ხრახნების ცენტრებს შორის მანძილი, სმ;

$b$ —გასაგლინავი ზოლის სიგანე;

$P_y$ —მაქსიმალური დასაშვები წნევა გლინის ყელზე, კგ;

$d$ —გლინის ყელის დიამეტრი, სმ;

$c$ —მანძილი დამწევი ხრახნის ლერძიდან გლინის კასრის  
ბოლომდე, სმ.

## 2. კალიბრებიანი გლინებისათვის

$$P_x = \frac{a \cdot \sigma_b \cdot 0,1D^3}{xy}, \quad (224)$$

$$P_y = \frac{a \cdot \sigma_b \cdot 0,1d^3}{(a-x)c}, \quad (225)$$

სადაც  $x$  და  $y$ —გლინის ყელების დაშორება ყველაზე უფრო დატვირთულ კალიბრებამდე, სმ.

დასაშვები მაქსიმალური წნევის მიხედვით (221) ფორმულით შესაძლებელია დასაშვები მაქსიმალური აბსოლუტური მოქიშვის ანგარიში. აღნიშნული წესით მოქიშვის ანგარიში გლინების სიმტკიცის მაქსიმალური გამოყენების საშუალებას იძლევა. ამასთანავე უნდა გვახსოვდეს, რომ სიმტკიცის პირობის საფუძველზე ნაანგარიშებმა მაქსიმალურმა მოქიშვამ უნდა დააკმაყოფილოს შეტაცების პირობა.

სიმძლავრის ხარჯის მიხედვით მოქიშვების განაწილების დროს ცდების მონაცემების სიფუძველზე ანგარიშობენ დასაშვებ სიმძლავრის ხარჯს გატარებაზე. შემდეგ, შერჩევის მეთოდით თვითეული გატარებისათვის პოულობენ მოქიშვას, რომელიც დაახლოებით უზრუნველყოფს ენერჯის ხარჯის მუდმივობას:

$$\Delta h = \frac{75N_{\text{გაქ}}}{vpb} \text{ მმ}, \quad (226)$$

სადაც  $N_{\text{გაქ}}$  არის სიმძლავრე, ც. ძ.;

$v$ —გლინების წრიული სიჩქარე, მ/სეკ;

$b$ —გასაგლინავი ზოლის სიგანე, მმ.

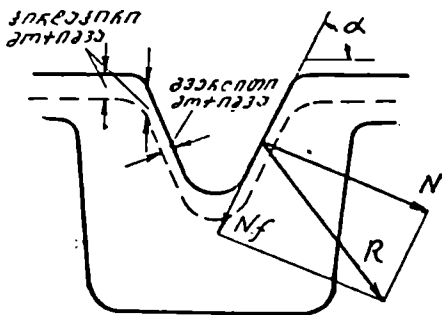
## § 11. პირდაპირი და გვერდითი მოქიშვა

ზოგიერთი პროფილების დაკალიბრების დროს (განსაკუთრებით თაროიანი პროფილების) პირდაპირ ანუ ვერტიკალურ მოქიშვასთან ერთად ადგილი აქვს გვერდით მოქიშვას, ე. ი. ზოლის მოქიშვას ჰორიზონტალური მიმართულებით.

გვერდითი მოქიშვა გამოვლინდება კალიბრის ისეთ ადგილებში სადაც გლინის შემქმნელი მის ღერძთან ჰქმნის განსაზღვრულ კუთხეს, რის შედეგად გასაგლინავი ზოლის გვერდითი ზედაპირები განიცდიან სისქის შემცირებას ზედა და ქვედა გლინის დახრილი ზედაპირების დაახლოების გამო (ნახ. 221).

გვერდითი მოქიშვა მხოლოდ იმ შემთხვევაში წარმოიშვება, რო-

ცა მომკიმავე ზედაპირების დახრის კუთხე მიაღწევს განსაზღვრულ სიდიდეს. მინიმალური კუთხის განსაზღვრისათვის (რომლის დროს გვერდითი მოკიმა იწყებს გამოვლინებას), განვიხილოთ დახრილი ზედაპირის მოკმედება მასთან მდებარე ლითონის ფენაზე.



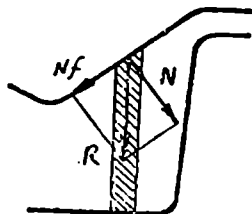
ნახ. 221. გვერდითი მოკიმა გამკვეთ კალიბრში.

ცხადია, რომ გვერდითი მოკიმა იმ შემთხვევაში გამოვლინდება, როცა ნორმალური წნევისა ( $N$ ) და ხახუნის ძალის ( $fN$ ) ტოლქმედი ( $R$ ) გადაიხრება ვერტიკალური მიმართულებიდან (იხ. ნახ. 221), ე. ი. როცა მომკიმავე ზედაპირის დახრის კუთხე აღემატება ხახუნის კუთხეს:

$$\alpha > \beta, \text{ ანუ } \operatorname{tg} \alpha > f.$$

მომკიმავე ზედაპირის მცირე დახრის შემთხვევაში (ნახ. 222) ზოლის ნაწილაკები მართალია განიცდიან გვერდით წნევას, მაგრამ ისინი მთლიანად თან მიაქვთ გლინვის მიმართულებით მოდებულ ძალებს, რის შედეგად ზოლი ღებულობს სიმაღლეზე ფარდობითი მოკიმვის შესაბამის გამოკიმვასა და გაფართოებას.

აღნიშნულ მოვლენებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვთ ფასონურ არასიმეტრიულ კალიბრებში გაფართოების განაწილების საკითხის გადაწყვეტის დროს.



ნახ. 222. გამკვეთი კალიბრი ბლავი გამკვეთი თხემით.

## § 12. ღმრთობის კერძო და საერთო კოეფიციენტები

მოცემული გატარებისათვის ზოლის განიკვეთების ფარდობას გატარებამდე და გატარების შემდეგ (ან მისი სიგრძეების ფარდობას) უწოდებენ წაგრძელების კერძო კოეფიციენტს ანუ კერძო გამოკიმვას:

$$\lambda = \frac{F_0}{F} = \frac{L_2}{L_1} \quad (227)$$

ზოგიერთი პროფილების დაკალიბრების დროს (როგორცაა ზოლი, ფურცელი, კუთხოვანა და სხვა) ანგარიშისათვის უფრო მოსახერხებელია ვისარგებლოთ არა გამოკიშვის კოეფიციენტით, არამედ დეფორმაციის კოეფიციენტით სიმაღლეზე, რომელიც წარმოადგენს ზოლის სიმაღლეების ფარდობას გატარებამდე და გატარების შემდეგ:

$$\eta = \frac{H}{h} \quad (228)$$

გაფართოების უქონლობის შემთხვევაში

$$\lambda = \frac{HB}{hb} = \frac{H}{h} = \eta \quad (229)$$

პრაქტიკაში ხშირად სარგებლობენ არა მარტო დეფორმაციის კოეფიციენტით სიმაღლეზე, არამედ ფარდობითი მოკიშვით, რომელსაც ჩვეულებრივად პროცენტებში გამოსახავენ:

$$\frac{\Delta h}{H} \cdot 100\% = \frac{H-h}{H} \cdot 100\% \quad (230)$$

საერთო ანუ ჯამურ გამოკიშვას უწოდებენ გამოსავალი ნამზადისა და მზა პროფილის განივკვეთების ფარდობას:

$$\lambda_0 = \frac{F_0}{F_n}$$

ჯამური გამოკიშვა მთელ გლინვაზე უდრის კერძო გამოკიშვების ნამრავლს:

$$\lambda_0 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_n \quad (231)$$

სადაც  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$  თვითეული გატარების კერძო გამოკიშვებია. მათი სიდიდე უდრის:

$$\lambda_1 = \frac{F_0}{F_1}, \quad \lambda_2 = \frac{F_1}{F_2} \dots \lambda_n = \frac{F_{n-1}}{F_n},$$

სადაც  $F_1, F_2 \dots F_n$  — განივკვეთის ფართი თვითეული გატარების შემდეგ.

პროფილის რამდენიმე გატარებით გაგლინვის დროს გარდა ჯამური და კერძო მოკიშვებისა შესაძლებელია განვსაზღვროთ საშუალო მოკიშვა შემდეგი ტოლობიდან:

$$\lambda_{\text{საშ}} = \sqrt[n]{\lambda_0} = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F}}, \quad (232)$$

სადაც  $n$  არის გატარებათა რიცხვი.

ამ შემთხვევაში ყველა კერძო გამოკიშვები ერთმანეთის ტოლია. თუ ცნობილია  $\lambda_0$  და  $\lambda_{საა}$  შეიძლება ვიპოვოთ გატარებათა რიცხვი (232) გამოსახულების გალოგარითმების შემდეგ:

$$\lg \lambda_{საა} = -\frac{1}{n} (\lg F_0 - \lg F_n),$$

აქედან

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \lambda_{საა}}, \quad (233)$$

$$n = \frac{\lg \lambda_0}{\lg \lambda_{საა}}. \quad (234)$$

დეფორმაციის კოეფიციენტების სწორად შერჩევას ცალკეული გატარებების მიხედვით უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ყველა პროფილების დაკალიბრების დროს, ამიტომ დამკალიბრებელს ნათელი წარმოდგენა უნდა ჰქონდეს სხვადასხვა ფაქტორების დეფორმაციის კოეფიციენტებზე გავლენის შესახებ.

ძირითად ფაქტორებს, რომლებიც განსაზღვრავს მაქსიმალურად შესაძლებელ დეფორმაციას მოცემულ გატარებისათვის წარმოადგენენ კალიბრის ფორმა, ლითონის პლასტიკურობა, გლინების სიმტკიცე, ამძრავის სიმძლავრე, შეტაცების კუთხე და გლინების ცვეთა.

ყველა ჩამოთვლილი ფაქტორების გათვალისწინება მნიშვნელოვან სიძნელებთანაა დაკავშირებული, ვინაიდან ზოგიერთი მათგანი გლინვის თეორიაში სუსტადაა გაშუქებული, ხოლო ანგარიშის არსებული მეთოდები არასაკმარისად ზუსტია და ხშირად ურთიერთ საწინააღმდეგო შედეგებს იძლევა. ამიტომ დამკალიბრებელი იძულებულია მიმართოს პრაქტიკულ მონაცემებს.

### § 13. გაფართოება კალიბრებში

გლუვ კასრებზე და კალიბრებში თავისუფალი გაფართოებით გლინვის დროს ლითონს საშუალება აქვს თავისუფლად გადაადგილდეს გლინვის პერპენდიკულიარული მიმართულებით. ამ შემთხვევაში ზოლის გვერდითი ზედაპირები ღებულობენ ამოზნექილ ან ჩაზნექილ ფორმას, რაც დამოკიდებულია პროფილის კვეთზე დეფორმაციის განაწილების ხარისხზე.

თავისუფალი გაფართოებით გლინვა წარმოადგენს დეფორმაციის ყველაზე მარტივ შემთხვევას. კალიბრებში გლინვის დროს,

(როცა ლითონი მის გვერდით ზედაპირებთან შეხებაში მოდის) გაფართოების სიდიდის დადგენა გართულებულია. მოჭიმული ლითონი ეხება რა კალიბრის გვერდით კედლებს გლინების ცვალებადი დიამეტრით, არ ემორჩილება თავისუფალი გაფართოებისათვის დადგენილ კანონზომიერებებს. თავისუფალ (ბუნებრივი) გაფართოებას ამახინჯებს ლითონის რთული დენადობა პროფილის განივკვეთის ერთი ნაწილიდან მეორეში. ასეთ შემთხვევაში ზოლი დებულობს არათავისუფალ, შეფერხებულ ან იძულებით გაფართოებას.

ლითონი ფასონური პროფილის სხვადასხვა ნაწილში განიციდის სხვადასხვა ვერტიკალურ და გვერდით მოჭიმვებს და ისწრაფვის დიდი მოჭიმვის ადგილიდან გადაადგილდეს მცირე მოჭიმვისაკენ.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი რიცხვისა ლითონის ქვევის საკითხი შეფერხებული და იძულებითი გაფართოებით კალიბრებში გლინვის დროს არასაკმაოდ ნათელია, რაც ძალიან ამნელებს კალიბრების შევსებადობის ანგარიშს.

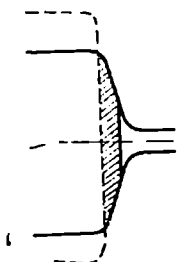
თუ კალიბრში მიწოდებული ზოლის სიგანე მცირეა, მაშინ ადგილი ექნება მის არშეესებას; პირიქით, თუ მიწოდებული ზოლი საკმაოდ განიერია, მაშინ გლინვის დროს გაფართოებული ლითონი არა მარტო შეავსებს კალიბრს, არამედ გამოდინდება გლინებს შორის არსებულ ღრეჩოში და წარმოქმნის ფხას. გაფართოების სწორად გაანგარიშების შემთხვევაში, ე. ი. როცა მიწოდებული ზოლის სიგანე საჭირო ზომისაა, ლითონი ზუსტად შეავსებს კალიბრს.

ყუთისმაგვარ კალიბრებში გლინვის დროს წნევა, რომელიც წარმოიშეება ლითონსა და კალიბრის გვერდით კედლებს შორის ხელს უშლის ლითონის ბუნებრივ გადაადგილებას, რაც ადიდებს ლითონის წნევას გლინებზე და დეფორმაციის სიდიდეს გამოჭიმვის მიმართულებით. ასეთ შემთხვევაში შეფერხებული გაფართოება გაცილებით ნაკლებია თავისუფალზე; ამასთან ერთად უდიდეს შეფერხებას განიცდიან პროფილის ის უბნები, რომლებიც იმყოფებიან კალიბრის ვიწრო ადგილებში (ნახ. 223). დეფორმაციის პირობები კალიბრის შუა ნაწილში უახლოვდება თავისუფალ გლინვას, რის გამოც გაფართოება კალიბრის ამ ნაწილში მცირედ განსხვავდება თავისუფალი გაფართოებისაგან.

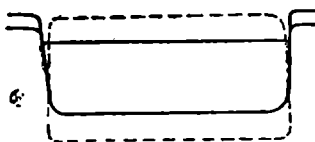
გაფართოების შეფერხების დიდი ხარისხი შეიძლება მიღწეული იქნას 224 ე ნახ-ზე წარმოდგენილ კალიბრში.

ამ შემთხვევაში კალიბრის გვერდითი ზედაპირების დახრისა და მისაწოდებელი ზოლის ზედა კუთხეების მომრგვალების სწორად შერჩევით გაფართოება შეიძლება დაყვანილ იქნას ნულამდის.

მცირე გაფართოებას ადგილი აქვს კვადრატულ და რომბულ კალიბრებში, რაც აიხსნება კალიბრის კედლების შემკავებელი გავლენით, რომლებიც ხელს უშლიან გაფართოების განვითარებას.



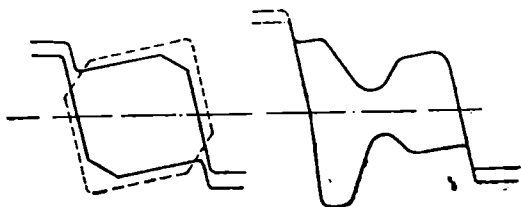
ნახ. 223. ზოლის გაფართოება ყუთისმაგვარ კალიბრში.



ნახ. 224. ზოლის გაფართოება დახურულ კალიბრში.

ზოგიერთ შემთხვევაში, მაგალითად, ირიბი დაკალიბრების დროს, შეიძლება გვექნდეს უარყოფითი გაფართოება, ე. ი. ზოლი მოიქცევა ყოველი მხრიდან (ნახ. 225).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ კალიბრის შევსების ხარისხის ანგარიში ძალიან რთულია და უმეტეს შემთხვევაში განისაზღვრება პრაქტიკის მონაცემების საფუძველზე. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ კალიბრების აგების დროს სასარგებლოა ვიცოდეთ თავისუფალი გაფართოების შეფერხების ხარისხი, რომელიც წარმოადგენს თავისუფალ ( $\Delta b$ ) და შეფერხებულ ( $\Delta b_{\text{შფ}}$ ) გაფართოებათა სხვაობისა და თავისუფალი გაფართოების ფარდობას:



ნახ. 225. გაფართოება ირიბად განლაგებულ კალიბრებში.

ფალი გაფართოების შეფერხების ხარისხი, რომელიც წარმოადგენს თავისუფალ ( $\Delta b$ ) და შეფერხებულ ( $\Delta b_{\text{შფ}}$ ) გაფართოებათა სხვაობისა და თავისუფალი გაფართოების ფარდობას:

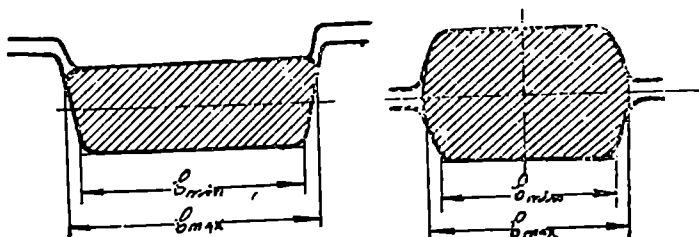
$$\Theta = \frac{\Delta b - \Delta b_{\text{შფ}}}{\Delta b} \quad (235)$$

თავისუფალი გაფართოების სრული შეფერხების შემთხვევაში,  $\Theta = 1$ , ხოლო უარყოფითი გაფართოების დროს  $\Theta > 1$ . თავისუფა.



ლი გაფართოების კალიბრებში ( $\Delta b = \Delta b_{\text{ფე}}$ ) შეფერხების ხარისხი ნულის ტოლია.

დახრილ კედლებიან კალიბრებში გლინვის დროს (ნახ. 226) ზოლის საანგარიშო სიგანედ უნდა ავიღოთ მისი საშუალო სიგანე:



ნახ. 226. (236) განტოლების განმარტებითი სქემა.

$$b_{\text{საშ}} = \frac{b_{\text{min}} + b_{\text{max}}}{2}$$

მაშინ შეფერხებული გაფართოება

$$\Delta b_{\text{ფე}} = b_{\text{საშ}} - B, \quad (236)$$

სადაც  $B$  არის ზოლის სიგანე გატარებამდე.

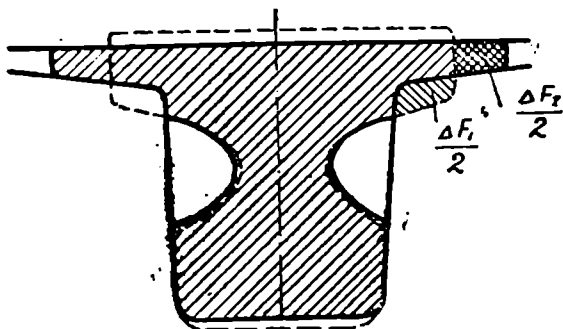
გარდა შეფერხებული კალიბრებისა (სადაც თავისუფალი გაფართოება ან სრულებით არა გვაქვს ან გვაქვს მცირე ოდენობით) ძალიან ხშირად გვხვდება ისეთი კალიბრები სადაც ადგილი აქვს იძულებით გაფართოებას. უკანასკნელის ერთ-ერთ მკაფიო მაგალითად შეიძლება ჩაითვალოს რელსის გლინვა წიბოვან კალიბრში (ნახ. 227). ამ კალიბრში გლინვის დროს რელსის ძირის განაპირა მხარეები განიციდიან ძლიერ მოკიშვას, მაშინ როცა ზოლის სხვა დანარჩენი ნაწილები უმნიშვნელო რაოდენობით მოიკიშებიან. რელსის ძირის ძლიერ მოკიშვულ ნაწილებს მათი მცირე ფართის გამო პროფილის მთელ ფართთან შედარებით არ შეუძლიათ მიიღონ მოკიშვის შესაბამისი გამოკიშვა. ამიტომ მთელი გამოდენილი ლითონი მიდის სიგანეზე და ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$\Delta F_1 \approx \Delta F_2$$

თუ ზოლი მიიღებს რაღაც საშუალო გამოკიშვას ( $\lambda_{\text{საშ}}$ ), მაშინ მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ

$$\Delta F_2 = \frac{\Delta F_1}{\lambda_{\text{საშ}}} \quad (237)$$

ამ განტოლებით პრაქტიკული ანგარიშების ჩატარებისათვის საკმარისა რომელიმე მეთოდით განსაზღვრული იქნას საშუალო გამო-



ნახ. 227. რელსის ძირის იძულებითი გაფართოება

კიბვა (ა.ს.ა). ფორმულის სიზუსტე გამოკიბვისა და მოკიბული ფართების შემცირებით იზრდება.

#### § 14. სასუფთაო კალიბრების ზომების დადგენა

სასუფთაო კალიბრის ზომებს განსაზღვრავს საკირო პროფილის ზომები.

გლინვის მომენტში ცხელი პროფილი განსაზღვრული სიდიდით ყოველთვის მეტია ცივ პროფილზე, რომელიც დამოკიდებულია ლითონის სითბური გაფართოების კოეფიციენტზე. ეს კოეფიციენტი დამოკიდებულია გასაგლინავი ლითონის შედგენილობაზე და გლინვის ტემპერატურაზე.

ფოლადებისათვის იგი საშუალოდ შეადგენს 1,010—1,015. გლინვის დროს საკირო ზომების მქონე ცივი პროფილის მისაღებად, აუცილებელია სასუფთაო კალიბრის ზომები გავადიდოთ ლითონის დაჯდომის სიდიდით, რომელიც მისი სითბური გაფართოების კოეფიციენტს შეესაბამება. გარდა აღნიშნულისა ლითონის დაჯდომა გლინვის შემდეგ გაციებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას იმიტომ, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში იგი იწვევს პროფილის ფორმის სახეცვლილებას.

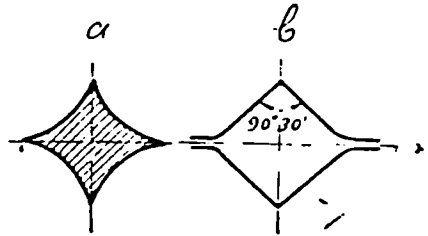
ასე მაგალითად, თუ სასუფთაო კვადრატულ კალიბრს ავაგებთ როგორც წესიერ კვადრატს, მაშინ ზოლი გაგლინვის შემდეგ მიიღებს 228-ე ნახ-ზე წარმოდგენილ  $a$  ფორმას. მიზეზი აღნიშნულისა მდგომარეობს იმაში, რომ კვადრატის წიბოები უფრო სწრაფად

ცივდება, ვიდრე შუა ნაწილი და ისინი გაციების დროს. თავისკენ ეწევიან გვერდით წახნაგებს. სასუფთაო კვადრატულ კალიბრებში გასაგლინავი ზოლის დაჯდომის აცილების მიზნით  $90^\circ$  კუთხის ნაცვლად იღებენ  $90^\circ 30'$  (ნახ. 228)..

ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი მრგვალი და ზოგიერთი სხვა პროფილების გლინვის დროს.

თუ ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტს  $\alpha$  ასოთი აღვნიშნავთ, მაშინ ცხელი პროფილის ზომების ( $h_1, b_1, l_1$ ) შეფარდება ცივი პროფილის ზომებთან ( $h_2, b_2, l_2$ ) უდრის:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{l_1}{l_2} = 1 + \alpha t \quad (238)$$



ნახ. 228. სასუფთაო კალიბრი კვადრატული პროფილისათვის

აღნიშნული ფარდობის სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და შეადგენს:

$t^\circ$	$1 + \alpha t$
800	1,010
900	1,011
1000	1,012
1100	1,013
1200	1,0145

სასუფთაო კალიბრის ზომები მისი გაცვეთის გამო იზრდება კალიბრის გაცვეთა ლითონის დეფორმაციის ხასიათის მიხედვით შეიძლება იყოს როგორც თანაბარი, ისე არათანაბარი. გაცვეთის უკანასკნელი სახე დამოკიდებულია არათანაბარ დეფორმაციაზე. სასუფთაო კალიბრის დაპროექტების დროს ყველა ზემოთ აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინება უზრუნველყოფს ზუსტი პროფილისა და ზომების მქონე ნაგლინის მიღებას.

### § 15. დაზვევები გლინვის დროს

ყოველი პროფილის ნომინალურ ზომებზე იძლევიან დაშვებას. ცხლად გლინვის დროს დაშვებას იღებენ ნომინალური ზომის ორთავე მხრიდან, მაგალითად  $\pm 1,5\%$ . ასე, მაგალითად, 30 მმ. დიამეტრ-

რის მრგვალი პროფილის გლინვის დროს ფაქტიური დიამეტრები შეიძლება იყოს:

$$30 + (30 \cdot 0,015) = 30,45 \text{ მმ}$$

$$30 - (30 \cdot 0,015) = 29,55 \text{ მმ.}$$

დაშვებების არსებობა საშუალებას იძლევა მივიღოთ პირველხარისხოვანი ნაგლინი გლინვის ცვალებად პირობებში.

ლითონის ეკონომიის მიზნით უდიდესი მნიშვნელობა აქვს უარყოფითი დაშვებებით გლინვას (ვინაიდან გლინვით მიიღება რამდენიმე მილიონი ტონა ლითონი). ამ დიდი ამოცანის გადაჭრა არც ისე ადვილია, სირთულე იმაში მდგომარეობს, რომ ცხლადნაგლინი პროფილის ზომების სიზუსტეზე ძალიან ბევრი ფაქტორები ახდენენ გავლენას, მათ რიცხვში:

1. გლინვის საბოლოო ტემპერატურა;
2. მოქიმივის სიდიდე სასუფთაო კალიბრში, რომელიც ძირითადად განსაზღვრავს გლინების დრეკად დეფორმაციას;
3. დგარების კონსტრუქცია;
4. კალიბრისა და საფენების ცვეთა;
5. დგანის აწყობისა და მომსახურე პერსონალის მუშაობის ხარისხი;
6. გლინების არმატურის კონსტრუქცია და მათი დაყენების სიზუსტე და სხვა.

მთელი რიგი ორგანიზაციულ ტექნიკური ღონისძიებების გატარებით მგლინავეები აღწევენ უარყოფითი დაშვებებით გლინვას.

გარდა ლითონის ეკონომიისა უარყოფითი დაშვებებით გლინვა ადიდებს კალიბრის მუშაობის ხანგრძლიობას. ასეთ შემთხვევაში კალიბრი იჩარხება მინიმალური ზომების მიხედვით. კალიბრების გაჩარხვის ასეთ წესს უწოდებენ მინუსით დაკალიბრებას.

## § 16. სხმულეების ფორმა და ზომები

საგლინავ საამქროებში შემოსულ ფოლადის სხმულეებს აქვთ სხვადასხვანაირი ფორმა და წონა: იყენებენ მრგვალი, კვადრატული მართკუთხოვანი და მრავალწახნაგოვანი კვეთის მქონე სხმულეებს. უმეტესი გავრცელება ჰპოვეს კვადრატულმა და მართკუთხოვანმა სხმულეებმა. კვადრატული და მართკუთხოვანი სხმულეები გვერდების ფარდობით არა უმეტეს 1,25 გამოიყენება სორტული ნაგლინის წარმოებისათვის. მართკუთხოვანი კვეთის სხმულეებს გვერდების უფრო დიდი ფარდობით იყენებენ ფურცლოვანი ნაგლინის მისაღებად.

სხმულების წონა უმთავრესად დამოკიდებულია ფოლადის ქიმიურ შედგენილობაზე და საგლინავე დგანის ტიპსა და კონსტრუქციაზე.

სხმულების მახასიათებლად უნდა ჩაითვალოს მისი წონა, სიმაღლის შეფარდება საშუალო კვეთის გვერდთან და წახნაგების კონსურობა (დახრილობა). სხმულის წონა აღწევს 40 ტ და მეტს. ყველაზე მეტ გამოყენებას პოულობს სხმულები წონით 1,5—15 ტ. მშვიდი ფოლადის სხმულებისათვის სიმაღლის შეფარდება საშუალო კვეთის გვერდთან არ უნდა აღემატებოდეს 2,5—3, ხოლო მდულარა ფოლადისათვის 3,5. წახნაგების დახრილობა კვადრატული სხმულებისათვის ჩვეულებრივად შეადგენს სიმაღლის 3—5%.

სხმულის ზომები მოცემული წონის მიხედვით განისაზღვრება ტოლობიდან:

$$G = V\gamma \quad (239)$$

სადაც  $G$  არის სხმულის წონა, კგ;

$V$  — სხმულის მოცულობა, დმ<sup>3</sup>;

$\gamma$  — ფოლადის ხვედრითი წონა, რომელიც მდულარა ფოლადის სხმულისათვის უდრის 6,7 კგ/დმ<sup>3</sup>, მშვიდი ფოლადისათვის—7,5 კგ/დმ<sup>3</sup>.

(239) ტოლობიდან ვპოულობთ სხმულის მოცულობას

$$V = \frac{G}{\gamma}. \quad (240)$$

მიღებული მოცულობა გამოვსახოთ სხმულის სიმაღლისა და განივკვეთის ფართის ნამრავლით:

$$V = QH. \quad (241)$$

სადაც  $Q$  არის საშუალო კვეთის ფართი, დმ<sup>2</sup>;

$H$  — სხმულის სიმაღლე, დმ.

კვადრატული კვეთის სხმულებისათვის

$$V = a^2 H. \quad (242)$$

სადაც  $a$  არის საშუალო კვეთის გვერდი, დმ. ვლებულობთ, რომ

$H = 3a,$

მაშინ

$$V = 3a^3,$$

საიდანაც

$$a = \sqrt[3]{\frac{V}{3}}. \quad (243)$$

მართკუთხოვანი კვეთის სხმულებისათვის, როცა მოცემულია საშუალო კვეთის გვერდების თარღობა და ჯამი:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b}{c} = k \\ b+c=2a \end{array} \right\} \quad (244).$$

ამორი ტოლობის ერთდროული გადაწყვეტით ვპოულ ობტმართკუთხოვანი სხმულის საშუალო კვეთის გვერდების ზომებს ( $b, c$ ).

---

**ნახევარპროდუქციის საზღვრისა და გლინების დაკალიბრება**

ნახევარპროდუქტები—ბლუმსები და ნაშადები—იგლინება ბლუმინგზე, მომკიმავე ტრიო და უწყვეტ—მოსამზადებელ დგანებზე. ქვემოთ განვიხილავთ აღნიშნული დგანების გლინების დაკალიბრებას.

**§ 1. ბლუმინგის გლინების დაკალიბრება**

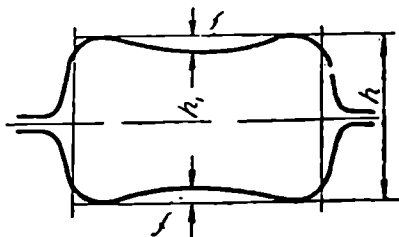
ბლუმინგზე გასაგლინავ მასალას წარმოადგენს კვადრატული და მართკუთხოვანი კვეთის სხმულები. მათი მოკიშვა პირველად წარმოებს გლინების გლუვ კასრზე და შემდეგ მართკუთხოვან (ყუთის-მაგვარ) კალიბრებში.

მართკუთხოვანი (ყუთისმაგვარი) კალიბრების უპირატესობას შეადგენს:

1. ჩაქრის მცირე სიღრმე, რაც უზრუნველყოფს გლინების უმნიშვნელო დასუსტებას;

2. ლითონის ერთ კალიბრში რამდენიმეჯერ გატარების შესაძლებლობა (გლინებს შორის მანძილის შემცირების საშუალებით ყოველი გატარების შემდეგ), რაც ამცირებს გლინებისათვის აუცილებელი კალიბრების რიცხვს.

კალიბრების შიგა ზედაპირს ჩვეულებრივად აკეთებენ ამოზნექილს, გასაგლინავი ზოლის როლგანგზე მდგრადობის გადიდების მიზნით. კალიბრების გვერდითი ზედაპირების დახრა შეადგენს 10—15%, მათი გადაჩარხვისა და ნაშადის სწორად მიწოდებისათვის.



ნახ. 229. ბლუმინგის კალიბრის აგება.

ბლუმინგის კალიბრის აგება წარმოდგენილია 229-ე ნახ-ზე;

ამოზნევის სიმაღლეს დაახლოებით იღებენ კალიბრის სიმაღლის 5<sup>0</sup>/<sub>10</sub>.

$$f=0,05h.$$

ბლუმინგის დაკალიბრების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას შემდეგი გარემოებანი:

1. ბლუმინგის წარმადობა;
2. სხმულის წონა და ბლუმინგზე გაგლინული ნაშხადის ზომები;
3. გლინების რაციონალური დიამეტრი, მათი კუთხური სიჩქარე და მოქიშვა ყოველ გატარებაზე;
4. საგლინავი დგანის ძრავის სიმძლავრე.

წარმოების მოცემულ პირობებში ბლუმინგის წარმადობა უნდა იყოს მაქსიმალური, ვინაიდან თანამედროვე მეტალურგიული ქარხნების სტრუქტურა თხოულობს მთელი ლითონის გატარებას ბლუმინგზე. გამონაკლისს შეადგენს ზოგიერთი ლეგირებული ფოლადები, რომლებსაც ასხამენ მცირე ზომის სხმულებად.

სხმულის წონასა და ბლუმინგის წარმადობას შორის არსებობს შემდეგი სახის დამოკიდებულება (ნახ. 230).

230-ე ნახ-ზე წარმოდგენილ მრუდს აქვს მაქსიმუმი, რომელიც სხმულის ოპტიმალური წონისათვის ეთანადება დგანის მაქსიმალურ წარმადობას. აღნიშნული მაქსიმუმის მდებარეობა დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე, მათ შორის პირველ რიგში გლინების დიამეტრზე და ძრავის სიმძლავრეზე.

ბლუმინგებისათვის გლინების დიამეტრით 1100—1200 მმ სხმულების ოპტიმალური წონა მერყეობს 6—8 ტ საზღვრებში, ხოლო ბლუმინგებისათვის გლინების დიამეტრით 850—950 მმ 3—5 ტ საზღვრებში.

სხმულის წონის გადიდება შეზღუდულია, ვინაიდან

მცირე კვეთის ბლუმსების გლინვის დროს ვლებულობთ დიდი სიგრძის ზოლებს და დგანზე მუშაობა მოუხერხებელი ხდება. გარდა აღნიშნულისა სხმულის განივკვეთის ზომების გადიდება პირველი გატარების დროს ამცირებს დეფორმაციის გაფრცელების სიღრმეს, რაც იწვევს შინაგანი ძაბვების წარმოქმნასა და ლითონის მთლიანობის დარღვევას.



სხმულის წონის გაზრდა მისი სიმალის ხარჯზე (მუდმივი კვეთისათვის) იძლევა წარმადობის უმნიშვნელო გადიდებას, ვინაიდან სამანქანო დრო ( $t_{\text{სამ}}$ ) იზრდება. წარმადობის გადიდება ( $\Delta P$ ) ამ შემთხვევაში მიახლოებით შეიძლება გამოთვლილი იქნას შემდეგი განტოლებით:

$$\Delta P\% = \frac{t_{\text{სამ}}}{t_{\text{სამ}} + t_{\text{ააუზ}}} \cdot \Delta G\%, \quad (245)$$

სადაც  $\Delta G$  არის სხმულის წონის ნაზრდი, %;

$t_{\text{ააუზ}}$  — პაუზების დრო.

ბლუმინგის წარმადობის გადიდებაზე სხმულის წონასთან შედარებით მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გამოსაშვები ნაშვალის კვეთის გადიდება. ამიტომ ბლუმინგის მაქსიმალური წარმადობის თვალსაზრისით მასზე უნდა გაიგლინოს გადიდებული კვეთის მქონე ნახევარპროდუქტები, ვინაიდან მათი შემდგომი დამუშავება შესაძლებელია მოსამზადებელ და უკანასკნელ დგანებზე.

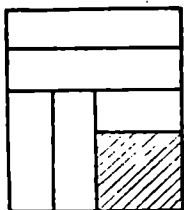
თვითეულ გატარებაზე მოკიშვების შერჩევის დროს, ძრავის მოცემული სიმძლავრისათვის, უზრუნველყოფილი უნდა იქნას დგანის მაქსიმალური წარმადობა.

სხმულების გატარებათა რიცხვი ბლუმინგზე, როგორც წესი კენტი, ამიტომ სხმულის სიმალეზე და სიგანეზე თანაბარი მოკიშვისათვის, კვადრატული კვეთის ბლუმსების გლინვის დროს, სასურველია მართკუთხოვანი კვეთის სხმულების გამოყენება, რომელთა უდიდესი გვერდი უმცირესს აღემატება საშუალო მოკიშვის სიდიდით. ამ შემთხვევაში ყოველი კენტი გატარების შემდეგ ზოლს ექნება კვადრატული კვეთი (ნახ. 231). ამავე მიზეზით მართკუთხოვანი კვეთის ბლუმსები უნდა გაიგლინოს კვადრატული კვეთის მქონე სხმულებიდან (ნახ. 232). აღნიშნული წესის დაუყველობას მიყევართ სხმულის ერთ-ერთ მხარეზე მოკიშვის ხელოვნურ შემცირებად.

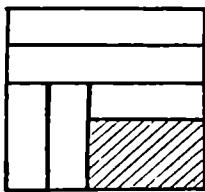
ბლუმინგის გლინების დაკალიბრების ორი ძირითადი წესი არსებობს — სიმეტრიული და თანმიმდევრობითი. პირველი წესის მიხედვით გლინების შუა ნაწილს აქვს გლუვი კასრი ან განიერი კალიბრი ძალიან მკირე ჩაჭრით. გლუვი კასრის ორთავე მხარეს განლაგებულია კალიბრები (ნახ. 233). ასეთი განლაგება იძლევა ყველაზე დატვირთვის თანაბარ განაწილებას გლინების ყელზე.

დაკალიბრების მეორე წესის მიხედვით კალიბრები გლინის მთელ კასრზე განაწილებულია თანმიმდევრობით, პირველი განიერი კალიბრი მოთავსებულია ამძრავის მხარეს (ნახ. 234).

კალიბრების მეორე წესმა გავრცელება ჰპომა ჩვენს ქვეყანაში-  
იგი პირველთან შედარებით უზრუნველყოფს ბლუმინგის მაქსიმალურ წარმადობას, ვინაიდან ზოლის გადაცემა კალიბრიდან კა-

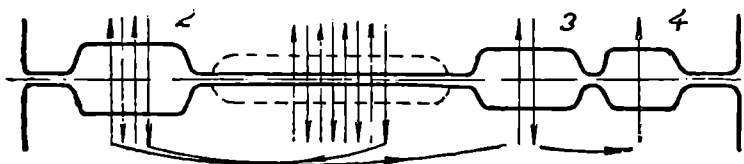


ნახ. 231. კვადრატული ბლუმის მიღების თანმიმდევრობა მართკუთხოვანი კვეთის სხმულიდან.



ნახ. 232. მართკუთხოვანი ბლუმის მიღების თანმიმდევრობა კვადრატული კვეთის სხმულიდან.

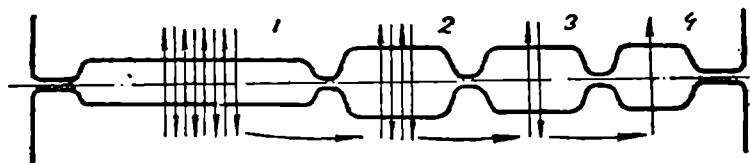
ლიბრში წარმოებს ერთი მიმართულებით. მუშაობის პროცესში შემ-  
ხვედრი გადაადგილება აცილებულია და გლინგის ტემპი პირველ  
წესთან შედარებით გაცილებით მაღალია.



ნახ. 233. კალიბრების სიშეტრიული განლაგება ბლუმინგის გლინებზე.

კალიბრების განაწილების პირველი წესი უფრო მოხერხებულია  
სლიაბების გლინგის დროს.

გლინის ყელზე ნამწვის მოხვედრის ასაცილებლად განაპირა



ნახ. 234. კალიბრების თანმიმდევრობითი განლაგება ბლუმინგის გლინებზე.

შევირღებში აკეთებენ ამონაჰრებს. კალიბრების სიგანე ისე უნდა  
შევირჩიოთ, რომ უზრუნველყოფილი უნდა იქნას ზოლის მდგრადი  
მიწოდება გადაბრუნების შემდეგ. საბოლოო კალიბრების ზომებს  
განსაზღვრავს მისაღები ბლუმის ზომები.

როგორც წესი, ზოლის გადაბრუნებას აწარმოებენ, მაშინ როცა მისი განივკვეთის გვერდების ფარდობა 1,5 აღემატება. ზოლის გლინვა შემდეგ კალიბრში წარმოებს, მაშინ, როცა კალიბრის სიგანე 10—15 მმ აღემატება მიწოდებული ზოლის სიგანეს. ისეთი ზოლების გლინვის დროს, რომელთა გვერდების ფარდობა 1,5 აღემატება გლუვ კასრზე გატარების დროს მოსალოდნელია გადახრა (გადაცერება), რაც აძნელებს და უმეტეს შემთხვევაში შეუძლებელს ხდის შემდგომ გლინვას.

ჩვეულებრივი ფოლადების გლინვის დროს ზოლის შეტაცების გაუმჯობესების მიზნით გლინებზე აკეთებენ სხვადასხვა ფორმის დაკეპნას. უხეში დაკეპნის შემთხვევაში მაქსიმალური შეტაცების კუთხე აღწევს  $34^{\circ}$ . ხარისხოვანი ფოლადების გლინვის დროს დაკეპნა დაუშვებელია, ვინაიდან იგი აუარესებს ლითონის ზედაპირს. შეტაცების მაქსიმალური კუთხე დაკეპნის გარეშე შეადგენს  $27^{\circ}$ .

მოკიმივის რეჟიმი. მოკიმივების შერჩევის საკითხს და მათ განაწილებას გატარებათა მიხედვით უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ბლუმინგის მაქსიმალური წარმადობის უზრუნველყოფისა და ხარისხოვანი ნამზადის მისაღებად.

ყველაზე უფრო სრულ წარმოდგენას ბლუმინგის მუშაობაზე იძლევა აბსოლუტური მოკიმივა ( $\Delta h$ ). ფარდობითი მოკიმივა არ ითვლება ბლუმინგის მუშაობის დამახასიათებლად. საერთოდ ბლუმინგზე გლინვის დროს მოკიმივების რეჟიმის შერჩევის საკითხის შესახებ არ არსებობს ზუსტი საანგარიშო მონაცემები.

მოკიმივის რეჟიმის შერჩევისას უზრუნველყოფილი უნდა იქნას დგანის მაქსიმალური წარმადობა, რომელიც დაკავშირებულია გატარებათა რიცხვთან, რაც უფრო ნაკლებია გატარებათა რიცხვი, მით მეტია ბლუმინგის წარმადობა.

მოკიმივის სიდიდეს გლინვის დროს, როგორც წესი, განსაზღვრავს შეტაცების პირობა, ლითონის პლასტიკურობა, გლინებისა და დგანის დეტალების სიმტკიცე და ამძრავის სიმძლავრე.

ბლუმინგზე გლინვისას ადგილი აქვს ზოგიერთ დამატებით გარემოებებს, რომლებიც გათვალისწინებული უნდა იქნას მოკიმივის რეჟიმის შერჩევის დროს. 1. გლინების წრიული სიჩქარის სიმცირე ზოლის მიწოდების მომენტში და დაკეპნის გამოყენება მოკიმივის გადიდებისა და ზოლის საიმედო შეტაცების განხორციელების საშუალებას იძლევა. 2. სორტული დგანებისაგან განსხვავებით, სადაც უმეტეს შემთხვევაში გამოყენებულია ნამზადის წინასწარი მოკიმივა, გლინვას ბლუმინგზე ყოველთვის აწარმოებენ სხმულებიდან. ჩამოსხმულ ლითონს, როგორც ცნობილია, წნევით დამუშავებულ ლი-

თონთან შედარებით აქვს მცირე პლასტიკურობა, რაც აიხსნება ჩამოსხმულ ლითონში, მსხვილი მარცვლებისა და დენდრიტული სტრუქტურის არსებობით. ეს განსხვავება განსაკუთრებით შესამჩნევია მაგარი ფოლადების სხმულებში, რომლებსაც აქვთ მსხვილი მარცვლები და დიდი მიდრეკილება ნაპრალების წარმოქმნისადმი.

შემცირებული პლასტიკური თვისებების მქონე ჩამოსხმული ლითონის მოქიმივისას ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის დეფექტებს (ბზარები, დარღვევა), რომელთა რაოდენობა მოქიმივის გადიდებით მატულობს. აღნიშნული მიზეზის გამო ზოგიერთი მარკის ფოლადების გლინვის დროს, კერძოდ ლეგირებული და მაღალნახშირბადიანი ფოლადების, პირველი გატარებისათვის მოქიმივას იღებენ მცირეს ვიდრე ეს დასაშვებია ზოლის შეტაცების, დეტალების სიმტკიცისა და ამძრავის სიმძლავრის პირობებიდან. ასეთი ფოლადების გლინვის დროს მოქიმივის შემცირება შეადგენს 10—20%.

ლითონის ტემპერატურა ბლუმინგზე გლინვის დროს შედარებით ნელა ეცემა და ჩვეულებრივად არ უშლის ხელს დიდი მოქიმივის გამოყენებას გლინვის საწყის და ბოლო მომენტებში.

ბლუმინგის ძრავის სიმძლავრის რაციონალური გამოყენების თვალსაზრისით არსებობს მუშაობას ორი მეთოდი. პირველი მეთოდი მდგომარეობს გლინვის სიჩქარის გადიდებაში, საშუალო მოქიმივების გამოყენებით (ბლუმინგისათვის „1150“ შეადგენს 60—80 მმ). წარმადობის ზრდა ამ შემთხვევაში მიღწეულია გლინვის სამანქანო დროის შემცირების ხარჯზე. შემცირებული მოქიმივები ასეთი მეთოდით მუშაობის დროს იძლევიან ყველა გატარებაზე ზოლის საიმედო შეტაცების საშუალებას.

მუშაობის მეორე მეთოდი მდგომარეობს მოქიმივების ყოველმხრივ გადიდებაში გლინების ბრუნვათა რიცხვის ერთდროული შემცირებით. წარმადობის ზრდა ამ შემთხვევაში მიღწეულია გატარებათა რიცხვის შემცირების ხარჯზე. დიდი მოქიმივების განხორციელებისათვის საჭიროა გლინის მუშა დიამეტრის გადიდება შეტაცების მაქსიმალური კუთხის ერთდროული გამოყენებით, რაც ხშირად იწვევს ზოლის მიწოდების შეფერხებას. მუშა დიამეტრის გადიდება ხელს უწყობს დეფორმაციის გავრცელებას სხმულის სიღრმეში (ადიდებს გლინების „ქედვით უნარიანობას“), რაც აუმჯობესებს გაგლინული ბლუმის ხარისხს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დეფორმაციის კერის გადიდებით იზრდება ლითონის საერთო და ხვედრითი დაწნევა გლინებზე, რომელიც იწვევს მათ ნაჩქარევ გატყვეთასა და ენერჯის გადიდებულ ხარჯს.

უნდა აღინიშნოს, რომ თვითეული ქარხნის სპეციფიკური პირობ-

ბების მიხედვით მოქიშვის მაქსიმალური სიდიდღე ცვალებადია. ერთი-  
ქარხნის პირობებშიც კი ეს სიდიდღე არ რჩება მუდმივი. ფოლადის-  
მარკისა და სხმულის შეცვლასთან დაკავშირებით დამკალიბრებელს  
უხდება სათანადო კორექტირების შეტანა.

შემდგომი მუშაობა მდგომარეობს გატარებათა მიხედვით მო-  
ქიშვების განაწილებაში. გატარებათა მიხედვით მოქიშვების განაწი-  
ლების საკითხის შესახებ ჯერჯერობით არ არსებობს ერთი მთლიან-  
ნი შეხედულება. ზოგიერთების აზრით პირველ გატარებებში, ვიდრე  
სხმულის სტრუქტურა დარღვეული არ არის, მოქიშვის სიდიდღე უნდა  
იყოს მცირე, მისი შემდგომ გატარებებში გადიდებით.

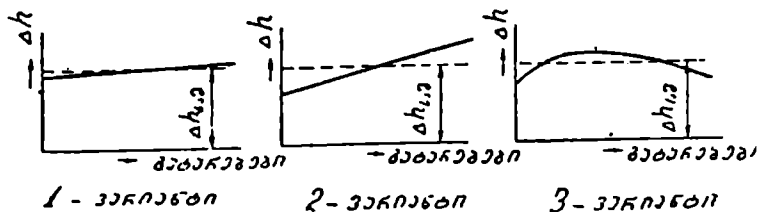
კარგი ხარისხის მქონე სხმულების გლინვის შემთხვევაში, რომ-  
ლებსაც აქვთ მაღალი პლასტიკური თვისებები, მოქიშვების ასეთი  
განაწილება არ შეიძლება ჩაითვალოს რაციონალურად.

გატარებათა მიხედვით მოქიშვის სწორმა რეჟიმმა პრინციპში  
უნდა ასახოს ამა თუ იმ ფაქტორის ცვალებადობა, რომელიც ხელს  
უშლის მოქიშვის გადიდებას.

თუ მოქიშვის სიდიდღე ლიმიტირებულია მხოლოდ შეტაცების  
პირობით, მაშინ მოქიშვები ყველა გატარებისათვის დაახლოებით  
ერთნაირი უნდა იყოს (ან უმნიშვნელოდ იზრდება გლინვის ბოლოს  
ხახუნის კოეფიციენტის მცირედ გაზრდის გამო). მაქსიმალური  
და საშუალო მოქიშვის სიდიდღე ამ შემთხვევაში ერთმანეთს ემთხვე-  
ვა (ნახ. 235, პირველი ვარიანტი).

$$\Delta h_{max} = \Delta h_{სა.}$$

მოქიშვის სხვანაირ განაწილებასთან გვაქვს საქმე, როცა მისი  
სიდიდღე გლინვის მთელ მსვლელობაში ლიმიტირებულია ძრავის  
სიმძლავრით (ნახ. 235, მეორე ვარიანტი).



ნახ. 235. მოქიშვების განაწილება გატარებათა მიხედვით, როცა  $\Delta h$  სიდიდღე  
ლიმიტირებულია რაიმე ერთი ფაქტორით.

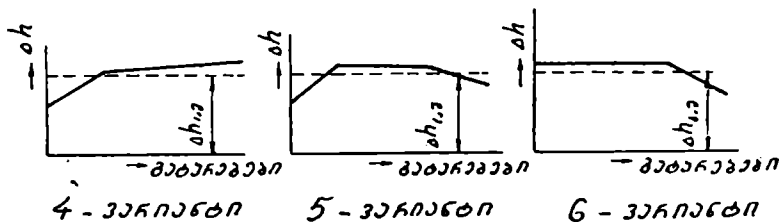
ამ შემთხვევაში, ყველა გატარებაზე თანაბარი სიმძლავრის ხარ-  
ჯის პირობებში, ზოლის სივანის შემცირების ხარჯზე შესაძლებელ-

ლია მოქიშვების გადიდება. უნდა აღინიშნოს, რომ მოქიშვის ზრდა გაცილებით ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე სიგანის შემცირება, ვინაიდან გლინვის სიჩქარე უკანასკნელი გატარებისათვის მატულობს.

მესამე ვარიანტი (ნახ. 235) გვიჩვენებს მოქიშვების განაწილებას გატარებათა მიხედვით, როცა მათი სიდიდე ლიმიტირებულია მხოლოდ ლითონის პლასტიკურობით. მოქიშვის მცირე სიდიდე პირველ პერიოდში აიხსნება ლითონის სხმული სტრუქტურით. მისი დარღვევის შემდეგ მოქიშვის სიდიდე მატულობს, ხოლო გლინვის ბოლოში ხელახლა ეცემა, ზოლის ზომების შემცირებისა და ნაწილობრივ ტემპერატურის დაცემის გამო.

ხშირად სხმულების გლინვის სხვადასხვა ეტაპზე მოქიშვის სიდიდე ლიმიტირებულია სხვადასხვა ფაქტორებით. ასე მაგალითად, მოქიშვის სიდიდე პირველ გატარებებში ლიმიტირებულია პლასტიკურობით ან ძრავის სიმძლავრით, ხოლო უკანასკნელ გატარებებში შეტაცების პირობით. ამ შემთხვევაში მოქიშვების განაწილების რაფიკი შემდეგ სახეს ღებულობს (ნახ. 236, მეოთხე ვარიანტი).

მეხუთე ვარიანტი იმ შემთხვევას ასახავს, როცა გლინვის დასაწყისში და ბოლოში მოქიშვა ლიმიტირებულია ლითონის პლასტიკურობით, ხოლო გლინვის შუა მომენტში—ზოლის შეტაცების პირობით. ეს ვარიანტი ძირითადად ეთანადება მესამე ვარიანტს



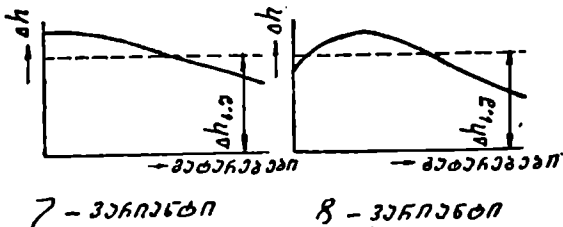
ნახ. 236. მოქიშვების განაწილება გატარებათა მიხედვით, როცა  $\Delta h$  სიდიდე გლინვის პროცესში ლიმიტირებულია სხვადასხვა ფაქტორებით.

იმ განსხვავებით, რომ პლასტიკურობით დასაშვები მაქსიმალური მოქიშვა განუხორციელებელია გლინების შეტაცების უნარის სიმცირით.

მეექვსე ვარიანტი ასახავს ისეთ პირობებს, როცა მოქიშვები ლიმიტირებულია შეტაცების პირობით და გლინვის ბოლოს ზოლის ზომების შემცირებითა და ნაწილობრივ გლინვის ტემპერატურის დაცემით.

სლიაბების გლინვის დროს მოქიშვის სიდიდე ლიმიტირებულია მხოლოდ გლინების სიმტკიცითა და ძრავის სიმძლავრით. მოქიშვ-

ბის განაწილების ორი ვარიანტი სლიაბების გლინვის დროს წარმოდგენილია 237-ე ნახ-ზე. ეს ვარიანტები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან იმით, რომ ბოლო მერვე ვარიანტში გამოყენებულია უფრო დაბალი მოქიშვები ლითონის მცირე პლასტიკურობის გამო.



ნახ. 237. მოქიშვების განაწილების გრაფიკი გატარებათა მიხედვით სლიაბების გლინვისას.

პრაქტიკაში სხვა ანალოგიური ქარხნების გამოცდილების საფუძველზე ადგენენ მოქიშვის წინასწარ სქემას. შემდეგში სისტემატური კვლევისა და სათანადო კორექტირების საფუძველზე ადგენენ მოქიშვების ოპტიმალურ განაწილებას გატარებათა მიხედვით.

გაფართოება პირველ გატარებებში თითქმის არა გვაქვს, ვინაიდან პროფილის კვეთი მოქიშვის სიდიდესთან შედარებით ძალიან დიდია, გარდა ამისა ადგილი აქვს ლითონის შემქიდროებას.

შემდგომ გატარებებში ფარლობითი მოქიშვების გადიდებათან ერთად გაფართოება სწრაფად იზრდება და მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს.

დიდი სიმაღლის ზოლების გლინვისას მცირე მოქიშვებით, გაფართოებას ადგილი აქვს საკონტაქტო ზედაპირების მახლობლად. კვეთის სიმაღლის შუა ნაწილში გაფართოება უმნიშვნელოა. კვეთის ზომების შემცირებასთან ერთად გაფართოება წარმოებს მთელ სიმაღლეზე.

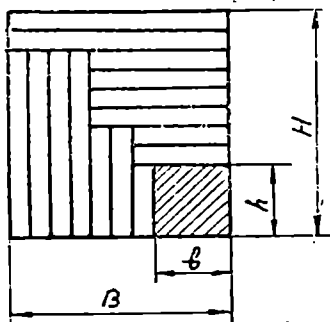
საშუალოდ კვეთების ანგარიშის თვალსაზრისით გაფართოების ზუსტ ანგარიშს აზრი ეკარგება, ვინაიდან გადაბრუნების შემდეგ ზოლის სიგანის კორექტირება (საანგარიშო სიგანესთან შედარებით) შესაძლებელია მოქიშვის უმნიშვნელო ცვალებადობით.

ბლუმინგზე მოქიშვების სქემის ანგარიშის წესი შემდეგში მდგომარეობს. კონკრეტულ პირობებთან დამოკიდებულებით მაქსიმალური მოქიშვის სიდიდეს ანგარიშობენ ან შეტაცების პირობიდან

$$\Delta l_{max} = D \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}} \right);$$

ან პლასტიკურობის (სხვა ქარხნების გამოცდილების საფუძველზე),  
 ან ამძრავის სიმძლავრის პირობიდან.

მაქსიმალური მოქიშვის დადგენის შემდეგ აღგენენ მოქიშვების  
 განაწილების გრაფიკს გატარება-



ნახ. 238. ჯამური მოქიშვის სიდიდის  
 განსაზღვრის სქემა.

თანაწილების გრაფიკს გატარება-  
 თა მიხედვით, რის საფუძველზეც  
 ინიშნება საშუალო მოქიშვის სი-  
 დიდე ერთ გატარებაზე. ამის შემ-  
 დგ განისაზღვრება ჯამური მო-  
 ქიშვის სიდიდე ყველა გატარები-  
 სათვის ( $\sum \Delta h$ ). როგორც 238-ე  
 ნახ-დან ჩანს საერთო მოქიშვა  
 შეადგენს

$$(B-b) + (H-h).$$

ამ სიდიდეს უნდა დაემატოს  
 ჯამური გაფართოება ყველა გა-  
 ტარებაზე, რომელსაც წინასწარი  
 ანგარიშებისათვის იღებენ:

$$\sum \Delta b = 0,15[(B-b) + H - h]. \quad (246)$$

ამრიგად, გაფართოების გათვალისწინებით საერთო ჯამური მო-  
 ქიშვა ტოლია:

$$\sum \Delta h = 1,15[(B-b) + (H-h)]. \quad (247)$$

გატარებათა რიცხვი გამოითვლება ფორმულით:

$$n = \frac{\sum \Delta h}{\Delta h_{საშ}}. \quad (248)$$

მიღებული გატარებათა რიცხვი უნდა იყოს კენტე.

ჩატარებულ ანგარიშის საფუძველზე დგება მოქიშვის ცხრილი.  
 მოქიშვის ცხრილისა და მუშაობის სხვა პირობების საფუძველზე  
 ავეგმარებენ კალიბრებს.

მოცემული რეჟიმების მიხედვით კალიბრების ზომების შერჩევა  
 არ წარმოადგენს სიძნელეს. არსებული დაკალიბრების მიხედვით  
 მოქიშვის ახალი სქემის შერჩევა გაცილებით უფრო რთულია. ააეთ  
 შემთხვევას ადგილი აქვს ერთი და იგივე ბლუმინგზე სხვადასხვა  
 მარკის ფოლადების გლინვის დროს მკვეთრად განსხვავებულ თეი-  
 სებებით.

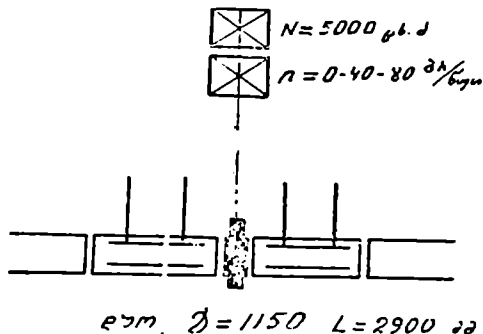
**ბლუმინგის „1150“ გლინების დაკალიბრების  
 ანგარიშის მაგალითი**

მოცემულია: გაანგარიშებული იქნას მოქიშვის რეჟიმი და კა-  
 ლიბრების ზომები 250 × 250 და 300 × 300 მმ კვეთის ბლუმინგის გლინ-  
 ვის დროს ჩვეულებრივი ფოლადების სხმულებისაგან ნახშირბადის



შეცულობით 0,5%-მდე. დგანის სორტამენტში ბლუმსების გარდა შედის სლიაბები. მოწყობილობის განაწილება და საგლინავი დგანის მთავარი ხაზის მახასიათებლები ნაჩვენებია 239-ე ნახ-ზე, სხმულის წონაა 7 ტ, ხოლო მაქსიმალური კვეთი  $760 \times 680$  მმ.

მაქსიმალური და საშუალო მოკიმვის შერჩევა. როგორც უკვე აღნიშნული იყო მოკიმვის სქემისა და კალიბრების.



ნახ. 239. ბლუმინგის „1150“ ძირითადი მოწყობილობების განლაგება.

განაწილების სისტემის შერჩევა დამოკიდებულია დგანის მუშაობის კონკრეტულ პირობებზე. დაუშვათ, რომ დგანის ძირითად პროდუქციას შეადგენს ბლუმსები, ამ შემთხვევაში ავიღოთ კალიბრების თანმიმდევრობითი განაწილება. პირველი კალიბრის ჩაქრის სიღრმე ზედა გლინის აწვეის დროის ეკონომიის მიზნით შევირჩიოთ 150 მმ.

მაქსიმალურ მოკიმვას თავიდან ვპოულობთ ზოლის შეტაცების პირობიდან. თუ ჩავთვლით, რომ გადაჩარხული გლინების დიამეტრი შეადგენს საწყისი დიამეტრის 0,9, მაშინ პირველი კალიბრისათვის გლინის მინიმალური მუშა დიამეტრი იქნება:

$$0,9 \cdot 1150 - 150 = 900 \text{ მმ.}$$

ხახუნის კოეფიციენტი შეტაცების მომენტში (როცა გლინის სიჩქარე  $< 2$  მ/სეკ და  $t = 1250^\circ$ ) შეიძლება გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$f = k_1 k_2 k_3 (1 - 0,0005 t) = 1,05 - 0,0005 \cdot 1250 = 0,44.$$

დასაშვები მოკიმვა შეტაცების პირობიდან:

$$\Delta h_{\text{max}} = D \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}} \right) = 900 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+0,44^2}} \right) = 75 \cdot \text{მმ.}$$

გლინების დაკეპენის გამოყენების შემთხვევაში მოჭიმვის სიდიდე შეიძლება გადიდდეს 20—30<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, ე. ი. 90—100 მმ.

დასაშვები მოჭიმვა— $\Delta h_{max}$  ლითონის პლასტიკურობის პირობიდან (არსებული დაკალიბრების საფუძველზე) შეადგენს:

პირველი გატარებისათვის . 75 მმ;  
შემდეგი გატარებისათვის 90 მმ.

მაქსიმალური მოჭიმვის სიდიდის განსაზღვრა ძრავის სრული გამოყენებისა და გლინების სიმტკიცის პირობიდან გაცილებით რთულია. გარდა ამისა ეს ანგარიშები ლითონის დეფორმაციის წინააღმდეგობის მცირედ შესწავლის გამო მაღალ ტემპერატურებში არასაკმარისად საიმედოა. საორიენტაციოდ შეიძლება ჩატარებული იქნას შემდეგი სახის ანგარიში.

ლითონის დეფორმაციაზე დახარჯული სიმძლავრე გლინვის დროს გამოისახება განტოლებით:

$$N_{დეფ} = p_{საპ} \cdot b_{საპ} \cdot \Delta h \cdot v,$$

სადაც  $p_{საპ}$  არის ხვედრითი (საშუალო) წნევა გლინზე;

$b_{საპ}$ —ზოლის საშუალო სიგანე;

$v$ —გლინვის სიჩქარე.

ამ განტოლების გადაწყვეტა  $\Delta h$ -ის მიმართ მოგვცემს:

$$\Delta h = \frac{N_{დეფ}}{p_{საპ} \cdot b_{საპ} \cdot v}.$$

1. ძრავის მიერ ლითონის დეფორმაციაზე დახარჯული სიმძლავრე შეადგენს:

$$N_{დეფ} = N_{პ6} - (N_1 + N_2 + N_3),$$

სადაც

$N_1$  არის დგანის საკისრებში ხახუნზე დახარჯული მუშაობა;

$N_2$ —დგანის მბრუნავი ნაწილების აჩქარებაზე დახარჯული მუშაობა;

$N_3$ —უქმი სელის სიმძლავრე.

ბლუმინგის „1150“ ორი ძრავის მიერ განვითარებული სიმძლავრე შეადგენს 10000 ც. ძ. ძრავების მაქსიმალური სიმძლავრე ზათი გადატვირთვის მხედველობაში მიღებით დაახლოებით შეიძლება იყოს 20000—25000 ც. ძ., ანუ  $20000 \times 75 = 1500000$  კგმ/სეკ.

სიმძლავრის ყველა დანაკარგები საორიენტაციოდ შეიძლება ავიღოთ ძრავის სიმძლავრის 15—20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, მაშინ

$$N_{დეფ} \approx 0,8 N_{პ6} = 0,8 \cdot 1500000 = 1200000 \text{ კგმ/სეკ.}$$

2. საშუალო ხვედრითი წნევა გამოითვლება განტოლებიდან

$$p_{სა} = \sigma_s \left( 1 + \frac{f \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2}}{2h} \right).$$

თუ დავუშვებთ, რომ  $\Delta h = 90$  მმ, მაშინ გასაგლინავე ზოლის სიმაღლის  $h$  მიხედვით (რომელიც იცვლება 760—250 მმ):

$$\left( 1 + \frac{f \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2}}{2h} \right) = \left( 1 + \frac{0,44 \sqrt{500 \cdot 90} - \frac{90}{2}}{2 \cdot 760} \right) = 1,04;$$

$$\left( 1 + \frac{f \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2}}{2h} \right) = \left( 1 + \frac{0,44 \sqrt{500 \cdot 90} - \frac{90}{2}}{2 \cdot 250} \right) = 1,12.$$

ამრიგად,  $p_{სა}$  იცვლება საზღვრებში:

$$p_{სა} = (1,04 \div 1,12) \sigma_s.$$

სიდიდეს  $\sigma_s$  (ლითონის ხვედრითი წინაღობა სტატიური კუნ-  
შვისადმი) ვპოულობთ ექველუნდის მეთოდით:

$$\sigma_s = (1,4 + C + Mn) (14 - 0,01 t),$$

სადაც  $C$  არის ნახშირბადის შეცულობა, ‰;

$Mn$ —მარგანეცის შეცულობა, ‰;

$t$ —გლინვის ტემპერატურა.

მივიღოთ  $C = 0,5 ‰$ ;  $Mn = 0,9 ‰$  და  $t \approx 1200^\circ$ , ჩასმის შემდეგ გექქნება:

$$\sigma_s = (1,4 + 0,5 + 0,9) (14 - 0,01 \cdot 1200) = 5,6 \text{ კგ/მმ}^2$$

და

$$p_{სა} = (1,04 \div 1,12) \sigma_s = (1,04 \div 1,12) 5,6 =$$

$$= (5,8 \div 6,3) \text{ კგ/მმ}^2 = (5,8 \div 6,3) 10^6 \text{ კგ/მმ}^2.$$

3. ზოლის სიგანე გლინვის პროცესში იცვლება. მაქსიმალურა  
სიგანე გექქნება პირველ გატარებებში, სადაც იგი შეაღვენს

$$b \approx 680 \text{ მმ} = 0,68 \text{ მ}.$$

4. გლინების წრიული სიჩქარე გლინვის პროცესში იცვლება.  
პირველ გატარებებში ბრუნვათა რიცხვი იცვლება 0,0—40 ბრ/წთ.

იმ შემთხვევაში, როცა  $n=40$  ბრ/წთ გლინვის სიჩქარე შეადგენს:

$$\nu = \frac{\pi D n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,0 \cdot 40}{60} = 2,1 \text{ მ/სეკ.}$$

ყველა მონაცემების ჩასმის შემდეგ მაქსიმალური მოქიშვის სიდიდე სიმძლავრის პირობიდან შეადგენს:

$$\Delta h = \frac{N_{\text{ავა}}}{\rho_{\text{ავა}} \cdot b_{\text{ავა}} \cdot v} = \frac{1,2 \cdot 10^6}{6,3 \cdot 10^6 \cdot 0,68 \cdot 2,1} = 0,134 \text{ მ} = 134 \text{ მმ.}$$

ამრიგად, ანგარიშის საფუძველზე და მათი შედარებით პრაქტიკულ მონაცემებთან, მაქსიმალური მოქიშვის ( $\Delta h_{\text{მთ}}$ ) შემდეგი მნიშვნელობები მივიღეთ:

შეტაცების პირობიდან:

დაუკეპნავე გლინებისათვის . . .	75
დაკეპნილი გლინებისათვის . . .	90—100

პლასტიკურობის პირობიდან:

პირველ გატარებებში	75
შემდეგ გატარებებში . . .	90
სიმძლავრის პირობიდან . . .	134

ამ მონაცემებზე დაყრდნობით მაქსიმალური მოქიშვის სიდიდე შეიძლება იყოს 90 მმ.

როგორც ჩატარებული ანგარიშიდან ჩანს, მოქიშვის სიდიდე ლიმიტირებულია ლითონის პლასტიკურობით, ამიტომ მოქიშვების განაწილების დროს სასურველია ავიღოთ 235-ე ნახ-ზე წარმოდგენილი მესამე ვარიანტი. ამ შემთხვევაში საშუალო მოქიშვა

$$\Delta h_{\text{საშ}} = (0,8 \div 0,9) \Delta h_{\text{მთ}} = (0,8 \div 0,9) 90 \approx 75 \div 80 \text{ მმ.}$$

გატარებათა რიცხვი  $250 \times 250$  ბლუმსის გლინვის დროს

$$n = \frac{\Sigma \Delta h}{\Delta h_{\text{საშ}}} = \frac{1080}{75} = 14,5,$$

სადაც

$$\Sigma \Delta h = 1,15[(B-b) + (H-h)] = 1,15[(760-250) + (680-250)] = 1080 \text{ მმ.}$$

ვინაიდან  $n$  უნდა იყოს კენტი, ამიტომ  $250 \times 250$  მმ ბლუმსის გლინვის დროს  $n=15$ , ხოლო  $300 \times 300$  მმ ბლუმსისათვის  $n=13$ .

მოქიშვების განაწილების გრაფიკისა და  $\frac{b}{h}$  ფარდობის დაცვის საფუძველზე დგება მოქიშვების წინასწარი სქემა (იხილეთ ცხრილი 13).

მოკიშვების განაწილების წინახწარი ხემა გატარებათა მიხედვით  
(პირველი ვარიანტი)

გატარების ნომერი	კეთის ზომები		Δ <sub>h</sub>	Δ <sub>b</sub>	კალიბრის ნომერი
სხმული	760	680			
1	695	680	65	0	1
2	630	680	65	0	
	↓				
3	610	635	70	5	
4	540	640	70	5	
5	470	645	70	5	
6	400	650	70	5	
	↓				
7	565	405	85	5	2
8	480	410	85	5	
9	400	420	80	10	
10	320	430	80	10	
	↓				
11	360	330	70	10	3
12	290	345	70	15	
	↓				
13	300	300	45	10	4
	↓				
14	235	310	65	10	
	↓				
15	250	250	60	15	5

პირველი ორი გატარებისათვის მოკიშვას ვიღებთ 65 მმ. ზოლის გადაბრუნების შემდეგ მოკიშვას ვადიდებთ 70 მმ-მდე. 70 მმ მეტი მოკიშვების გამოყენება მოგვცემს  $\frac{b}{h}$  ფარდობის ზღვრული სიდიდის დარღვევას, 7—9 გატარებებში მოკიშვა შესაძლებელია გავადიდოთ 90 მმ-მდე, მაგრამ ეს არ არის აუცილებელი, ვინაიდან ცხრილში მოცემული მოკიშვები მეცხრე გატარების შემდეგ უზრუნველყოფს ზოლის სიმაღლეს 320 მმ. შესაბამისად მოკიშვა უკანასკნელ მეცამეტე გატარებაზე რჩება 20 მმ პლიუს გაფართოება მეთერთმეტე და მეთორმეტე გატარებებში. მეთერთმეტე და მეთორმეტე გატარებებში მოკიშვა იმ ანგარიშითაა შერჩეული, რომ უკანასკნელი გადაბრუნების წინ მივიღოთ ზოლი სისქით 290 მმ. მაშინ გაფართოების შემდეგ მეცამეტე გატარების დროს მისაღები ბლუმსის სიგანე იქნება 300 მმ. მოკიშვების განაწილება მეთოთხმეტე და მეთხუთმეტე გატარებაში წარმოებს იგივე მოსაზრებით.

წარმოდგენილი სქემის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ ბლუმების გლინვისათვის გლინებს უნდა ჰქონდეს ხუთი კალიბრი. პირველი კალიბრის სიგანე უნდა იყოს 100 მმ მეტი სლიაბის სიგანეზე. თუ ბლუმინგზე გაგლინული სლიაბის სიგანე შეადგენს 1000 მმ, მაშინ პირველი კალიბრის სიგანე უნდა იყოს 1100 მმ. დანარჩენი კალიბრები უნდა გავიანგარიშოთ მათში მიწოდებული ზოლების სიგანეების მიხედვით 400; 320; 290 და 235 მმ. გარდა ამისა, სლიაბების გლინვის დროს უნდა გექონდეს მეექვსე კალიბრი წიბოვანი გატარებისათვის. ცხადია, რომ გლინების კასრის სიგრძე ვერ მოითავსებს ყველა ჩამოთვლილ კალიბრებს. ამიტომ საჭიროა: 1. შემუშავებული იქნას მოკიმვის სქემა პირველი გადაბრუნებით ოთხი გატარების შემდეგ. მაშინ სხმულის გატარებათა რიცხვი პირველ კალიბრში იქნება არა ექვსი არამედ რვა და კალიბრების საერთო რიცხვი შემცირდება ერთით. გლინვის ასეთი სქემის ვარიანტი მოყვანილია ნე-14 ცხრილში.

ცხრილი 14

მოკიმვების განაწილება გატარებათა მიხედვით  
(მეორე ვარიანტი)

გატარების ნომერი	კვების ზომები	Δh	Δb	კალიბრის ნომერი
სხმული	760 680			
1	700 680	60	0	1
2	640 680	60	0	
3	580 695	60	5	
4	520 690	60	5	
5	605 525	85	5	
6	520 530	85	5	
7	440 535	80	5	
8	360 540	80	5	
9	470 365	70	5	2
10	400 370	70	5	
11	340 380	60	10	
12	285 390	55	10	
13	300 300	90	15	3
14	235 310	65	10	3
15	250 250	60	15	4

მეორე ვარიანტის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს პირველ გატარებაში სხმულის ოთხჯერადი მოკიმვა ერთი მიმართულებით.

2. შემუშავებული იქნას მოკიმვის სქემა ოთხ კალიბრში, გადაბრუნებით მეორე და მეოთხე გატარებების შემდეგ. მეორე კალიბრ-

ში გადაცემა წარმოებს მეორე გატარების შემდეგ. ასეთი სქემის ვარიანტი მოცემულია მე-15 ცხრილში.

ცხრილი 15

მოკიშვის განაწილება გატარებათა მიხედვით  
(მესამე ვარიანტი)

გატარების ნომერი	კვთის ზომები	$\Delta h$	$\Delta b$	კალიბრის ნომერი
სხმული	760 680			
1	695 680	65	0	}
2	630 680	65	0	
	↓			
3	610 635	70	5	}
4	540 640	70	5	
	↓			
5	560 545	80	5	}
6	480 550	80	5	
7	410 555	70	5	
8	340 565	70	10	
	↓			
9	490 345	75	5	}
10	420 355	70	10	
11	350 365	70	10	
12	290 370	60	10	
	↓			
13	300 300	70	10	3
14	235 310	65	10	3
	↓			
15	250 250	60	15	4

3. მოკიშვის სქემა შეიძლება ისეთნაირად შეიცვალოს, რომ მეორე კალიბრი (პირველ ვარიანტში) გამოყენებული იქნას ექვსი გატარებისათვის. ამ შემთხვევაში ზოლის სისქე მეათე გატარების შემდეგ უნდა უახლოვდებოდეს ზოლის სისქეს მეექვსე გატარების შემდეგ.

4. ზოგიერთი გატარება (მეთერთმეტე და მეთორმეტე პირველი ვარიანტის მიხედვით) შესაძლებელია ვაწარმოოთ თავისუფალი გაფართოებით პირველ ან მეორე კალიბრში.

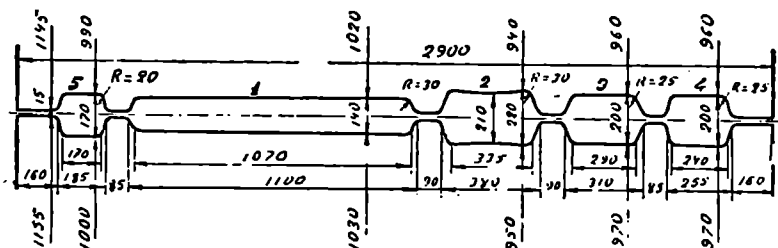
ჩამოთვლილი სქემები არ ამოწურავს ბლუმინგის გლინების კალიბრების ყველა შესაძლებელ ვარიანტებს. საერთოდ მოკიშვის სქემის შერჩევისა და კალიბრების დაპროექტების დროს სასურველია შევადგინოთ რაც შეიძლება მეტი ვარიანტების რიცხვი და მათგან შევირჩიოთ ისეთი, რომელიც ყველაზე უფრო აკმაყოფილებს კონკრეტულ პირობებს. ასე მაგალითად, რბილი ფოლადების გლინვის შემთხვევაში უმჯობესია შევირჩიოთ მოკიშვის მეორე ვარიანტი, ხოლო მაგარი ფოლადებისათვის—მესამე ვარიანტი.

კალიბრის ზომების ანგარიში ჩავატაროთ მოქიმიების განაწილების მესამე ვარიანტის მიხედვით (ცხრილი 15).

პირველი და წიბოვანი კალიბრის ზომებს (იხილეთ ნახ. 240) განსაზღვრავს გასაგლინავი სლიაბის ზომები.

დანარჩენი კალიბრების ზომები დაკავშირებულია მოქიმივის შერჩეულ სქემასთან.

მეორე, მესამე, მეოთხე და მეხუთე კალიბრების სიღრმეს როლგანგების საფეხურების რიცხვის შემცირების მიზნით, დაახლოებით



ნახ. 240. ბლუმინგის „1150“ გლინების დაკალიბრება.

იღებენ ერთნაირს. ასე მაგალითად, მეორე კალიბრის სიმაღლე  $h_3 = 220$  მმ, ხოლო დანარჩენებისა 200 მმ. მეორე კალიბრის დანარჩენი ზომები შემდეგნაირად გამოითვლება. კალიბრის სიგანე ჩაქრის სიღრმეში

$$b'_j = b_{\min} - (0 \div 10) = 340 - 5 = 335 \text{ მმ.}$$

კალიბრის სიგანის განსაზღვრისათვის გლინების გახსნის ადგილას ანგარიშობენ ჯამურ გაფართოებას:

$$\begin{aligned} \Delta b_3 &= 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) = \\ &= 1,15 \frac{75}{2 \cdot 565} \left( \sqrt{460 \cdot 75} - \frac{75}{2 \cdot 0,44} \right) = 7,5 \text{ მმ;} \\ \Delta b_{10} &= 1,15 \frac{70}{2 \cdot 490} \left( \sqrt{460 \cdot 70} - \frac{70}{2 \cdot 0,44} \right) = 8 \text{ მმ;} \\ \Delta b_{11} &= 1,15 \frac{70}{2 \cdot 420} \left( \sqrt{460 \cdot 70} - \frac{70}{2 \cdot 0,44} \right) = 9,5 \text{ მმ;} \\ \Delta b_{12} &= 1,15 \frac{60}{2 \cdot 350} \left( \sqrt{460 \cdot 60} - \frac{60}{2 \cdot 0,44} \right) = 10 \text{ მმ;} \end{aligned}$$

$$\sum_{j=3}^{12} \Delta b = 7,5 + 8 + 9,5 + 10 = 35 \text{ მმ.}$$



მეორე კალიბრიდან გამოსული პროფილის მაქსიმალური სიგანე

$$b_{max} = b_{min} + \Sigma \Delta b = 340 + 35 = 375 \text{ მმ},$$

მაშინ კალიბრის სიგანე—გლინების გახსნის ადგილას

$$B_j = b_{max} + (5 \div 10) = 375 + 5 = 380 \text{ მმ}.$$

კალიბრის გვერდების დახრა (როცა ღრეჩო უდრის 15 მმ) იქნება

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{B_j - b_j}{2h_g} = \frac{B_j - b_j}{h_j - t} = \frac{380 - 335}{220 - 15} = 0,22,$$

რაც სავსებით მისაღებია.

მომრგვალების რადიუსი ჩაქრის სიღრმეში

$$r = (0,07 \div 0,1) B_j = (0,07 \div 0,1) 380 = 30 \text{ მმ}.$$

მეორე კალიბრის ფსკერის შუა ნაწილი განაპირა მხარეებთან შედარებით ამოზნექილია 10 მმ-ით.

მესამე და მეოთხე კალიბრების დაპროექტება წარმოებს ამავე წესით. კალიბრების საერთო ხედი წარმოდგენილია 240-ე ნახ-ზე. მეხუთე კალიბრის დანიშნულებაა სლიაბების წიბოვანი გატარება.

## § 2. მომჭიმავი ტრიო-დგანების მოსაყოფადგები ბალეების გლინების დაკალიბრება

მომჭიმავი ტრიო-დგანების გლინების გადაადგილება არ წარ-  
მოებს, ამიტომ ყოველ გატარებას სათანადო კალიბრი ეთანადება.

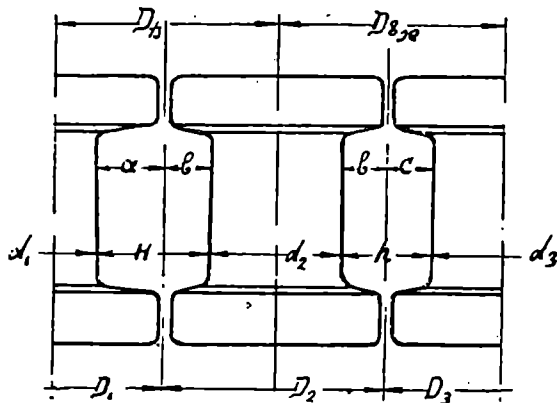
მომჭიმავი ტრიო-დგანების პროდუქციას წარმოადგენს ნამზადე-  
ბი, რომლებიც იგლინება სხმულებისა და ბლუნსებისაგან.

აღნიშნულ დგანებში, როგორც ბლიუნინგზე ყველაზე მეტი გავ-  
რცელება აქვს ბრტყელ (ყითისებურ) კალიბრებს, რომლებშიც გლი-  
ნავენ ნამზადს განივკვეთით არა ნაკლები 140×140 მმ. უფრო  
მცირე კვეთის მქონე ნამზადების მისაღებად იყენებენ ისრისებურ,  
რომბულ, კვადრატულ და ოვალურ კალიბრებს.

ბრტყელი კალიბრები (განსაკუთრებით პირველი გატარებისათ-  
ვის) მზადდება კუთხეებში მომრგვალების დიდი რადიუსებით. მომ-  
რგვალების რადიუსის გადიდება ზრდის გლინების სიმტკიცეს სახი-  
უთათო კვეთში (მომრგვალების გადასვლის ადგილი კალიბრის ფსკერ-  
თან). პირველ კალიბრებში მომრგვალების რადიუსი შეადგენს 40—  
60 მმ. კალიბრების გვერდების დახრილობა აღწევს 15—20%.

ბრტყელი კალიბრები ტრიო-დგანის გლინებზე ისეთნაირადაა  
განლაგებული, რომ შუა გლინის ამონაჭერი ემსახურება, როგორც  
ზედა, ისე ქვედა კალიბრს (ნახ. 24!). ამ კალიბრებს შეუღლებულს  
უწოდებენ.

ასეთი დაკალიბრებით გლინვის დროს ქვედა კალიბრებიდან გამოსული ზოლი გადაბრუნების გარეშე მიეწოდება ზედა კალიბრებში, ხოლო ქვედა კალიბრებში 90° გადაბრუნებით.



ნახ. 241. კალიბრების განაწილება ტრიო-დგანზე.

შეუღლებულ კალიბრებში ადგილი აქვს შემდეგ დამოკიდებულებებს:

$$\frac{d_1}{2} = D_{33} - H - \frac{d_2}{2} \quad \text{ან} \quad d_1 = 2(D_{33} - H) - d_2;$$

$$\frac{d_3}{2} = D_{22} - h - \frac{d_2}{2} \quad \text{ან} \quad d_3 = 2(D_{22} - h) - d_2;$$

$$D_{33} = \frac{D_1 + D_2}{2}; \quad D_{22} = \frac{D_2 + D_3}{2};$$

$$H = a + b; \quad h = b + c,$$

სადაც \$d\_1\$, \$d\_2\$ და \$d\_3\$ არის შესაბამისად მუშა დიამეტრები ქვედა, საშუალო და ზედა გლინებისა შეუღლებულ კალიბრებში;

\$D\_{33}\$—გლინების საშუალო დიამეტრი ქვედა და საშუალო გლინებს შორის;

\$D\_{22}\$—გლინების საშუალო დიამეტრი საშუალო და ზედა გლინებს შორის;

\$D\_1\$, \$D\_2\$, \$D\_3\$—საწყისი დიამეტრები ქვედა, საშუალო და ზედა გლინებისა;

\$a\$, \$b\$, \$c\$—მანძილი გლინების ცენტრებიდან კალიბრების ფსკერამდე ქვედა, საშუალო და ზედა გლინებში.

ზედა წნევა ორთავე—კალიბრებში შესაბამისად უდრის:

$$d_3 - d_2;$$

$$d_2 - d_1.$$

ზედა წნევების ჯამი ორთავე კალიბრში უდრის:

$$d_3 - d_1 = 2(D_{3\text{კლ}} - h) - 2(D_{3\text{კ}} - H) = 2[(H - h) - (D_{3\text{კ}} - D_{3\text{კლ}})].$$

პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე მომჭიმავ ტრიო-დგანებში ზედა წნევა შეადგენს 4—28 მმ.

მომჭიმავი ტრიო-დგანების გლინების დაკალიბრების დროს მოქიმივის რეჟიმს უფრო ხშირად ირჩევენ საქარხნო მონაცემების საფუძველზე. შერჩეული მოქიმივების სისწორე მოწმდება შეტაცების დასაშვები კუთხისა და გლინების სიმტკიცის მიხედვით.

გატარებათა რიცხვს ანგარიშობენ გამოქიმივის საშუალო კოეფიციენტის მიხედვით, რომელსაც პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე იღებენ 1,14—1,16.

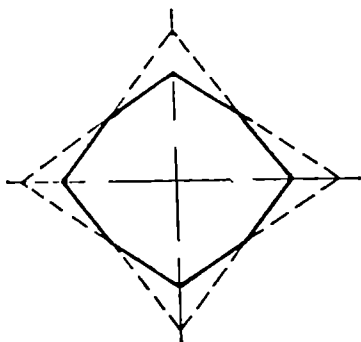
შეტაცების კუთხე დაკეპენის გარეშე შეადგენს 26—27°.

### 1. რომბული კალიბრები

რომბულ და ისრისებურ კალიბრებში შესაძლებელია მივიღოთ კვადრატული კვეთის ნამზადი ერთი და იგივე კალიბრში ზოლის ორჯერ გატარებით.

242-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია კვადრატული ნამზადის მულების წესი რომბულ და ისრისებურ კალიბრებში.

ისრისებურ კალიბრებს გააჩნიათ არსებითი ნაკლოვანებანი, რის გამოც მათ იშვიათად იყენებენ. ისრისებურ კალიბრებში გაგლინული ნამზადის წახნაგები ღებულობენ ამობურცულ ფორმას, ე. ი. ისეთ ფორმას, რომელიც ძალზე მოუხერხებელს ხდის მეთოდურ ღუმელებში გატარებას. ასეთ კალიბრებში გლინვა შესაძლებელია მხოლოდ ძალიან მცირე მოქიმივებით. გარდა ამისა ისრისებური კალიბრებში გლინვის დროს ზოლი ადვილად იგრიხება, რასაც მიუყვართ წუნამდე.



ნახ. 242. კვადრატული ნამზადის მილების წესი რომბულ და ისრისებურ კალიბრებში.

ფართო გავრცელება აქვთ რომბულ კალიბრებს. ისრისებურ კალიბრებთან შედარებით მათ აქვთ შემდეგი უპირატესობანი: 1) დიდი მოქიშვებით გლინვა; 2) ზოლის დაგრეხვა უფრო იშვიათად ხდება; 3) რომბულ კალიბრში ორჯერადი გატარებით მიღებულ ნაშაღებს არ აქვთ ისეთი ამობურცული წახნაგები, როგორც ისრისებურ კალიბრებში გლინვის დროს, თუმცა ექვსწახნაგოვანობა აქაც შესამჩნევია; 4) ერთი და იგივე კალიბრში შესაძლებელია რამდენიმე ზომის კვადრატული ნაშაღის მიღება, რასაც აღწევენ გლინებშორისი ღრეჩოს სიდიდის ცვალებადობით.

სხვა გამომჟიმავ კალიბრებთან შედარებით რომბული კალიბრების ერთ-ერთ უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს მათი გლინებში ღრმა ჩაქრა, რაც ამცირებს გლინების სიმტკიცეს.

## 2. კალიბრების სისტემა რომბი-რომბი და რომბი-კვადრატი

რომბული კალიბრების ფორმა წარმოდგენილია 243-ე ნახ.ზე რომბის ფართი

$$F = \frac{bh}{2}.$$

რომბის დიაგონალები უდრის:

$$b = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad h = b \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

რომბის გვერდი

$$a = \frac{b}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

რომბული კალიბრის კუთხეებში აკეთებენ მომრგვალებას (ნახ. 244). მომრგვალების რადიუსის სიდიდეს წვეროებში იღებენ რომბის გვერდის 0,2, ე. ი.  $r = 0,2a$ , ხოლო შვერილებთან. რომბის სიმაღლის 0,15.

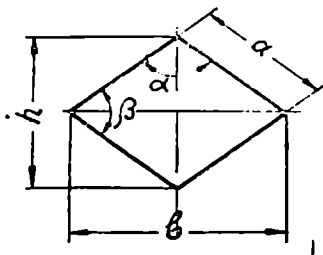
რომბული კალიბრის კუთხეს წვეროსთან იღებენ  $92-120^\circ$ , ცალკეულ შემთხვევებში იყენებენ რომბებს კუთხით  $135^\circ$ -მდე.

კალიბრების სისტემის—რომბი-კვადრატი—შემთხვევაში ყოველი წყვილი რომბული კალიბრის შემდეგ განლაგებულია კვადრატული კალიბრი კუთხით  $90-93^\circ$ . ცხადია, როდესაც კუთხე წვეროსთან  $90^\circ$  არ უდრის, სახელწოდება „კვადრატული“ უნდა გავიგოთ მხოლოდ როგორც პირობითი.

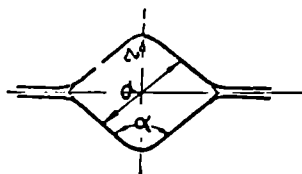
კალიბრების სისტემას—რომბი-რომბი და რომბი-კვადრატი აგებენ წესით, რომლის მიხედვით ყოველი მომდევნო კალიბრის სიგანე (გლინვის სვლის შესაბამისად) უდრის წინა კალიბრის სიმაღლეს (მომრგვალების გარეშე), ე. ი.

$$b_n = h_{n-1}$$

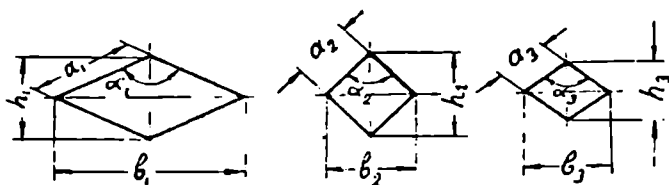
ასეთი წესით აგებულ კალიბრებში გაფართოების ადგილს იძლევა ვერტიკალური კუთხეების მომრგვალება. ზოგიერთ შემთხვევაში გაფართოებისათვის ადგილის გადიდების მიზნით მომდევნო კალიბრის



ნახ. 243. რომბული კალიბრების ფორმა.



ნახ. 244. რომბული კალიბრის კუთხეების მომრგვალება.



ნახ. 245. გეომეტრიული მსგავსი რომბული კალიბრების სისტემა რომბი-რომბი.

სიგანეს იღებენ წინა კალიბრის სიმაღლეზე მეტს. კალიბრების სისტემაში—რომბი-რომბი, კალიბრების უმეტესი ნაწილის ვერტიკალური კუთხეები ერთმანეთის ტოლია. შესაძლებელია აგრეთვე კალიბრების ისეთი რიგი, რომელთა ვერტიკალური კუთხეები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. კალიბრების სისტემაში—რომბი-კვადრატი, რომბული და კვადრატული კალიბრების კუთხეები წვეროსთან ყოველთვის განსხვავებულია, ხოლო რომბული კალიბრების კუთხეები შესაძლებელია იყოს ერთი და იგივე.

გეომეტრიულად მსგავსი რომბული კალიბრების სისტემა—რომბი-რომბი წარმოდგენილია 245-ე ნახ.ზე. კალიბრების აგებას ვაწარ-

მოებთ წესით:

$$b_n = h_{n-1}.$$

გამოკიმვის კოეფიციენტი მეორე კალიბრში უდრის:

$$\lambda_2 = \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_1 h_1}{b_2 h_2}.$$

ვინაიდან

$$h_1 = b_2; \quad b_1 = h_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{და} \quad h_2 = \frac{b_2}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2}},$$

მაშინ

$$\lambda_2 = \frac{b_1}{h_2} = \frac{h_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2}}{b_2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2}.$$

გამოკიმვის კოეფიციენტი შემდეგ რომბულ კალიბრში უდრის:

$$\lambda_3 = \frac{F_2}{F_3} = \frac{b_2 h_2}{b_3 h_3}.$$

ვინაიდან

$$h_2 = b_3; \quad b_2 = h_2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} \quad \text{და} \quad h_3 = \frac{b_3}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}},$$

$$\lambda_3 = \frac{b_2}{h_3} = \frac{h_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}}{b_3} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}$$

გამოკიმვის კოეფიციენტის ზოგადი სახე რომბულ კალიბრებში შემდეგია:

$$\lambda = \operatorname{tg} \frac{\alpha_{n-1}}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_n}{2}. \quad (249)$$

ამრიგად, გამოკიმვის კოეფიციენტი რომბული კალიბრების სისტემაში უდრის წინა და მომდევნო კალიბრების ნახევარ კუთხეების ტანგენსების ნამრავლს.

იმ შემთხვევაში, როცა  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \dots = \alpha_{n-1} = \alpha_n = \alpha$ , გამოკიმვის კოეფიციენტი

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (250)$$

განტოლება (250) გვიჩვენებს, რომ როცა რომბული კალიბრე-

ზის სისტემა აგებულია წესით  $h_{n-1} = b_n$  და ვერტიკალური კუთხეები ერთმანეთის ტოლია, მაშინ გამოკიშვის კოეფიციენტი ყოველ კალიბრში უდრის ნახევარკუთხის ტანგენსის კვადრატს.

ასე, მაგალითად, თუ რომბის კუთხე წვეროსთან შეადგენს  $100^\circ$ , მაშინ გამოკიშვის კოეფიციენტი

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg}^2 \frac{100}{2} = 1,19^2 = 1,41.$$

კალიბრების სისტემაში—რომბი-კვადრატი, კვადრატული კალიბრის კუთხე წვეროსთან შეადგენს  $90-93^\circ$ . დაუშვათ, რომ აღნიშნული კუთხე უდრის  $90^\circ$ , ე. ი.

$$\alpha = 90^\circ,$$

მაშინ გამოკიშვის კოეფიციენტი კვადრატულ კალიბრში

$$\lambda_2 = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}$$

და შესაბამისად

$$\lambda_3 = \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = \operatorname{tg} 45^\circ \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}.$$

ამრიგად, კალიბრების სისტემაში — რომბი-კვადრატი, როცა კუთხე კვადრატის წვეროსთან შეადგენს  $90^\circ$ , გამოკიშვის კოეფიციენტი უდრის შესაბამისი რომბის წვეროსთან მდებარე ნახევარკუთხის ტანგენსს.

ასე, მაგალითად, როცა  $\alpha_1 = 100^\circ$ , გამოკიშვა კვადრატულ კალიბრში იქნება:

$$\lambda = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} = \operatorname{tg} \frac{100}{2} = 1,19.$$

დავუშვათ, რომ  $\alpha_1 = \alpha_3 = 100^\circ$ ,  $\alpha_2 = 90^\circ$ , მაშინ

$$\lambda_{\text{კვად}} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} = \operatorname{tg} 55^\circ = 1,43;$$

$$\lambda_{\text{რომბ}} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = \operatorname{tg} 55^\circ = 1,43.$$

ამ შემთხვევაში გამოკიშვა კვადრატიდან კვადრატამდე შეადგენს:

$$1,43 \times 1,43 \approx 2,0.$$

მოყვანილი მონაცემები გვიჩვენებს, რომ კალიბრების სისტემა-

ში—რომბი-კვადრატი, როცა რომბული კალიბრების კუთხეები ერთი და იგივეა და კვადრატული კალიბრების კუთხე წვეროსთან შეადგენს  $90^\circ$ , გამოკიშვა ყველა კალიბრებში ერთი და იგივეა და უდრის რომბის წვეროსთან მდებარე ნახევარკუთხის ტანგენსს (ან ზისი დიაგონალების ფარდობას). ამ შემთხვევისათვის, თუ გვეყოფინება გამოკიშვის კოეფიციენტი, შესაძლებელია დავადგინოთ ყველა კალიბრების ზომები.

მოსაზღვრე რომბული კალიბრების მსგავსობის პირობიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{b_1}{h_1} = \frac{b_2}{h_2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{const},$$

ე. ი. დიაგონალების ფარდობა მუდმივი სიდიდეა. ვინაიდან

$$b_1 = h_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{და} \quad b_2 = h_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

ამიტომ

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{h_1}{h_2}.$$

გამოკიშვის კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში

$$\lambda = \frac{F_1}{F_2} = \frac{b_1 h_1}{b_2 h_2} = \frac{b_1^2}{b_2^2} = \frac{h_1^2}{h_2^2}. \quad (251)$$

უკანასკნელი ტოლობიდან

$$b_1 = b_2 \sqrt{\lambda};$$

$$h_1 = h_2 \sqrt{\lambda}.$$

ასეთივე წესით გამოვითვლით კვადრატის გვერდს:

$$a_1 = a_2 \sqrt{\lambda}.$$

ყველა კალიბრებში მუდმივი გამოკიშვის კოეფიციენტის არსებობის შემთხვევაში ადგილი აქვს ტოლობას:

$$F_0 = \lambda^n \cdot F_n,$$

სადაც  $F_0$  არის საწყისი სხმულის (ან ნამზადის) ფართი;

$F_n$ —საბოლოო კვეთის ფართი;

$n$ —კალიბრების რიცხვი.

აქედან, თუ ცნობილია  $\lambda$ ,  $F_0$  და  $F_n$  განვსაზღვრავთ საჭირო კალიბრების რიცხვს:

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \lambda}.$$

მაგალითი. ვაწარმოთ  $100 \times 100$  მმ ნამზადიდან  $50 \times 50$  მმ ნამზადის მისაღებად საჭირო კალიბრების დაპროექტება. ავიღოთ



კალიბრების სისტემა—რომბი-რომბი. დიაგონალების ფარდობა იყოს  $\frac{b}{h} = 1,12$ . ანგარიში ჩავატაროთ უკანასკნელი კალიბრიდან გლინვის სვლის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ჯამური გამოკიშვა იქნება:

$$\lambda_0 = \frac{100 \times 100}{50 \times 50} = 4.$$

თუ გამოკიშვის საშუალო კოეფიციენტი ავიღებთ 1,26, მაშინ საჭირო გატარებათა რიცხვი:

$$n = \frac{\lg \lambda_0}{\lg \lambda_{\text{ს.ა}}} = \frac{\lg 4}{\lg 1,26} \approx 6.$$

რომბის დიაგონალები

$$h_c = \sqrt{\frac{2Q_s}{1,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2500}{1,12}} \approx 67 \text{ მმ},$$

$$b_c = 1,12/h_c = 1,12 \cdot 67 \approx 74 \text{ მმ}.$$

შემდგომი ანგარიშის შედეგები მოყვანილია მე-16 ცხრილში.

ცხრილი 16

დაკალიბრება ხახტეშით რომბი-რომბი

კალიბრის №	F მმ <sup>2</sup>	2F მმ <sup>2</sup>	h მმ	b მმ	H-h მმ	ΔB	α°	შესწორებული	
								h'	b'
6	2500	5000	67 (71)	94	14	3	16,5	71	74
5	3150	6300	74	85	20	4	20,5	71	85
4	3968	7936	85	94	22	4	21,5	81	94
3	5000	10000	94	107	24	5	22,5	89	107
2	6299	12598	107	118	28	5	25,5	102	118
1	7936	15872	118	135	23		25,5	113	135
0	10000	20000							

ვინაიდან უკანასკნელი კალიბრიდან უნდა მივიღოთ კვადრატული დიაგონალებით 71×71 მმ, ამიტომ 67 მმ ნაცვლად ვიღებთ 77 მმ და აღნიშნულ კალიბრში ზოლს გავატარებთ ორჯერ 90° შემობრუნებით. გაფართოების ანგარიში ჩატარებულია ეფის ფორმულის მიხედვით.

განვიხილოთ იგივე ნაშადის მისაღებად კალიბრების სისტემის რომბი-კვადრატი ანგარიში.

ამ შემთხვევაში გამოკიშვის კოეფიციენტი ავიღოთ კვადრატადან კვადრატამდე  $\lambda_0 = 1,5$ .

კვადრატული კალიბრების რაოდენობა იქნება:

$$n = \frac{\lg 10000 - \lg 2500}{\lg 1,5} \approx 3,$$

აქედან:

$$\lambda_0 = \sqrt[3]{\frac{10000}{2500}} = 1,587$$

და

$$\lambda = \sqrt{1,587} = 1,26.$$

გამოკიშვის კოეფიციენტი  $\lambda = 1,26$  ყველა კალიბრებისათვის მუდმივია და მის მიხედვით ვანგარიშობთ ფართობების რიგს.

თაფიდან ანგარიშს ვა უარებით გაფართოების გარეშე და შემდეგ ვითვალისწინებთ კუთხეების მოძრავალებას გაფართოებისათვის. ანგარიშის შედეგი წარმოდგენილია მე-17 ცხრილში.

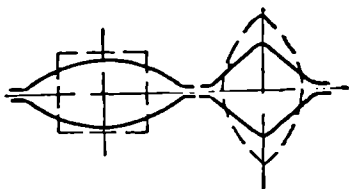
ცხრილი 17

დაკალიბრება ხისტემით რომში-კვადრატო

კალიბრის №	კალიბრის ფორმა	F მმ	2F მმ	h მმ	b მმ	H-h მმ	$\frac{\Delta B}{\Delta b}$	h'	b'	$\alpha^\circ$
6	კვადრატი	2500	5000	71	71	18	3	71	71	18,5
5	რომბი	3150	6300	71	89	18	4	68	89	18,5
4	კვადრატი	3980	7960	89	89	23	4	85	89	21,5
3	რომბი	5000	10000	89	112	23	5	85	112	21,5
2	კვადრატი	6300	12600	112	112	29	5	107	112	21,5
1	რომბი	7940	15880	112	141	29	6	107	141	21,5

### 3. კალიბრების სისტემა კვადრატი-ოვალი

მომკიშავი და მოსამზადებელი ვალების გლინების კალიბრების ყველაზე გავრცელებულ სისტემას წარმოადგენს კვადრატი-ოვალი (ნახ. 246).

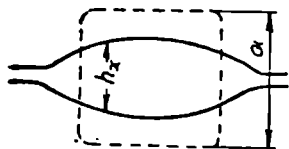


ნახ. 246. კალიბრების სისტემა კვადრატი-ოვალი

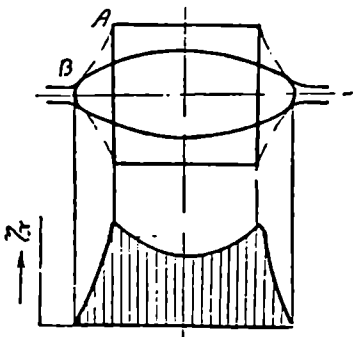
კვადრატული კალიბრიდან გამოსული ზოლი ოვალურ კალიბრში მიეწოდება ბრტყლად, ხოლო ოვალური კალიბრიდან გამოსული ზოლი კვადრატულ კალიბრში მიეწოდება წიბოზე, ე. ი. ოვალის დიდი ღერძის ვერტიკალურ მდგომარეობაში.

ძირითადი უპირატესობანი კალიბრების სისტემისა—კვადრატი-ოვალი ზემოთ განხილულ გამოკიშვავ კალიბრებთან შედარებით შემდეგში მდგომარეობს.

1. სისტემა დიდი გამოკიშვების განხორციელების საშუალებას იძლევა (ოვალურ კალიბრში 2-მდე, ხოლო კვადრატულში 1,8-მდე), რაც უზრუნველყოფს კასაგლინაჟი ზოლის კვეთის სწრაფ შემცირებას. ეს კი საშუალებაა იძლევა შევადკიროთ გატარებათა რიცხვი, გლინებისა და ეხერჯიის ხარჯი, დამხმარე მოწყობილობისა და გა-



ნახ. 247. კვადრატული ზოლის გლინვა ოვალურ კალიბრებში.



ნახ. 248. მომკიშვების განწილება ოვალური კალიბრის სიგანეზე.

ლების რაოდენობა და დგანზე მომუშავე პერსონალის რიცხვი. ყველა ჩამოთვლილი ფაქტორები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ თვითღირებულების შემცირებაზე.

2. ლითონის ენერჯიული გადაადგილება იძლევა თბურ ეფექტს, რაც უზრუნველყოფს ხარისხოვანი ნაგლინის მიღებას.

3. ოვალის კვადრატულ კალიბრში მდგრადი მდგომარეობა და პირიქით—კვადრატული ზოლისა ოვალში, გამყვანების აღვილი და სწრაფი დაყენების საშუალებას იძლევა.

4. ოვალური კალიბრების მცირე ჩაქრა გლინებში.

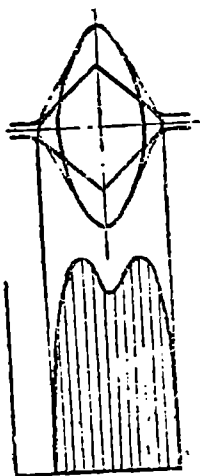
კვადრატი-ოვალის სისტემის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს:

1. დეფორმაციის მნიშვნელოვანი უთანაბრობა ზოლის სიგანეზე როგორც ოვალურ, ისე კვადრატულ კალიბრებში, რაც იწვევს ძაბვების გადიდებას ლითონში, გლინების სწრაფ ცვეთას და ენერჯიის ხარჯის გადიდებას ლითონის გადაადგილებაზე განივი მიმართულებით.

2. გამოკიშვები ოვალურ და კვადრატულ კალიბრებში ძლიერ განსხვავებულია, რასაც მიყვევართ გლინების არათანაბარ გაცვეთამდე (ოვალური კალიბრები კვადრატულთან შედარებით უფრო

მალე (ცვლება) და უკანასკნელი დგანის ექსპლოატაციის დროს ჰქმნის დამატებით სიძნელეებს.

მოჭიმვა ოვალური კალიბრის სიგანეზე არათანაბარია (ნახ. 247) და დამოკიდებულია მისი სიმაღლის ცვალებადობაზე: 248-ე ნახ-ზე



წარმოდგენილია გამოჭიმვების განაწილება ოვალური კალიბრის სიგანეზე. ზოლის კუთხეების გადაადგილება მის მოჭიმვასთან ერთად წარმოებს ჰიპერბოლის მრუდზე. ზოლის განაპირა მხარეები შუა ნაწილთან შედარებით ცდილობენ მიიღონ უფრო მეტი გამოჭიმვა, ხოლო შუა ნაწილი თავის მხრივ აფერხებს განაპირა მხარეების გამოჭიმვას. ამიტომ განაპირა მხარეები მნიშვნელოვან იძულებით გაფართოებას ღებულობენ. რაც უფრო მცირეა პროფილის ძლიერ მოჭიმული ნაწილების ფართი, მით მეტია იძულებითი გაფართოების სიდიდე. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ იძულებითი გაფართოების განვითარებას ოვალურ კალიბრში ხელს უშლის გვერდითი კედლების ზედაპირი.

ნახ. 249. მოჭიმვების განაწილება კვადრატული პროფილის სიგანეზე.

დეფორმაციის ხასიათი კვადრატულ კალიბრში ოვალის გლინვის დროს წარმოდგენილია 249-ე ნახ-ზე, რომელზეც ნაჩ-

ვენებია დამოუკიდებელი გამოჭიმვების განაწილების გრაფიკი კალიბრის სიგანეზე.

ოვალურ კალიბრთან შედარებით დეფორმაციის უთანაბრობე კვადრატულ კალიბრში გაცილებით ნაკლებია.

ოვალურ და კვადრატულ კალიბრებში ზოლის მოჭიმვისა და შესვლის თანმიმდევრობა წარმოდგენილია 250-ე და 251-ე ნახ-ზე. კვადრატულ კალიბრში ოვალური ზოლის გლინვის დროს გამოჭიმვა შეიძლება გამოთვლილი იქნას კირხბერგის ფორმულით:

$$f_n = 0,7 \sqrt{160V F_n} \quad (252)$$

სადაც  $F_n$  არის კვადრატული კალიბრის ფართი;

$f_n$  — ფარდობითი გამოჭიმვა; %.

ამ შემთხვევაში გამოჭიმვის კოეფიციენტი კვადრატულ კალიბრში უდრის:

$$\lambda_n = 1 + \frac{f_n}{100} \quad (253)$$

კვადრატის თვალში მიწოდების დროს (კალიბრი  $n-1$ ) გამო-  
ქიშვა გამოითვლება ფორმულით:

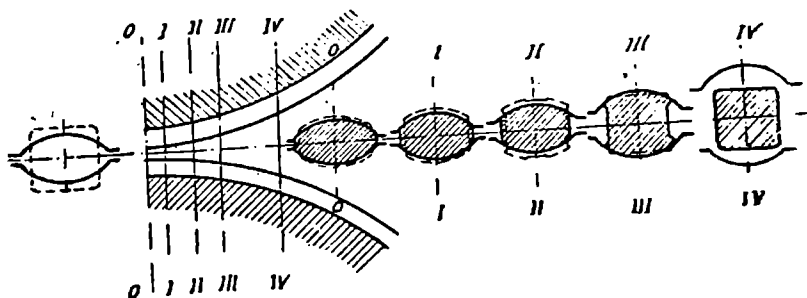
$$\lambda_{n-1} = 1 + \frac{f_{n-1}}{100} \quad (254)$$

და

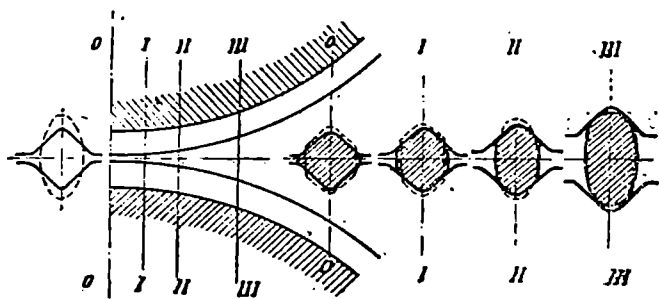
$$f_{n-1} = \sqrt{160 \sqrt{F_{n-1}}} \quad (255)$$

სადაც  $F_{n-1}$  არის თვალის ფართი, რომელიც უდრის

$$F_{n-1} = \lambda_n F_n = \left(1 + \frac{f_n}{100}\right) F_n \quad (256)$$



ნახ. 250. კვადრატული ზოლის თანმიმდევრობითი შესვლა  
და მოქიშვა თვალურ კალიბრში.



ნახ. 251. თვალური ზოლის თანმიმდევრობითი შესვლა და  
მოქიშვა კვადრატულ კალიბრში.

თვალში მიწოდებული კვადრატის ფართი, ცხადია, იქნება

$$F_{n-2} = \lambda_{n-1} \cdot F_{n-1} = \left(1 + \frac{f_{n-1}}{100}\right) F_{n-1} \quad (257)$$

ვიციტ რა კვადრატის ფართი განესაზღვრავთ მის გვერდს:

$$a = \sqrt{F_{n-2}} \quad (258)$$

კვადრატის დიაგონალები. როცა კუთხე შეადგენს  $90^\circ$  უღრის:

$$b = h = 1,41 a. \quad (259)$$

განესაზღვრავთ რა ოვალის ფართის მის დანარჩენ ზომებს გავიგებთ მე-18 ცხრილის მიხედვით, სადაც ისინი მოცემულია  $F_1/h^2$  ფარდობის მიხედვით.

ოვალის სისქეს ანგარიშობენ ფორმულით

$$h = a - \Delta b,$$

სადაც  $a$  არის უახლოესი მცირე კვადრატის გვერდი;

$\Delta b$  — გაფართოება უახლოეს მცირე კვადრატში. ოვალის გლინვის დროს,  $\Delta b = 0,5 f_n$ .

სისტემის კვადრატი-ოვალი დაკალიბრებას იწყებენ საბოლოო კვადრატიდან, რომლის ზომები წინასწარ მოცემულია.

მაგალითი. მისაღები კვადრატის ფართი

$$F_1 = 12 \times 12 = 144 \text{ მ}^2.$$

მოცემულ კვადრატში ოვალის გლინვის დროს ფარდობითი გამოკიემა იქნება:

$$f_1 = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{144}} = 30,7\%,$$

გამოკიემა:

$$\lambda_1 = 1 + \frac{f_1}{100} = 1,307.$$

ოვალის ფართი:

$$F_2 = \lambda_1 F_1 = 1,307 \cdot 144 = 188,2 \text{ მ}^2.$$

ოვალის სისქე:

$$h_2 = 12 - 0,05 \cdot 30,7 = 10,5 \text{ მ}.$$

ფარდობა

$$\frac{F_2}{h_2^2} = 1,7.$$

მე-18 ცხრილიდან, როცა  $\frac{F_2}{h_2^2} = 1,7$  (ცხრილში  $\frac{F}{h^2} = 1,693$ ) ვპო-

ულობთ ფარდობას  $\frac{b_2}{h_2} = 2,46$  (ცხრილში  $\frac{b}{h}$ ), აქედან

$$b_2 = 2,46 h_2 = 2,46 \cdot 10,5 = 25 \text{ მ}.$$

განესაზღვროთ შემდეგი (დიდი) კვადრატის ზომები:

## მონაცემები ოვალური კალიბრების ანგარიშისათვის

b/h	F/h <sup>3</sup>	r/h	b/h	F/h <sup>3</sup>	r/h	b/h	F/h <sup>3</sup>	r/h
1,10	0,843	0,5525	1,90	1,334	1,1525	2,70	1,848	2,0725
1,12	0,855	0,5636	1,92	1,347	1,1716	2,72	1,861	2,0996
1,14	0,867	0,5749	1,94	1,360	1,1909	2,74	1,874	2,1269
1,16	0,878	0,5864	1,96	1,372	1,2104	2,76	1,888	2,1544
1,18	0,890	0,5981	1,98	1,385	1,2301	2,78	1,900	2,1821
1,20	0,902	0,6100	2,00	1,398	1,2500	2,80	1,913	2,2100
1,22	0,914	0,6221	2,02	1,411	1,2701	2,82	1,927	2,2381
1,24	0,926	0,6344	2,04	1,423	1,2904	2,84	1,940	2,2664
1,26	0,938	0,6496	2,06	1,436	1,3109	2,86	1,953	2,2949
1,28	0,950	0,6596	2,08	1,449	1,336	2,88	1,966	2,3236
1,30	0,962	0,6725	2,10	1,462	1,3526	2,90	1,979	2,3525
1,32	0,974	0,6856	2,12	1,474	1,3736	2,92	1,992	2,3816
1,34	0,986	0,6989	2,14	1,487	1,3949	2,94	2,005	2,4109
1,36	0,998	0,7224	2,16	1,500	1,4164	2,96	2,018	2,4404
1,38	1,010	0,7261	2,18	1,513	1,4381	2,98	2,031	2,4701
1,40	1,023	0,7400	2,20	1,526	1,4600	3,00	2,044	2,5000
1,42	1,035	0,7541	2,22	1,548	1,4821	3,02	2,057	2,5301
1,44	1,047	0,7684	2,24	1,551	1,5044	3,04	2,070	2,5604
1,46	1,059	0,7829	2,26	1,564	1,5269	3,06	2,083	2,5909
1,48	1,071	0,7976	2,28	1,577	1,5496	3,08	2,096	2,6216
1,50	1,084	0,8125	2,30	1,590	1,5725	3,10	2,109	2,6525
1,52	1,096	0,8276	2,32	1,602	1,5956	3,12	2,122	2,6836
1,54	1,108	0,8429	2,34	1,615	1,6189	3,14	2,135	2,7149
1,56	1,121	0,8584	2,36	1,628	1,6424	3,16	2,148	2,7464
1,58	1,133	0,8741	2,38	1,641	1,6661	3,18	2,161	2,7781
1,60	1,146	0,8900	2,40	1,654	1,6900	3,20	2,175	2,8100
1,62	1,158	0,9061	2,42	1,667	1,7141	3,22	2,188	2,8421
1,64	1,171	0,9224	2,44	1,680	1,7384	3,24	2,201	2,8744
1,66	1,183	0,9389	2,46	1,693	1,7629	3,26	2,214	2,9069
1,68	1,196	0,9656	2,48	1,706	1,7876	3,28	2,227	2,9396
1,70	1,208	0,9725	2,50	1,719	1,8125	3,30	2,240	2,9725
1,72	1,221	0,9896	2,52	1,732	1,8376	3,32	2,253	3,0056
1,74	1,233	1,0069	2,54	1,745	1,8629	3,34	2,266	3,0389
1,76	1,246	1,0244	2,56	1,758	1,8884	3,36	2,279	3,0724
1,78	1,258	1,0421	2,58	1,770	1,9141	3,40	2,306	3,1400
1,80	1,271	1,0600	2,60	1,784	1,9400	3,42	2,319	3,1741
1,82	1,284	1,0781	2,62	1,797	1,9661	3,44	2,332	3,2084
1,84	1,296	1,0964	2,64	1,809	1,9924	3,46	2,345	3,2426
1,86	1,309	1,1149	2,66	1,822	2,0189	3,48	2,358	3,2776
1,88	1,322	1,1336	2,68	1,835	2,0456	3,50	2,371	3,3125

ქვადრატის ოვალში გლინვის დროს ფარდობითი გამოკიემა გამოითვლება განტოლებით

$$f_2 = \sqrt{160\sqrt{182,2}} = 46,9\%;$$

გამოკიემა

$$\lambda_2 = 1 + \frac{f_2}{100} = 1,469;$$

კვადრატის ფართი

$$F_3 = \lambda_2 \cdot F_2 = 1,469 \cdot 188,2 = 276,5 \text{ მმ}^2;$$

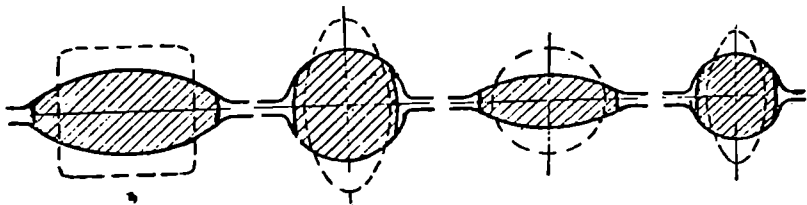
კვადრატის გვერდი

$$a_3 = \sqrt{F_3} = \sqrt{276,5} = 16,6 \text{ მმ.}$$

სავსებით ანალოგიურად ვპოულობთ შემდეგი ოვალებისა და კვადრატების ზომებს, საწყისი კვადრატული ნამზადის ზომების ჩათვლით.

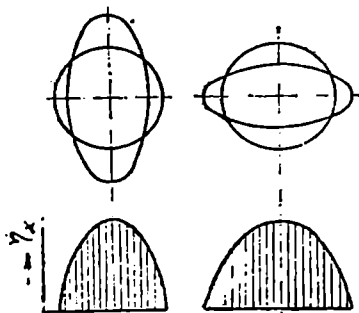
#### 4. კალიბრების სისტემა ოვალი-წრე

სისტემა ოვალი-წრე (ნახ. 252) წარმოადგენს გამომჟიმავი კალიბრების სისტემის ერთ-ერთ სახეს, რომელსაც გამოყენება აქვს



ნახ. 252. სისტემა ოვალი-წრე.

შემცირებული პლასტიკური თვისებების მქონე ლითონების გლინვის დროს.



ნახ. 253. მოჭიმვების განაწილება ოვალური და წრიული კვეთების სივანეზე.

ამ სისტემას ზემოთ განხილულ სისტემებთან შედარებით გააჩნია შემდეგი უპირატესობანი:

1. კალიბრების ფორმა უზრუნველყოფს ერთი პროფილიდან მეორეში მდორე გადასვლას, ამიტომ ლითონში ადგილობრივი ძაბვების წარმოშობის ხარისხი გაცილებით მცირეა.

2. მკვეთრი კუთხეების უქონლობა უზრუნველყოფს ზოლის თანაბარ გაცივებას, ნაპრალების აცილებას და გასაგლინავე პროფილის ზედაპირის კარგ ხარისხს.

3. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია შავი კალიბრებიდან მზა პროფილის (წრე) მიღება, რაც იძლევა გლინების პარკის შემცირების შესაძლებლობას.



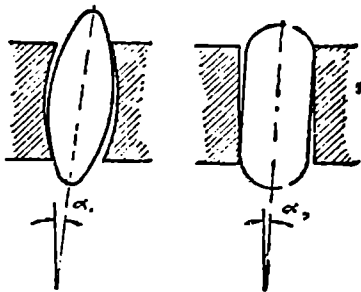
არსებულ უპირატესობასთან ერთად სისტემას —ოვალი-წრე გააჩნია არსებითი ნაკლოვანებანი:

1. მცირე გამოკიშვების (არ აღემატება 1,3—1,4) არსებობა აღიღებს გატარებათა რიცხვს, შესაბამისად მცირდება დგანის წარმადობა და იზრდება გლინების ხარჯი.

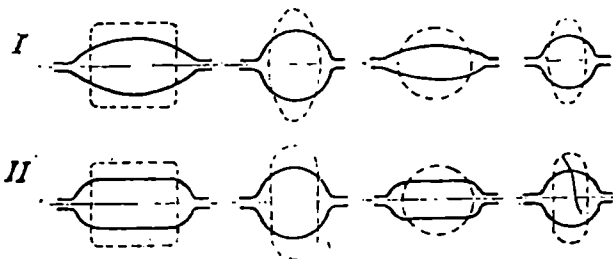
2. დეფორმაციის მნიშვნელოვანი უთანაბრობა პროფილის სიგანეზე როგორც ოვალურ, ისე წრიულ კალიბრებში (ნახ. 253).

3. ოვალური ზოლი წრიულ კალიბრში არამდგრადია და თხოულობს გამყვანების გამოყენებას. გამყვანებში უმნიშვნელო ღრეჩოს არსებობის შემთხვევაშიც კი ადგილი აქვს ზოლის გადახრას (ნახ. 254) და შესაბამისად პროფილის დამახინჯებას. მეორეს მხრივ, გამყვანების მკიდროდ დაყენება ხშირად იწვევს ზოლის წინა ბოლოს გაჩხერვას.

ზემოთ ჩამოთვლილი დადებითი და უარყოფითი მხარეების ანალიზის საფუძველზე სისტემამ ოვალი-წრე გამოყენება ჰპოვა მხოლოდ ხარისხოვანი და ლეგირებული ფოლადების გლინვის დროს.



ნახ. 254. ჩვეულებრივი და ბრტყელი თვალის გადაარა მიმართველებში როტა მიმართველება და პოოფილებს შორის ღრეჩო თანაბარი სიდიდისაა ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ).



ნახ. 255. დაკალიბრების სისტემის ოვალი-წრე სახესხვაობანი.

255-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია კალიბრების ორი ვარიანტი სისტემით ოვალი-წრე. ძირითად განსხვავებას მათ შორის იძლევა ოვალური კალიბრების ფორმა. პირველ ვარიანტში გამოყენებულა

ჩვეულებრივი ელიფსური ოვალი, ხოლო მეორეში ბრტყელი ოვალი.

მეორე ვარიანტი, რომელშიც გამოყენებულია ბრტყელი ოვალე-ბი, მიზნად ისახავს გამყვანებში ოვალის დაქერის გაადვილებას მის წრიულ კალიბრებში გატარების დროს. ამასთან ეროად ბრტყელი ოვალის გამოყენება ამცირებს დეფორმაციის უთანაბრობას წრიულ კალიბრში და აადვილებს ზოლის შეტაცებას, ვინაიდან ერთი და იგივე ფართის შემთხვევაში ჩვეულებრივ ოვალთან შედარებით ბრტყელი ოვალის სიგანე (გადაბრუნების შემდეგ – სიმაღლე) გაცი-ლებით ნაკლებია. საერთოდ კალიბრების სისტემა ბრტყელი ოვა-ლებით მუშაობს გაცილებით უკეთ და საიმედოდ. ბრტყელი ოვა-ლური კალიბრების უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს დეფორ-მაციის უთანაბრობის გადიდება მასში წრიული ზოლის გატარების დროს და გამოქინების არათანაბარი განაწილება ოვალსა და წრეს შორის.

გ. ა. ვინოგრადოვმა წამოაყენა წრიული პროფილის დაკალიბ-რების ანგარიშის მეთოდის სისტემისათვის ოვალი-წრე [10]. იგი იძლევა ბრტყელი ოვალის ფართის საანგარიშო ფორმულას:

$$F = bh - 0,215 h^2. \quad (260)$$

### § 3. უწყვეტი მოსამზადებელი დგანების გლინების დაქალიბება

უწყვეტი მოსამზადებელი დგანები განლაგებულია ან ბლუმინგის შემდეგ ან სორტული დგანების წინ.

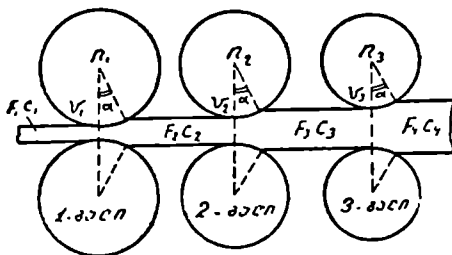
პირველ შემთხვევაში ბლუმინგიდან გამოსული ბლუმისი ჯერ კი-დეც საკმაოდ ცხელია და შესაძლებელია მისი გლინვა გახურების გარეშე უწყვეტ დგანზე. მეორე შემთხვევაში დგანის წინ დაყენებუ-ლია ლუმელი ცივი ბლუმსების ან სხმულების გასახურებლად; ამ შემთხვევაში უწყვეტი დგანიდან გამოსული ზოლი საკმაოდ ცხელია და შესაძლებელია მისი გაგლინვა სორტულ დგანზე გახურების გა-რეშე და ბოლოს მესამე შემთხვევაში უწყვეტ დგანსა და უშუ-ალოდ ბლუმინგის შემდეგ, ხოლო ნამზადის შემდგომი გლინვისათ-ვის სორტული დგანის წინ კიდევ ერთ მომქიმავე დგანს.

უწყვეტი მოსამზადებელი დგანის უშუალოდ, ბლუმინგის შემდეგ დაყენება საშუალებას იძლევა გადიდებული იქნას ბლუმინგის წარ-მადობა.

უწყვეტმა მოსამზადებელმა დგანმა უნდა მოასწროს ბლუმინგზე გაგლინული მთელი ლითონის გატარება გახურების გარეშე, ზოგი-ერთ შემთხვევაში ბლუმსების იმ რაოდენობის გამოკლებით, რომე-ლიც უშუალოდ მიდის ბლუმინგიდან მსხვილი ნამზადების საწყობში.

უწყვეტი დგანები შეიძლება დაყოფილი იქნას ორ ძირითად ჯგუფად:

1. დგანები, გლინების ხისტი კინემატიკური დაკავშირებით, რომლებსაც მომსახურებას უწევს ერთი საერთო ძრავი;
2. უწყვეტი გლინვის ყველა დანარჩენი დგანები, რომელთა-



ნახ. 256. უწყვეტი გლინვის სქემა.

თვითეული გალის გლინებს აქვთ ინდივიდუალური ამძრავი (სარეგულირებელი ბრუნვათა რიცხვით).

უწყვეტი გლინვის დროს ზოლი ერთდროულად იმყოფება რამდენიმე გალში (ნახ. 256) გლინვის პროცესის ნორმალური მსვლელობისათვის აუცილებელია თვითეულ გალში დროის ერთეულში (მიღებულია ერთ წამში) გატარებული ლითონის მოცულობის მუდმივობა. ამ პრინციპის დარღვევის შემთხვევაში ადგილი აქვს ლითონის დაგროვებას ან ზოლის დაკიმულობას გალებს შორის, რასაც მიყვება პროფილის ზომების დამახინჯებამდე და მუშა გალების დეტალებში დამატებითი ძაბვების წარმოქმნამდე.

მათემატიკურად წამში გატარებული მოცულობების მუდმივობა გამოიხატება განტოლებით:

$$c_1 F_1 = c_2 F_2 = \dots = c_n F_n = \text{const}, \quad (261)$$

სადაც  $c$  არის ზოლის გლინებიდან გამოსვლის სიჩქარე;

$F$ —განივი კვეთის ფართი.

თუ  $c$ -ს მაგივრად ჩავსვამთ მის მნიშვნელობას წინსწრების ( $i$ )-გათვალისწინებით, მაშინ გვექნება:

$$\frac{\pi D_1 n_1}{60} (1+i_1) F_1 = \frac{\pi D_2 n_2}{60} (1+i_2) F_2 = \dots = \frac{\pi D_n n_n}{60} (1+i_n) F_n = \text{const},$$

ან  $\frac{\pi}{60}$  მუდმივ სიდიდეზე შეკვეცის შემდეგ

$$F_1 D_1 n_1 (1+i_1) = F_2 D_2 n_2 (1+i_2) = \dots = F_n D_n n_n (1+i_n) = C \dots \quad (262)$$

ნამრავლს  $F D n (1+i)$  ჩვეულებრივად უწოდებენ უწყვეტი დგანის ჰუდმივას ანუ უწყვეტი დგანის კალიბრების კონსტანტას. კალიბრების კონსტანტის ზუსტად დაცვა უზრუნველყოფს გლინვას დაქიმულობისა და მარყუყის წარმოქმნის გარეშე.

პრაქტიკაში უწყვეტი გლინვა ზოლის დაქიმულობისა და მარყუყის წარმოქმნის გარეშე ჩვეულებრივად შეუძლებელია, ვინაიდან დეფორმაციის პირობები განუწყვეტლივ იცვლებიან (იცვლება ზოლის ტემპერატურა, ხახუნის კოეფიციენტი, გლინებსშორისი ღრეჩო და სხვა ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ  $i$  და  $F$ ). იმ შემთხვევებში, როცა ეს აუცილებელი და შესაძლებელია გლინვას აწარმოებენ მცირე მარყუყეებით, რომლის სიდიდეს დაახლოებით აქერენ მუდმივს გლინების ბრუნვათა რიცხვის განუწყვეტელი რეგულირების ან სხვა რაიმე საშუალების ხარჯზე. ისეთი პროფილების გლინვის დროს, როცა დაუშვებელია მარყუყეების არსებობა, ან არა გვაქვს საშუალება გლინების ბრუნვათა რიცხვის რეგულირებისა, უშვებენ ზოლის მინიმალურ დაქიმულობას.

პროფ. ა. პ. ვინოგრადოვმა შეიმუშავა უწყვეტი დგანების გლინების დაკალიბრების მეთოდი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს. უწყვეტი დგანებისათვის შეიძლება დაიწეროს სიჩქარეთა შემდეგი რიგი:

$$c_1 = v_1 i_1$$

$$c_2 = v_2 i_2$$

$$c_3 = v_3 i_3$$

$$\vdots$$

$$c_n = v_n i_n$$

და

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2 i_2}{v_1 i_1}$$

$$\frac{c_3}{c_2} = \frac{F_2}{F_3} = \frac{v_3 i_3}{v_2 i_2}$$

$$\frac{c_n}{c_{n-1}} = \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{v_n i_n}{v_{n-1} i_{n-1}}$$

სადაც  $F$  არის კალიბრების ფართი;

$v$ —გლინების წრიული სიჩქარე.

აქედან კალიბრებში წრიული სიჩქარეებისათვის ევლებულობთ შემდეგ რიგს:

$$v_2 = v_1 \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{i_1'}{i_2}$$

$$v_3 = v_1 \frac{F_2}{F_3} \cdot \frac{i_2}{i_3} = v_1 \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{F_2}{F_3} \cdot \frac{i_1}{i_2} \cdot \frac{i_2}{i_3} = v_1 \frac{F_1}{F_3} \cdot \frac{i_1}{i_3}$$

$$\therefore v_4 = v_3 \frac{F_3}{F_4} \cdot \frac{i_3}{i_4} = v_1 \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{i_1}{i_2} \cdot \frac{F_2}{F_4} \cdot \frac{i_2}{i_4} = v_1 \frac{F_1}{F_4} \cdot \frac{i_1}{i_4}$$

$$\dots$$

$$v_n = v_1 \frac{F_1}{F_n} \cdot \frac{i_1}{i_n} \quad (263)$$

ფორმულა (263) იძლევა დამოკიდებულებას კალიბრებსა და გლინების წრიულ სიჩქარეებს შორის, კალიბრებში წინსწრების კოეფიციენტთან ერთად.

როგორც გლინვის თეორიიდანაა ცნობილი წინსწრების საკითხი საკმაოდ არაა შესწავლილი. გლინებში ლითონის დეფორმაციის ანალიზის საფუძველზე, თუ მხედველობაში მივიღებთ მთავარ ფაქტორებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ წინსწრებაზე, სახელდობრ შოკიშვა, გაფართოება, გლინების დიამეტრი და კრიტიკული კუთხე, წინსწრების გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ფორმულა:

$$i = \frac{\left( B + \Delta B \frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha} \right) [h + D(1 - \cos \gamma) \cos \gamma]}{(B + \Delta B) h}$$

სადაც  $B$  არის ზოლის სივანე გატარებამდე;

$\Delta B$ —გაფართოება ერთ გატარებაზე;

$\alpha$ —შეტაცების კუთხე;

$\gamma$ —კრიტიკული კუთხე;

$h$ —ზოლის სიმაღლე გატარების შემდეგ;

$D$ —გლინების მუშა დიამეტრი.

გლინების წრიულ სიჩქარესა და ბრუნვათა რიცხვს შორის დამოკიდებულებას განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$v = \frac{\pi D_0 n}{60}$$

აქედან

$$n = 19,1 \frac{v}{D_0} \quad (264)$$

სადაც  $D_0$  არის გლინების მუშა დიამეტრი, რომელიც კალიბრებში გლინკის დროს გამოითვლება ფორძულით

$$D_0 = D - \frac{F}{B}.$$

ამრიგად, (263) და (264) ფორმულები მთლიანად განსაზღვრავენ დამოკიდებულებას უწყვეტი დგანის კალიბრებასა და გლინების ბრუნვათა რიცხვს შორის თვითეულ გალში.

---

## თავი მეთოთხმეტი

### მზა პროდუქციის საბლინავი ღვანავის გლინების დაკალიბრება

#### § 1. მარტივი პროფილების დაკალიბრება

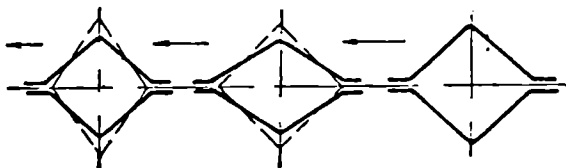
##### 1. კვადრატული ფოლადის დაკალიბრება

კვადრატული ფოლადი წარმოადგენს ზუსტ კვადრატს მახვილი წიბოებით. პროფილის ზომებია ჩვეულებრივი ფოლადისათვის 10—100 მმ, ხოლო ხარისხოვანი ფოლადებისათვის 5—150 მმ.

თანამედროვე პირობებში კვადრატულ პროფილებს გლინავენ გამყვანებში. ასეთი წესით გლინვის დროს კვადრატის საკუთარ ზომას ლებულობენ საბოლოო კალიბრში, რომელიც წარმოადგენს სუფთა კვადრატს.

ამ შემთხვევაში სუფთას წინა კალიბრებად ყოველთვის იყენებენ სუფთა რომბს და სუფთას წინა კვადრატს (ნახ. 257).

სუფთას წინა კვადრატებს ლებულობენ გამომქიმავე კალიბრების



ნახ. 257. სუფთასწინა კალიბრები.

სისტემიდან (ყველაზე უფრო ხშირად სისტემიდან რომბი-კვადრატის). სუფთა კვადრატში სუფთას წინა რომბი მიეწოდება მხოლოდ ერთჯერ.

გლინების ხშირი გამოცვლის ასაცილებლად უკანასკნელ სამ გალში გლინების კასრის მთელ სიგრძეზე ჩარხავენ ერთნაირი ზომის რამდენიმე კალიბრს. ლითონის ეკონომიის მიზნით კვადრატულ ფოლადს გლინავენ უარყოფითი დაშვებებით, ე. ი. „მინუსით“.

სუფთა კვადრატული კალიბრების აგება შემდეგნაირად წარ-

მოებს. მცირე ზომის კვადრატებისათვის კუთხეს წვეროსთან იღებენ  $90^\circ$ . ისეთი კვადრატებისათვის, რომლის გვერდი 15 მმ აღემატება კუთხე წვეროსთან აღწევს  $91,5^\circ$ . უფრო ხშირად კუთხეს იღებენ  $90,5^\circ$ .

ასეთი კუთხისათვის კალიბრის სიმაღლე, ე. ი. ვერტიკალური დიაგონალი უდრის  $h=1,41 a_0$ , ხოლო სიგანე, ე. ი. ჰორიზონტალური დიაგონალი უდრის  $b=1,42 a_0$ . მიზეზი დიაგონალებს შორის ასეთი სხვაობისა მდგომარეობს იმაში, რომ კვადრატის გაცივების დროს ჰორიზონტალური დიაგონალი მცირდება უფრო მეტად, ვიდრე ვერტიკალური. ეს აიხსნება იმით, რომ რომბის მახვილი კუთხეები, რომელიც კვადრატში მიეწოდება, ცივდება უფრო სწრაფად ვიდრე ბლაგვი კუთხეები.

კვადრატის გვერდი ( $a_0$ ) ცხელ მდგომარეობაში უდრის.

$$a_{0b} = a_0 (1,011 \div 1,015).$$

გლინებშორისი ღრეჩო უდრის:

$$t = (0,008 \div 0,011) D,$$

სადაც  $D$  არის გლინის დიამეტრი.

გლინებში კალიბრის ჩაქრის სიგანე გამოითვლება შემდეგი ტოლობიდან:

$$b_a = b - t.$$

## 2. მრგვალი ფოლადის დაკალიბრება

მრგვალი და კვადრატული ფოლადების გასაგლინავად, როგორც წესი, იყენებენ შავად დამმუშავებელ ერთ და იგივე გლინებს. ამიტომ დაკალიბრება ისეთნაირად უნდა ჩატარდეს, რომ გლინები ვარჯისი იყოს როგორც მრგვალი, ისე კვადრატული ფოლადების გასაგლინავად.

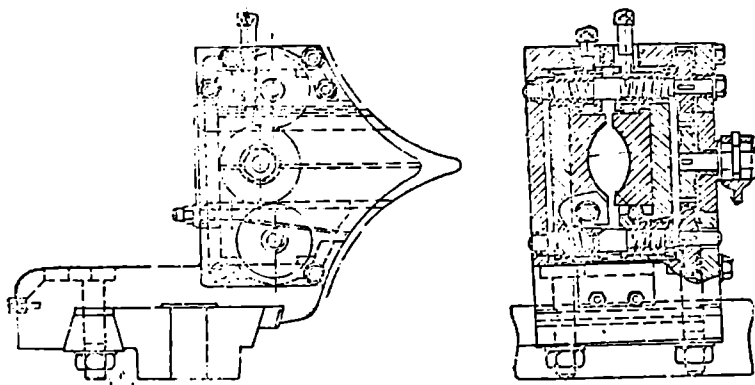
სორტამენტის თანახმად მრგვალ ფოლადს უშვებენ დიამეტრით 5—150 მმ. მრგვალ ფოლადს დიამეტრით 5—9 მმ უწოდებენ გლი+ნულას (хатанка), რომელსაც ახვევენ მორგვების სახით. თუ დიამეტრი 12 მმ აღემატება ფოლადს უშვებენ მხოლოდ წნელოვანი სახით.

მრგვალი ფოლადების გლინვის დროს საჭირო მრგვალ პროფილს ღებულობენ სათანადო ზომების მქონე მრგვალ კალიბრში ერთი საბოლოო გატარებით. სუფთა წრიულ კალიბრში მიეწოდება ოვალური კვეთის მქონე ზოლი წიბოზე. ოვალური ზოლის დაგ-



რაგენის ასაცილებლად მას იჭერენ ვერტიკალურ მდგომარეობაში სპეციალური გამყვანების დახმარებით (ნახ. 258).

მრგვალი ფოლადის გლინვა მისი მარკისა და ზომების მიხედვით



ნახ. 258. განყვანი ოვალური ზოლის გლინვაში მიწოდებისათვის.

სხვადასხვა წესით, წარმოებს. 259-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია მრგვალი ფოლადების გლინვის ყველაზე უფრო გავრცელებული წესები, რომლებმაც გამოყენება ჰპოვეს პრაქტიკაში.

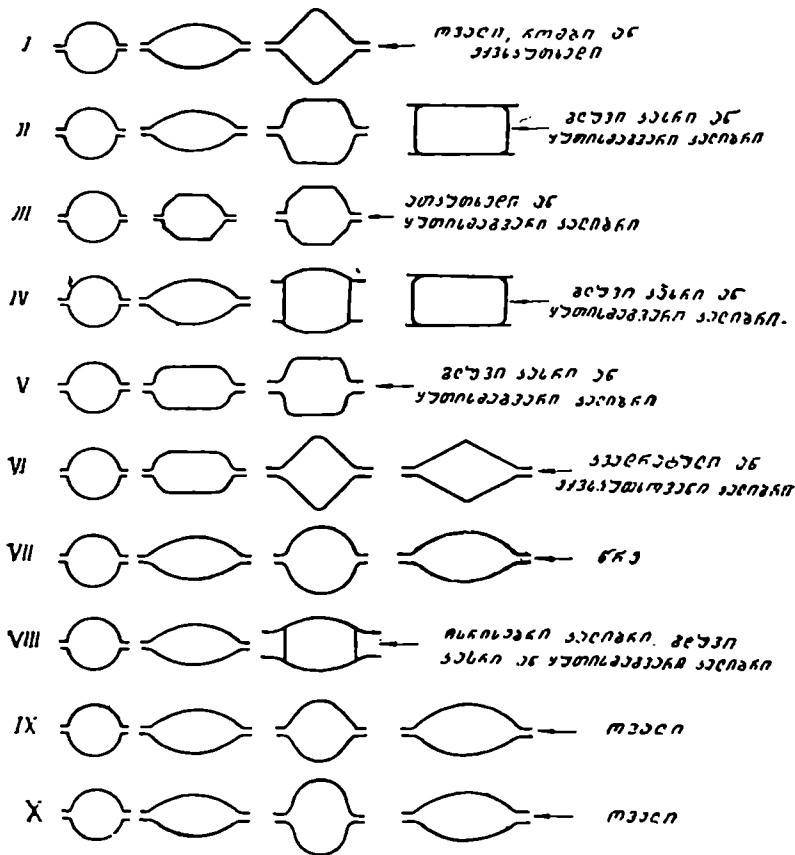
ქვემოთ მოყვანილია თვითეული ამ წესის მოკლე აღწერილობა.

**პირველი წესი.** ამ წესით დაკალიბრების დამახასიათებლად უნდა ჩაითვალოს სუფთას წინა კვადრატული კალიბრის არსებობა, რომელიც გლინვაში ჩაჭრილია წიბოთი. ასეთ კალიბრად შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სისტემების: ოვალი-კვადრატი, ექვსკუთხედი-კვადრატი, რომბი-კვადრატი და ნებისმიერი კვადრატი. კალიბრების ასეთი გამოყენების დროს გამოიყენება კალიბრები ძალიან მარტივად და ჩქარა გადადიან პროფილირებულში (სისტემაში ოვალი-კვადრატი მცირე გამოჭიმვების დროს თვითეული ოვალი შეიძლება გამოყენებული იქნას, როგორც სუფთას წინა კალიბრი). პირველი წესის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს არათანაბარი დეფორმაცია ოვალურ კალიბრში და დიდი კვეთის ზოლებისათვის წიბოვანი კვადრატული კალიბრების დრმა ჩაჭრა გლინვაში. ასეთი წესით ყველაზე უფრო ხელსაყრელია გაიგლინოს მრგვალი პროფილი დიამეტრით 5—20 მმ.

**მეორე წესი.** ასეთი წესით დაკალიბრების დროს სუფთას წინა კალიბრები შესაძლებლობას იძლევა გავვლინოთ სხვადასხვა ზომის მრგვალი ფოლადი (ამ შემთხვევაში შეიცვლება მხოლოდ სუფთა წრიული კალიბრი). მეორე ღირსშესანიშნავი თვისება ამ

წესისა არის, თანაბარი დეფორმაცია წიბოვან და ოვალურ კალიბრებში (ნახ. 260 და 261), რომლებშიც ამასთან ერთად ადვილად და სწრაფად წარმოებს ხენჯის მოცილება გასაგლინავე ლითონის ზედაპირიდან.

მეორე წესით იგლინება მრგვალი პროფილები დიამეტრით 20—

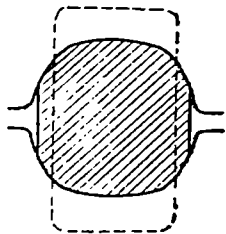


ნახ. 259. მრგვალი ფოლადის გლინვის წესები.

100 მმ, როგორც რბილი, ისე მაგარი ფოლადებისაგან და შეიძლება რეკომენდირებული იქნას ყველა დგანებზე, რომლებიც მუშაობენ პრინციპით „თვითეულ გალში—ერთი გატარება“.

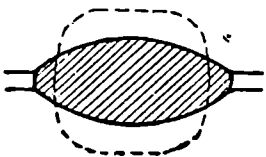
პირველი და მეორე წესების შედარება შემდეგ გვიჩვენებს:

უფრო ზუსტი კვადრატი, რომელიც მიიღება წიბოვანი კვადრატული კალიბრიდან (პირველი წესი), უზრუნველყოფს უფრო ზუსტი და წესიერი ოვალის და შესაბამისად ზუსტი წრის მიღებას. კვადრატული კალიბრების ეს თვისება მით უფრო შესაძინევია, რაც უფრო ნაკლებია გასაგლინავი პროფილის ზომები. მეორე მხრივ კარგად შევსებული კვადრატი ოვალში იძლევა არათანაბარ დეფორმაციას და შესაბამისად იწვევს ოვალური კალიბრის არათანაბარ ცვეთას. გარდა ამისა დიაგონალით შეჭრილი კალიბრები (პირველი წესი) არ იძლევიან ფართო რეგულირების საშუალებას. ამიტომ მიზანშეწონილია მრგვალი ფოლადები დიამეტრით 20 მმ-მდე გაიგლინოს პირველი წესის მიხედვით.



ნახ. 260. ზოლის დეფორმაცია წიბოვან კალიბრში.

მესამე წესი. ამ წესში სუფთას წინა ოვალის შეცვლილია ათკუთხედით, სუფთა და სუფთას წინა კალიბრებში არათანაბარი დეფორმაციის შემცირების მიზნით. ამასთან ერთად შესაძლებელია მდგრადი გლინვა გამყვანების გამოყენების გარეშე. აღნიშნულ წესს იყენებენ ყველაზე დიდი ზომის მრგვალი პროფილის გლინვის დროს (150 მმ და ზევით).



ნახ. 261. წიბოვანი კალიბრიდან გამოსული ზოლის დეფორმაცია ოვალურ კალიბრში.

მეოთხე წესი. ეს მეთოდი მსგავსია მეორისა და მისგან განსხვავდება მხოლოდ წიბოვანი კალიბრის ფორმით, გვერდითი კედლების უქონლობა ამ კალიბრში ხელს უწყობს ხენჯის მოცილებას, მაგრამ რაზედენადმე აუარესებს ზოლის გვერდითი ზედაპირების მდგომარეობას (მოსალოდნელია ნაოქებისა და ნაპრალების წარმოქმნა).

ვინაიდან ეს წესი ზოლის ზომების ფართო რეგულირების საშუალებას იძლევა, ამიტომ მას ხშირად უნივერსალურ დაკალიბრებას უწოდებენ.

მეხუთე და მეექვსე წესები. ამ წესების თავისებურებად უნდა ჩაითვალოს სუფთას წინა კალიბრებად ბრტყელი ოვლების გამოყენება. ასეთ ოვლებს ჩვეულებრივ ოვლებთან შედარებით გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობანი. მათ შორის მთავარია დიდი გამოქიმვები და კარგი მდგრადობა მარტივ გამყვანებში. გარდა ამისა ბრტყელი ოვლების გამოყენების დროს გაუმჯობესებულია ზოლის შეტაცების პირობა.

ასეთი კალიბრები თხოულობენ დგანის ზუსტად აწყობას, ვინაიდან ლითონის მცირე სიქარბეც კი იწვევს მის ზედმეტად გავსებას.

მეშვიდე, მერვე, მეცხრე და მეთათე წესები. მეშვიდე წესით დაკალიბრების დროს გამოყენებულია სისტემა ოვალი-წრე-ალბინწული სისტემის დადებითი და უარყოფითი მხარეები წარმოდგენილია XIII თავში.

მერვე წესი ისრისებური კალიბრის შემდეგ ითვალისწინებს ორ ოვალურ კალიბრს, რაც უზრუნველყოფს თანაბარ დეფორმაციას.

მეცხრე და მეთათე წესები იძლევიან პროფილის თანდათანობით (მდორე) გადასვლას, რაც უზრუნველყოფს ზოლის ზედაპირის კარგ ხარისხსა და მაღალ სიზუსტეს. ორთავე ეს წესი შესაძლებელია წარმატებით იქნას გამოყენებული ბიმეტალური მავთულების გლინვის დროს.

მრგვალი ფოლადის მიღების ყველა წესების შედარება გვიჩვენებს, რომ უჩეტეს შემთხვევაში პირველი, მეორე და მესამე წესებით შესაძლებელია მრგვალი ფოლადის ყველა სორტამენტის გაგლინვა.

ხარისხოვანი ფოლადების გლინვა უნდა ვაწარმოოთ მეშვიდე, მერვე, მეცხრე და მეთათე წესებით.

მრგვალი ფოლადის გლინვის ყველა განხილულ წესებში სუფთა და სუფთას წინა კალიბრების ფორმა თითქმის უცვლელია, რაც ხელს უწყობს ამ კალიბრებში ლითონის დენადობის საერთო კანონზომიერებების დადგენას.

სუფთა წრიული კალიბრის ჰორიზონტალური დიამეტრი უნდა იყოს ვერტიკალურ დიამეტრზე პეტი. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ზუსტი წრიული ფორმის კალიბრში მოსალოდნელია მისი ზედმეტად გავსება. პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე:

$$d_{\text{ვარ}} = 1,01 d$$

და

$$d_{\text{არ}} = 1,02 d,$$

სადაც  $d$  არის მისალეები მრგვალი ფოლადის დიამეტრი.

### 3. ზოლოვანი ფოლადის დაკალიბრება

ზოლოვანი ფოლადი წარმოადგენს მართკუთხოვანი კვეთის პროფილს (ნახ. 262). ზოლოვანი ფოლადის ზომებია: სიგანე  $b = 12 - 120$  მმ, სისქე  $h = 4 - 60$  მმ. ზოლოვან რკინას ფართო გამოყენება აქვს. დანიშნულების მიხედვით მას ჰყოფენ შემდეგ სახეებად:

1. საგვერგვე რკინა, რომელსაც ისე, როგორც ზოლოვან რკინას აქვს ბრტყელი გვერდები. მისი სისქე არ აღემატება 3,5 მმ, ხოლო სიგანე შეადგენს 20—50 მმ. საგვერგვე რკინას ახვევენ მორგვებად.



ნახ. 262. ზოლოვანი ფოლადი. ნახ. 263. სასალტე რკინა.

2. სასალტე რკინა, რომელსაც აქვს მართკუთხოვანი კვეთი მომრგვალებული გვერდებით (ნახ. 263), მისი ზონებია: სიგანე 40—65 მმ; სისქე 5—12 მმ. ისე როგორც საგვერგვე რკინა, სასალტე რკინას ახვევენ მორგვებად.

3. გლუვი, ღარიანი (ნახ. 264) და სპეციალური ფორმის (ნახ. 265) რესორები.



ნახ. 264. ღარიანი რესორი.

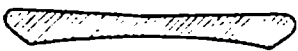
4. შტრიფსი—ნამზადი შედუღებული მილებისათვის.

5. ლენტი—თხელი ზოლი (სისქით  $h < 1,5$  მმ), რომელსაც ახვევენ რულონებად. ძირითადად იყენებენ მილების დასამზადებლად უწყვეტ მილშესადუღებელ დანადგარებზე.

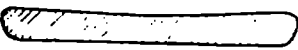
გამოსაველ მასალას ყველა სახის ზოლების გასაგლინავად წარმოადგენს კვადრატული ან მართკუთხოვანი კვეთის ნამზადები, ბლუმსები და სხმულები.



ზოლების გაგლინვის ორი წესი არაებობს: გლუვ კასრებზე და დახურულ კალიბრებში.



პირველი წესით გლინვის დროს გვერდითი მხარეები გამოდის მომრგვალებული, ხოლო ზოლის სიგანე არასაკმარისად ზუსტი. ზუსტი სიგანისა და სწორი გვერდების მისაღებად იყენებენ სპეციალურ სუფთას წინა წიბოვან კალიბრს (ნახ. 265 ა). ზოგიერთ დგანებზე ამავე მიზნისათვის იყენებენ გალებს ვერტიკალური

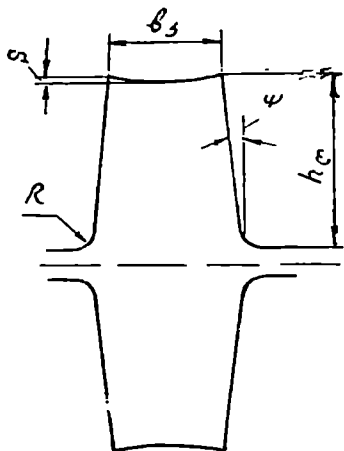


ნახ. 265. ავტომატიზაციისა და ტრაქტორების რესორები.

გლინებით. ძალიან თხელი ზოლების გლინვის შემთხვევაში წიბოვანი გატარება უნდა მოვახდინოთ გლინვის შუაში.

პირველი წესით გლინვას აწარმოებენ საფეხურიან გლინებზე

(ნახ. 266), რომელიც იძლევა ზოლოვან ფოლადის ფართო სორტამენტის მიღების საშუალებას. ამ შემთხვევაში გასაგლინავე ზოლის სისქე შესაძლებელია ვცვალოთ ფართო საზღვრებში, რასაც აღწევენ გლინებშორის დაცილებისა და საშუალო კალიბრების ხარჯზე.



ნახ. 265 ა. წიბოვანი კალიბრის კონსტრუქცია ზოლოვანი ფოლადის გლინვისათვის.

საფეხურის სიგანეს ჩვეულებრივად იღებენ გასაგლინავე ზოლების მაქსიმალურ სიგანეზე 50 მმ მეტს. საფეხურების სიმაღლეს განსაზღვრავს დაკალიბრება.

პრაქტიკაში საფეხურიან გლინებზე გაგლინვის ორი მეთოდი არსებობს. პირველ შემთხვევაში ზოლი მთლიანად იგლინება საფეხურიან გლინებში. გამოსაშვები ზოლის ზომების ცვალებადობა წარმოებს საწყისი კვადრატის ზომების ცვალებადობის ხარჯზე, რომელსაც საბოლოო კვეთის გვერდითი მხარეების გამობურცვის აცილების მიზნით აქვს ჩაზნექილი გვერდები. მეორე შემთხვევაში ზოლის გლინვის დროს საფეხურიან გლუვ გლინებთან ერთად

იყენებენ გლინებს წიბოვანი კალიბრებით (იხილეთ ნახ. 265 ა).

დეფორმაციის კოეფიციენტი წიბოვან კალიბრებში (სუფთას წინა კალიბრებისათვის) დამოკიდებულია ზოლის განივკვეთის ზომების ფარდობაზე და იცვლება საზღვრებში 1,05—1,20, რაც უფრო თხელი და განიერია ზოლი მით ნაკლები უნდა იყოს მოჭიმვის სიდიდე.

წიბოვანი კალიბრის ფსკერის სიგანე

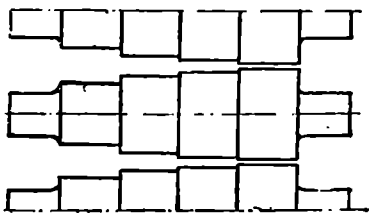
$$b_3 = (0,98 - 1,05) b,$$

სადაც  $b$  — კალიბრში მიწოდებული ზოლის სიგანეა.

გვერდითი კედლების დახრა ჩვეულებრივად შეადგენს 5—10%.

ე. ი.

$$\text{tg } \varphi = 0,05 \div 0,10.$$



ნახ. 266. საფეხურიანი გლინები ზოლოვანი ფოლადის გლინვისათვის

კალიბრის ფსკერის ამოზნექილობა

$$s = 0,5 \div 1,0 \text{ მმ.}$$

კალიბრის ლარის ჩაქრის სიღრმე

$$h_c = 0,015 D.$$

შვერილების ფასკას ამრგვალებენ რადიუსით

$$R = 5 \div 15 \text{ მმ.}$$

ზოლის დაკალიბრების დროს გაცილებით უფრო მოსახერხებელია ვისარგებლოთ არა გამოკიშვის კოეფიციენტით, არამედ დეფორმაციის კოეფიციენტით სიმაღლეზე, რომელიც წარმოადგენს ზოლის სიმაღლეების ფარდობას გატარებამდე და გატარების შემდეგ.

$$p = \frac{x}{h}.$$

თეორიულად დეფორმაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობამ შესაძლებელია მიაღწიოს ძალიან დიდ სიდიდეს. ამის დამადასტურებლად შეიძლება მოვიყვანოთ ჯერ კიდევ მე-20 საუკუნის დასაწყისში ვ. ე. გრუმგრეიმაილოს მიერ ჩატარებული ცდა, რომელმაც ერთი გატარებით გაგლინა ნამზადი კვეთით  $50 \times 50$  მმ და მიიღო ზოლი  $3,5 \times 75$  მმ, ამასთან ზოლს არ აღმოაჩნდა ბზარები და ნაპრალები. ამ ცდაში დეფორმაციის კოეფიციენტი სიმაღლეზე შეადგენდა:

$$p = \frac{x}{h} = \frac{50}{3,5} = 14,3.$$

პრაქტიკულად კი დეფორმაციის კოეფიციენტი ლიმიტირებულია შეტაცების კუთხითა და გლინების სიმტკიცით და განიერი და საშუალო ზოლებისათვის აღწევს 2,0—2,5, ხოლო ვიწრო ზოლები-სათვის—3,0 და უფრო მეტი.

ზოლოვანი პროფილის დაკალიბრების დროს გადაწყვეტილი უნდა იქნას შემდეგი ძირითადი საკითხები:

1. მისაღები ზოლის ზომების მიხედვით დადგენილი უნდა იქნას საწყისი კვადრატის ზომები;

2. განსაზღვრული უნდა იქნას გამოკიშვის კოეფიციენტი გატარებათა მიხედვით;

3. დადგენილი უნდა იქნას გატარებათა რიცხვი საწყისი კვადრატისა და საკირო ზომის ზოლის მისაღებად.

საწყისი კვადრატის ზომებს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$x = \frac{b + ah}{1 + a}, \quad (265)$$

სადაც  $x$  არის საძიებელი კვადრატის გვერდი;

$b$  და  $h$  — მისაღები ზოლის სიგანე და სისქე;

$a$  — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ლითონის გაფართოებას.

კოეფიციენტი  $a$  ჩვეულებრივად მოცემულია. ა. პ. ჩეკმარიოვი  
 „ კოეფიციენტის შემდეგ მნიშვნელობებს იძლევა (ცხრ. 19).

ცხრილი 19

**$a$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი ზოლოვანი პროფილების  
 დაკალიბრების შემთხვევაში  
 (ჩეკმარიოვის მიხედვით)**

ზოლის ზომები	გლინვა გლუვ კასრზე	გლინვა კალიბრებში
თხელი და ვიწრო ზოლები . . . . .	0,60—0,75	0,25—0,35
საშუალო სისქისა და სიგანის ზოლები . . . . .	0,45—0,60	0,18—0,25
სქელი და განიერი ზოლები . . . . .	0,30—0,45	0,12—0,18

გამოკიწვის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გატარებათა მიხედვით სარგებლობენ დამხმარე (20) ცხრილით, რომელიც ეფხის მიერ იქნა შედგენილი [6].

ცხრილი 20

**ფარდობითი გაშოკიშვის კოეფიციენტები ზოლოვანი ფოლადის გლინვისას**

კალიბრის №	ვერტიკალური სვეტის ნომერი №						ჯგუფი
	1	2	3	4	5	6	
1	1,00	1,0	1,00	1,0	1,00	1,0	1
2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	
3	1,50	1,6	1,70	1,8	1,90	2,0	
<i>P</i>	1,87	2,08	2,3	2,52	2,76	3,0	
1	1,00	1,0	1,0	1,00	1,0	1,00	2
2	1,17	1,2	1,23	1,27	1,3	1,33	
3	1,34	1,4	1,46	1,54	1,6	1,67	
4	1,50	1,6	1,70	1,80	1,9	2,00	
<i>P</i>	2,35	2,69	3,05	3,52	3,95	4,44	
1	1,00	1,00	1,00	1,0	1,000	1,00	3
2	1,125	1,15	1,175	1,2	1,225	1,25	
3	1,250	1,30	1,350	1,4	1,450	1,50	
4	1,375	1,45	1,525	1,6	1,675	1,75	
5	1,500	1,60	1,700	1,8	1,900	2,00	



კალბრის №	ვერტიკალური სვეტის ნომერი №						ჯამური
	1	2	3	4	5	6	
P	2,9	3,42	4,11	4,84	5,66	6,56	
1	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	
2	1,1	1,22	1,14	1,16	1,18	1,2	
3	1,2	1,24	1,28	1,32	1,36	1,4	
4	1,3	1,36	1,42	1,48	1,54	1,6	
5	1,4	1,48	1,56	1,64	1,72	1,8	
6	1,5	1,60	1,70	1,80	1,90	2,0	
P	3,6	4,47	5,5	6,69	8,07	9,67	
1	1,000	1,0	1,000	1,00	1,00	1,000	5
2	1,083	1,1	1,117	1,133	1,15	1,167	
3	1,166	1,2	1,234	1,266	1,30	1,334	
4	1,249	1,3	1,351	1,399	1,45	1,501	
5	1,330	1,4	1,467	1,532	1,60	1,668	
6	1,415	1,5	1,585	1,655	1,75	1,835	
7	1,500	1,6	1,700	1,800	1,90	2,000	
P	4,46	5,77	7,36	9,22	11,52	14,28	
1	1,00	1,000	1,0	1,00	1,00	1,00	6
2	1,07	1,086	1,1	1,114	1,13	1,14	
3	1,14	1,172	1,2	1,228	1,26	1, 9	
4	1,21	1,258	1,3	1,342	1,39	1,43	
5	1,28	1,344	1,4	1,456	1,52	1,57	
6	1,35	1,430	1,5	1,570	1,65	1,71	
7	1,42	1,516	1,6	1,684	1,78	1,85	
8	1,50	1,600	1,7	1,800	1,90	2,00	
P	5,43	7,46	9,8	12,7	16,8	20,9	
1	1,000	1,000	1,000	1,0	1,00	1,000	7
2	1,063	1,075	1,088	1,1	1,11	1,125	
3	1,125	1,150	1,176	1,2	1,22	1,250	
4	1,188	1,225	1,264	1,3	1,33	1,375	
5	1,225	1,300	1,352	1,4	1,44	1,500	
6	1,313	1,375	1,440	1,5	1,55	1,625	
7	1,375	1,450	1,528	1,6	1,67	1,750	
8	1,438	1,525	1,616	1,7	1,79	1,875	
9	1,500	1,600	1,700	1,8	1,90	2,00	
P	6,91	9,56	13,23	17,8	23,8	30,9	

ვიციტ რა მისაღები ზოლის სისქე საწყისი კვადრატის გვერდის განსაზღვრის შემდეგ ვანგარიშობთ ლეფორმაციის კოეფიციენტს სიმალღებზე ანუ სიმალღის შემცირების ჯამურ კოეფიციენტს:

$$p = \frac{x}{h}$$

მიღებული  $p$ -ს მიხედვით ცხრილში ეპოულობთ მასთან ახლო

მდებარე რიცხვს შეტობით ან ნაკლებობით. შესაბამის ვერტიკალურ სვეტში მოცემულია გამოკიმვის კოეფიციენტები გატარებათა მიხედვით.

დაუშვათ, რომ  $p=10,7$ , ცხრილში შესაბამისი უახლოესი რიცხვია  $p=11,52$ . სათანადოდ გატარებათა რიცხვი შეადგენს 7.

ვინაიდან  $p$ -ს მნიშვნელობა ცხრილის მიხედვით მეტია მის ფაქტიურ სიდიდეზე (10,7), ამიტომ საბოლოო და საწყისი პროფილების შეთავსებისათვის გამოკიმვის კოეფიციენტები უნდა გავამრავლოთ სიდიდეზე.

$$\sqrt[7]{\frac{10,7}{11,52}} \approx 0,99.$$

ყველა გატარებისათვის ზოლის ზომების დადგენის შემდეგ შერჩეული მოკიმვები უნდა შევამოწმოთ შეტაცების კუთხეზე. თუ პირველ გატარებაში შეტაცების კუთხე აღმოჩნდება დასაშვებზე მეტი ( $24^\circ$ ), მაშინ აუცილებელია მოკიმვის შემცირება.

**მაგალითი.** მოვახდინოთ  $20 \times 8$  მმ ზოლოვანი პროფილის დაკალიბრება.

საწყისი კვადრატის გვერდი გამოითვლება (265) ფორმულით

$$x = \frac{b+ah}{1+a} = \frac{20+0,3 \cdot 8}{1+0,3} = 17,2.$$

მოკიმვის ჯამური კოეფიციენტი უდრის

$$p = \frac{x}{h} = \frac{17,2}{8} = 2,15.$$

მე-20 ცხრილში  $p$ -ს შესაბამისი მნიშვნელობა უდრის 2,08, გატარებათა რიცხვი შეადგენს 3.

მოკიმვების შემასწორებელი კოეფიციენტი იქნება:

$$\sqrt[3]{\frac{2,15}{2,08}} = 1,015,$$

მაშინ

$$h_1 = 8 \times 1 = 8 \text{ მმ};$$

$$h_2 = 8 \times 1,3 \times 1,015 = 10,5 \text{ მმ};$$

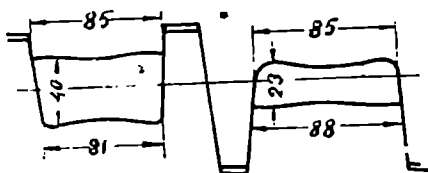
$$h_3 = 10,5 \times 1,6 \times 1,015 = 17,2 \text{ მმ}.$$

ზოლოვანი ფოლადების კალიბრებში გლინვას უმეტესად იყენებენ განიერი და თხელი ზოლებისათვის.

ზოლების გლინვისათვის იყენებენ დახურულ კალიბრებს (ნახ. 267). გლინვებში ისეთნაირად ანაწილებენ, რომ წინა კალიბრში გლი-

ნების გახსნის მხარეს მდებარე ლითონი შემდეგ კალიბრში უნდა მოხვდეს საწინააღმდეგო მხარეს და ა. შ. კალიბრების ასეთი განაწილებით აცილებულია გადაბრუნება 180°-ით და ფხების წარმოქმნა.

დახურულ კალიბრებში გლინვის დროს წიბოვან გატარებებს არ იყენებენ, რაც აძნელებს ზოლის ზედაპირიდან ხენჯის მოცილებას. ასეთი კალიბრების არსებით ნაკლად უნდა ჩაითვალოს გლინვის დიდი პარკის ირსებობა სხვადასხვა ზომის ზოლებისათვის.



ნახ. 267. დახურული კალიბრები ზოლოვანი ფოლადების გლინვისათვის.

ზოლის გლინებიდან გამოსვლის გაადვილებისა და გლინების გადაჩარხვის მიზნით კალიბრის გვერდით კედლებს აქვთ დახრილობა.

ზოლის კვეთის დამახინჯების ასაცილებლად დახრილობა გლინვის მიმართულებით პირველ კალიბრებში შეადგენს 3%, ხოლო ბოლო კალიბრებში 1,5%.

#### 4. კუთხოვანი ფოლადის დაკალიბრება

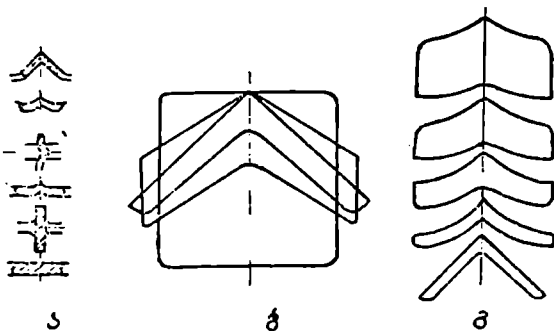
კუთხოვან ფოლადს უშვებენ თანასწორი და უთანასწორო გვერდებით. ორივე სახის კუთხოვანი ფოლადების გასაგლინავედ არსებობს სამი წესი.

1. ზოლის თანდათანობითი ვალუნით, რომელზეც პროფილის კუთხის კარგი შეესვებისათვის თავიდანვე ფორმირდება შვერილი (ნახ. 268, ა);
2. კვადრატული ნამზადის გლინით პირდაპირთაროებიან კალიბრებში (ნახ. 268, ბ);
3. კვადრატული ნამზადის გლინით გაშლილთაროებიან კალიბრებში (ნახ. 268, გ).

კუთხოვანი ფოლადის ზოლიდან გლინვის დროს იყენებენ ერთ ან ორ წიბოვან გატარებას (ნახ. 268, ა, ნაჩვენებია ორი წიბოვანი გატარების სქემა). ყველა კალიბრები, გარდა სუფთასწინა კალიბრისა, წარმოადგენენ ღია ანუ გახსნილ კალიბრებს, გლინვის ამ წესმა ვერ ჰპოვა ფართო გავრცელება, ვინაიდან კუთხოვანი ფოლადის გლინვა კვადრატული ნამზადიდან უფრო ეკონომიურია.

კუთხოვანი ფოლადის მიღების ყველაზე უფრო ძველ წესს წარ.

მოადგენს მისი გლინვა პირდაპირი თაროებით. ამ წესის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს მნიშვნელოვანი სხვაობა მუშა დიაგნოტიკებში. გლინების წრიული სიჩქარეების სხვაობა კალიბრის კვეთზე აღიღებს ხახუნს გასაგლინავ ლითონსა და გლინებს შორის,



ნახ. 268. კუთხოვანი ფოლადის გლინვის წესები.

რაც შესაბამისად ზრდის ენერჯის ხარჯს და გლინების კვეთას. აღნიშნული წესით კალიბრების უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს აგრეთვე ღრმა ჩაჭრა გლინებში, რაც მნიშვნელოვნად ასუსტებს გლინების სიმტკიცეს. ეს გარემოება დამკალიბრებელს აიძულებს შეამციროს დეფორმაციის კოეფიციენტები და გადადიდოს გატარებათა რიცხვი. რაც უფრო მცირეა გლინების დიამეტრის ფარდობა პროფილის ზომებთან, მით მეტი ხარისხით გამოვლინდება აღნიშნული ნაკლოვანებანი.

გლინებში ღრმა ჩაჭრა გვაიძულებს აგრეთვე გავადიდოთ შეერილების ზომები, რაც ამცირებს გლინების კასრზე მოთავსებულ კალიბრების რიცხვს.

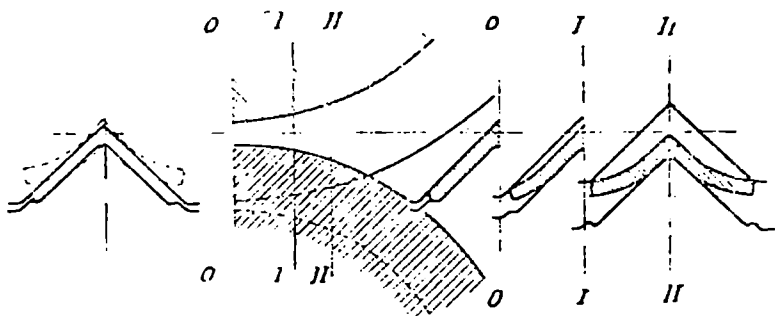
აღნიშნული მიზეზების გამო კუთხოვანი ფოლადის გლინვას პირდაპირითა თაროებით დახურულ კალიბრებში იშვიათად იყენებენ.

კუთხოვანი ფოლადის გლინვისას გაშლილითაროებით დახურულ კალიბრებში, წინა მეთოდის უარყოფითი მხარეები შემცირებულია ან ზოგიერთ შემთხვევაში სავსებით აღმოფხვრილია (ნახ. 268, გ). დასაშვებ ფარგლებში დეფორმაციის კოეფიციენტების გადიდება გლინვის უფრო ენერჯიული წარმოების საშუალებას იძლევა, რაც აუნჯობებს დგანის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს. ამ მეთოდით კუთხოვანი ფოლადის დაკალიბრების დროს გაადვილებულია თაროების სიგანის ზუსტად დაცვა. მეორე მხრივ, დამკალიბრებელი, ფხების წარმოშობის აცილების მიზნით, შეიძლება

მეორე უკიდურესობაში ჩავარდეს, დაამზადოს ძალიან განიერი კალიბრები, რის გამოც თაროები არ შეივსება.

ამ მდგომარეობიდან გამოსასვლელად საჭიროა გაფართოების საკმაო სიზუსტით გამოთვლა და შემდეგ გლინვის წარმოება თავისუფალი გაფართოების მცირე შეფერხებით.

დახარჯული ენერჯისა და გლინების სამსახურის ვადის მიხედვით საუკეთესო დაკალიბრებად შეიძლება ჩაითვალოს ისეთი, რომ-



ნახ. 269. ზოლის თანმიმდევრობითი შესვლა, გაღუნვა და მოკიშვა სუფთა კალიბრებში კუთხოვანი ფოლადის გლინვისას.

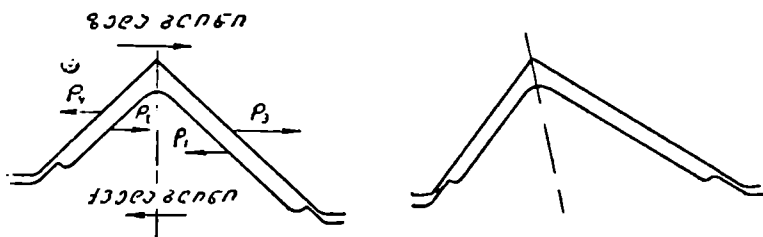
ლის დროსაც შეფერხების ხარისხი უდრის ნულს, ე. ი. თავისუფალი გაფართოებით დაკალიბრება. მიუხედავად ამისა გლინვის პრაქტიკაში ზოლის გვერდითი ზედაპირების კარგი ფორმირებისა და ზუსტი სიგანის მისაღებად, გლინვას აწარმოებენ თავისუფალი გაფართოების განსაზღვრული ოპტიმალური შეფერხებით.

სუფთა კალიბრი. სუფთა კალიბრის განმასხვავებელ თავისებურებას შეადგენს ის, რომ მასში პროფილის მოკიშვასთან ერთად ადგილი აქვს თაროების გასწორებას (ნახ. 269), რომელიც მუშაობის დროს ჩვეულებრივად არ იწვევს რაიმე დამატებით გართულებებს, თუ კალიბრის შექრის სიგანე ზედა გლინში მეტია კალიბრში შემავალი პროფილის სიგანეზე.

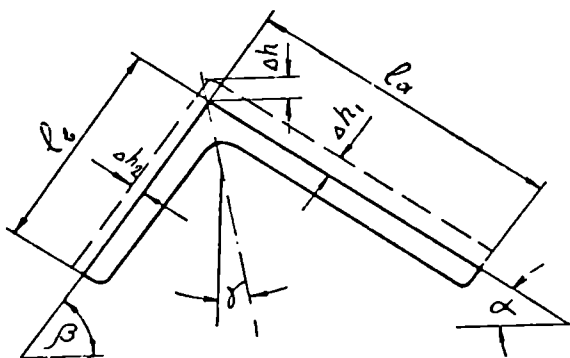
გაფართოების სიდიდე სუფთა კალიბრში ძალიან უმნიშვნელოა და მის მერყეობას არ შეუძლია გამოიყვანოს სუფთა პროფილი დაშვებების ფარგლებიდან, ამიტომ სუფთა კალიბრში შესაძლებელია სრული თავისუფალი გაფართოებით გლინვა.

უთანბრო გვერდებიანი კუთხოვანების დაკალიბრებისას კალიბრების განლაგების ორ წესს არჩევენ. პირველის მიხედვით მართი კუთხის ბისექტრისა მდებარეობს ვერტიკალურად, ხოლო მეორის

მიხედვით დაბრილ მდგომარეობაში ისეთნაირად, რომ ორთავე თაროების პროექცია ვერტიკალურ ღერძზე ერთმანეთის ტოლია (ნახ. 270). პირველ შემთხვევაში გლინები განიცდიან მნიშვნელოვანი ღერძული ძალების მოქმედებას, რადგან  $P_1$  ძალა, რომელიც წარმოადგენს მარჯვენა თაროს წნევის ტოლქმედს ქვედა გლინზე, მეტია  $P_3$  ძალაზე, ხოლო  $P_3 > P_4$ . აპის გამო ზედა გლინი ცდილობს



ნახ. 270. სუფთა კალიბრის განლაგების ორი წესი უთანაბრო გვერდებიანი კუთხოვანი ფოლადის გლინებისას.



ნახ. 271. გრძელი და მოკლე თაროების სისქის ცვლილება ზედა გლინის გადაადგილებისას.

გადინაცვლოს მარჯვნივ, ხოლო ქვედა მარცხნივ. გლინების ასეთი გადაინაცვლება იძლევა პროფილის კედლების სისქის უთანაბრობას. გარდა ამისა, ასეთი განლაგებისას კალიბრის ჩაქრის სიღრმე დიდია, რის გამოც გლინების წრიული სიჩქარეების სხვაობა პროფილის სხვადასხვა უბნებზე იზრდება, ხოლო გლინების დიამეტრი საგრძნობლად სუსტდება.

მართიკუთხის ბისექტრისის ვერტიკალთან განსაზღვრული კუ-

თხით მდებარეობის შემთხვევაში ზემოთ ჩამოთვლილი უარყოფითი მხარეები ისპობა. მხოლოდ ამ შემთხვევაში გლინებს შორის ღრე-  
ჩოს ცვალებადობა იწვევს მარცხენა და მარჯვენა თაროების სისქის  
არათანაბარ ცვლილებას (ნახ. 271):

$$\Delta h_1 = \Delta h \cos \beta;$$

$$\Delta h_2 = \Delta h \cos \alpha,$$

რასაც პირველი წესით კალიბრების განლაგების დროს არ აქვს  
ადგილი.

აღნიშნულ მოვლენას თანამედროვე სპეციალიზირებულ დგანებზე  
გლინვისას არაერთარი მნიშვნელობა არ აქვს. ამიტომ უთანასწო-  
რო გვერდებიანი კუთხოვანი პროფილების ანგარიშს აწარმოებენ  
კალიბრების განლაგების მეორე მეთოდის მიხედვით.

ანგარიშისათვის აუცილებელი კუთხეების  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  მნიშვნელო-  
ბები მოიძებნება შემდეგი ტოლობიდან:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_b}{l_a}; \quad (266)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha; \quad (267)$$

$$\gamma = \frac{\beta - \alpha}{2}. \quad (268)$$

კალიბრების ანგარიში მიმდინარეობს გლინვის მიმართულების  
საწინააღმდეგოდ. სუფთა კალიბრს აქვს პირდაპირი თაროები, ხო-  
ლო ყველა დანარჩენ კალიბრებს გაშლილი.

კალიბრების ანგარიშისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას  
ზოლოვანი პროფილის დაკალიბრების ანალოგიური მეთოდი.

## § 2. ფასონური პროფილების დაკალიბრება

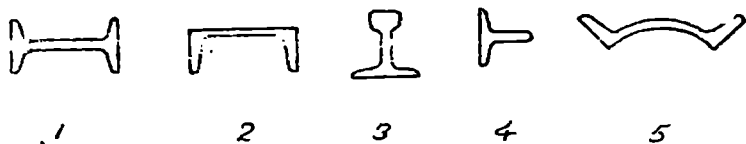
ფასონური პროფილების ცნების ქვეშ იგულისხმება რთული კვე-  
თის მქონე პროფილები. მათი ძირითადი წარმომადგენელია თარო-  
ებიანი პროფილები, როგორცაა: კოჭი (1), შველერი (2), რელსი  
(3), ტესებრი რკინა (4), სასვეტე რკინა (5) და სხვ. (ნახ. 272).

თაროიანი პროფილების ცალკეული ელემენტების ღერძები ურ-  
თიერთ შორის განლაგებული არიან განსაზღვრული კუთხით (უფრო  
ხშირად  $90^\circ$ ).

ზოგჯერ თაროიან პროფილებს აკუთვნებენ ზეტის მაგვარი და  
კუთხოვან ფოლადებს, რომლებსაც გარეგანი შეხედულებით დიდი  
მსგავსება აქვს ზემოთ ჩამოთვლილ პროფილებთან. ვინაიდან დე-

ფორმაციის ხასიათი ძალიან განსხვავდება ერთმანეთისაგან ამიტომ ასეთი გაერთიანება არ არის სწორი.

ფასონური პროფილების გლინვის თავისებურება იმაში მდგონარეობს, რომ მათი მიღება შეუძლებელია მართკუთხოვანი ან კვადრატული ნაშაბადიდან თანაბარი მოჭიმვების გამოყენებით, როგორც ნაგალითად: კვადრატული, ზოლოვანი და სხვა მარტივი პროფილე-



ნახ. 272. თაროებიანი პროფილების სახესხვაობანი.

ბის გლინვის დროს. ამიტომ ფასონური პროფილების დაკალიბრება მარტივ პროფილებთან შედარებით გაცილებით რთულია.

სწორი დაკალიბრებისათვის არათანაბარი დეფორმაცია, რომელიც გარდაუაღია ფასონური პროფილების გლინვის დროს, ხორციელდება არა ყველა კალიბრებში, არამედ პირველ კალიბრებში, როცა ლითონის ტემპერატურა მაღალია, დეფორმაციის წინალობაში მცირე და იგი უფრო პლასტიკურია, ვიდრე შემდგომი გატარებებისას. დანარჩენ კალიბრებში აუცილებელია ყველა ნაწილების თანაბარი მოჭიმვა, ვინაიდან მხოლოდ ამ პირობებშია შესაძლებელი სწორი ფორმის მქონე საბოლოო პროდუქციის მიღება შინაგანი ძაბვების გარეშე. ამასთან ერთად თანაბარი მოჭიმვების გამოყენება ამცირებს როგორც გლინების ცვეთას, ასევე ენერჯის ხარჯს.

საერთოდ ფასონური პროფილების გლინვისათვის დამახასიათებელია ორი ძირითადი თავისებურება:

1. პროფილის ცალკეული ნაწილების არათანაბარი დეფორმაცია ყველა გატარებისათვის;
2. პროფილის გლინვა კალიბრის ცალკეულ ადგილებში სხვადასხვა სიჩქარეებით.

### 1. კოჭის დაკალიბრება

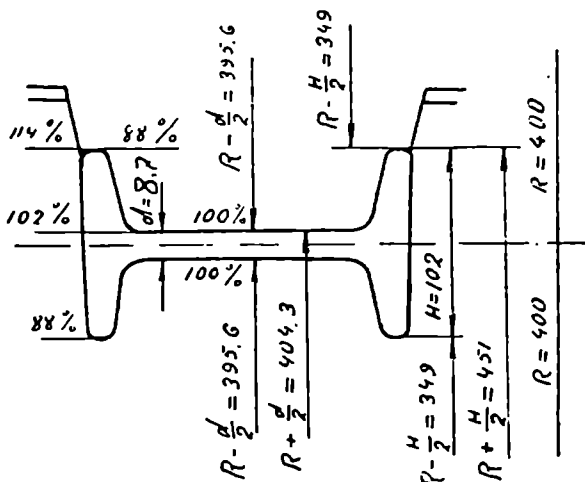
თაროებიანი პროფილების ყველაზე უფრო ტიპური წარმომადგენელია კოჭი, ამიტომ შემდეგში ყველა ძირითადი საკითხები განხილული იქნება ამ პროფილის მიხედვით.

დეფორმაციის პირობების თვალსაზრისით ძალიან მნიშვნელოვანია ფასონური პროფილების გლინვის მეორე თავისებურება— პროფილის ცალკეული ნაწილების გლინვა სხვადასხვა სიჩქარით.



რაც გამოწვეულია კალიბრში ცვალეზადი საგლინავი დიამეტრების არსებობით.

ეს საქმად რთული მოვლენა პირველად განიხილა ცხოზილმა მეტალურგმა ვ. ე. გრუმ-გრევიმაილმ კოქი № 24 გლინვის პირო-



ნახ. 273. კოქის სხვადასხვა ნაწილების დამამუშავებელი საგლინავი რადიუსების სიდიდე გრუმ-გრევიმაილმ სქემის მიხედვით.

ებში დგანზე „800“. აღნიშნული მოვლენის არსი შემდეგში მდგომარეობს.

გლინების წრიული სიჩქარე ყელზე ( $v_p$ ) ეთანადება რადიუსს (ნახ. 273).

$$R - \frac{d}{2} = 400 - \frac{8,7}{2} = 395,6 \text{ მმ},$$

სადაც  $R$  არის გლინების საწყისი წრის რადიუსი;  
 $d$ —ყელის სისქე.

თუ გლინების წრიულ სიჩქარეს ყელზე ( $v_p$ ) მივიღებთ როგორც 100%, მაშინ პროფილის სხვა ნაწილების საგლინავი ზედაპირები-სათვის შემდეგ სიჩქარეებს მივიღებთ.

ქვედა გლინის სიჩქარე კალიბრის სიღრმეში რადიუსით

$$R - \frac{H}{2} = 400 - \frac{102}{2} = 349 \text{ მმ},$$

შეადგენს ყელის სიჩქარის— $v_p$

23. გლინის წარმოების საფუძვლები

$$\frac{349}{395,6} \cdot 100 = 88\%$$

სადაც  $H$ —პროფილის სიმაღლეა.

ზედა გლინის სიჩქარე კალიბრის ღია ნაწილის თაროს ბოლოში აგრეთვე უდრის  $v_v$  სიჩქარის  $88\%$ .

ქვედა გლინის სიჩქარე ღია თაროს ფსკერის გასწვრივ რადიუსით

$$R + \frac{d}{2} = 400 + \frac{8,7}{2} = 404,3 \text{ მმ}$$

შეადგენს ყელის სიჩქარის— $v_v$

$$\frac{404,3}{395,6} \cdot 100 = 102\%$$

ქვედა გლინის სიჩქარე კალიბრის ღია ნაწილის თაროს ბოლოში რადიუსით

$$R + \frac{H}{2} = 400 + \frac{102}{2} = 451 \text{ მმ},$$

შეადგენს ყელის სიჩქარის— $v_v$

$$\frac{451}{395,6} \cdot 100 = 114\%$$

ფაქტიური სიჩქარე პროფილის ყველა ნაწილებისა ერთნაირია და მიღებულია როგორც  $100\%$ , მაშინ ცხადია, რომ ქვედა (დახურული) თარო გლინის დროს წინ უსწრებს თავის კალიბრს, რომლის დამამუშავებელ ზედაპირებს აქვთ სიჩქარეები  $88-100\%$   $v_v$ . ყელის მოქმედების გავლენით ადგილი აქვს ქვედა თაროს ადიდვას სიჩქარით  $0-12\%$   $v_v$ .

დეფორმაციის ასეთი პირობები ხელს უწყობს ნაწილაკების გადაადგილებას პროფილის მეტად დეფორმირებული ფენებისაკენ, რის შედეგადაც ადგილი აქვს ლითონის დასმას—მოცემულ შემთხვევაში კი თაროს სიმაღლის შემცირებას კალიბრის დახურულ ნაწილში.

სავესებით სხვანაირად მიმდინარეობს პროცესი კალიბრის ღია ნაწილში. აქ გასაგლინავი თარო შედის ბრტყელ და კონუსურ ზედაპირებს შორის, რომელთაგან პირველი მოძრაობს სიჩქარით  $102-114\%$   $v_v$ , ხოლო მეორე  $100-88\%$   $v_v$ . ასეთ პირობებში ადგილი აქვს ლითონის დაწნევას ორ შემხვედრ ზედაპირს შორის.

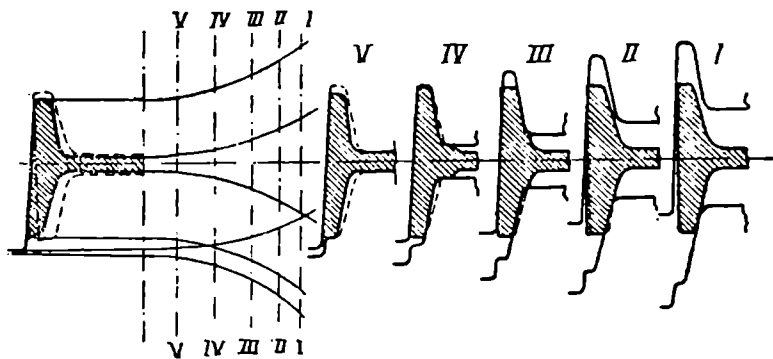
ამრიგად, დახურულ თაროებში ადგილი აქვს ლითონის ადიდვას. მათში გვერდითი მოქიშვის გამოყენება ხელს შეუწყობდა კა-

ლიბრის ძლიერ ცვეთას და თაროების სიმაღლეზე დასმის გადიდებას. ღია თაროებში, პირიქით, ადგილი აქვს გვერდით მოკიშვას, რაც იძლევა თაროების სისქის შემცირებისა და სიმაღლის გადიდების საშუალებას. შემდეგ კალიბრებში ღია და დახურული თაროების მდებარეობის შენაცვლებით, შესაძლებელი ხდება პროფილის როგორც ზედა, ასევე ქვედა ნაწილების დამუშავება სისქეზე.

პროფილის ცალკეულ ნაწილებში სიჩქარეებისა და დეფორმაციების არათანაბარი განაწილების გამო ადგილი აქვს დამატებითი ძაბვების წარმოქმნას. არასწორი დაკალიბრების დროს, როცა არათანაბარ მოკიშვებს ადგილი აქვს ბოლო გატარებებშიც, დეფორმაციით გამოწვეულ ნარჩენ ძაბვებს შეუძლია მოახდინონ კოქის დამსხვრევა ცალკეულ ნაწილებად გლინებიდან გამოსვლის შემდეგ.

კოქის დაკალიბრების რამდენიმე მეთოდი არსებობს, რომლებიც დაწვრილებით განხილულია ბ. პ. ბახტინოვისა და ლ. მ. შტერნოვის შრომაში [4].

ბ. პ. ბახტინოვა ჩამოაყალიბა კალიბრის ცალკეული ნაწილების მუშაობის თანმიმდევრობა ორტესებრი კოქის № 16 გლინის დროს. ამისათვის გლინების ლერძის პარალელური სიბრტყეებით შეტაცების რკალის მთელ სიგრძეზე გატარებულია რამდენიმე კვეთი და მხაზველობითი გეომეტრიის წესების საფუძველზე ყველა ამ კვეთებში



ნახ. 274. საკოქე კალიბრში ზოლის თანმიმდევრობით შესვლა და მოკიშვა.

დადგენილია პროფილის მდებარეობა კალიბრის მიმართ (ნახ. 274). როგორც ნახაზიდან ჩანს, ზოლის კალიბრთან შეხვედრის პირველ მომენტში ერთ-ერთი თაროს გარეგანი წახნაგი კალიბრის დახურულ ნაწილს ეხება წერტილში, რომელიც მდებარეობს კალიბ-

რის ჰორიზონტალური ღერძის ცოტა ზევით. წარმოშობილი ხახუნისა და ინერციის ძალების გავლენით ზედა თაროები ნაწილობრივ იღუნება და ზოლის გადაადგილებასთან ერთად შედიან კალიბრის დახურულ ნაწილში.

თითქმის ერთდროულად კალიბრის ღია ნაწილის შიგა წახნაგებში შეხებაში მოდიან მეორე თაროს შიგა ზედაპირთან, რაც ადიდებს შეტაცების ხახუნის ძალას, რომელიც უკვე ორთავე გლინებიდან მოქმედებს (კვეთი I—I). შემდეგ ღია ნაწილში შესული თარო ხედება გლინებს შორის მოთავსებულ სოლისმავარ ღრეჩოში და გაღუნვასთან ერთად თანდათანობით განიცდის გვერდით მოქიშვას (კვეთი II—II). გლინის კუთხე, რომელიც ჰქმნის კალიბრის ღია ნაწილს, თაროს ყელთან შეერთების ადგილას რამდენადმე შეიქრება ქვედა თაროში და მასთან შეხებაში მყოფ ლითონს გადაადგილებს ყელის მიმართულებით (კვეთი III—III). ამ დროს პროფილის მეორე თარო საკმაოდ ჩასოლილია კალიბრის დახურულ ნაწილში და წინააღმდეგობას უწევს ღია გლინის ძალებს, რომლებიც ცდილობენ გასაგლინავი ზოლის გადაადგილებას დახურული თაროს მხარეზე.

ერთდროულად მიმდინარეობს ყელის რამდენადმე გაქიმვა; რის გამოც ზოლის გარე ზედაპირი მთლიანად მოდის შეხებაში დახურული გლინის ზედაპირთან.

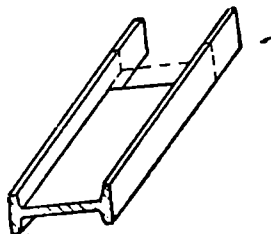
მოქიმვის თანდათანობითი გადიდება კალიბრის ღია ნაწილში აიძულებს პროფილის მოპირდაპირე თაროს, რათა იგი უფრო და უფრო ღრმად შეიქრას კალიბრის დახურულ ნაწილში, რის შემდეგაც იწყება მისი სიმაღლის მოქიმვა პირდაპირი წნევით. 274-ე ნახ-დან ჩანს, რომ მოქიმვა თითქმის იწყება კვეთში (IV—IV) და მთავრდება ზოლის მიერ ღერძულ კვეთში მიღწევის შემდეგ. პროფილის ყელი გლინების მიერ შეიტაცება დაახლოებით კვეთში (V—V) და შედარებით სწრაფად მოიქიმება საკირო ზომამდე.

ამრიგად, ნახაზის განხილვამ გვიჩვენა, რომ თაროების მოქიმვა ყელთან შედარებით გაცილებით უფრო ჩქარა იწყება. შეტაცების რკალის სიგრძის უმეტეს ნაწილზე ღია და დახურულ თაროებზე მოქმედი ძალების ურთიერთ თანათარღობის შესაბამისად ზოლი ღებულობს განსაზღვრულ მდებარეობას. ბუნებრივია, რომ ზოლი კალიბრში ისეთ მდებარეობას მიიღებს, რომლის დროსაც ზედა და ქვედა თაროებზე მოქმედი ძალები ერთმანეთს გააწონასწორებენ. თუ ჩავთვლით, რომ აღნიშნული ძალები პროპორციულია ზედა და ქვედა თაროების დეფორმაციის სიდიდისა, შეიძლება ვთქვათ, რომ პროფილის მდებარეობას კალიბრში განსაზღვრავს ზედა და ქვედა

ნაწილების დეფორმაციის კოეფიციენტების ფარდობა, რომლებიც ავტომატიურად თანაბრდება კალიბრის ნეიტრალური ლერძის მიმართ, თაროების ლერძის გადანაცვლების ხარჯზე.

განვიხილოთ ორტესებრი პროფილის დეფორმაციის ორი შემთხვევა.

თავიდანვე დავუშვათ, რომ მხოლოდ პროფილის თაროები განიცდიან მოკიმვას, ხოლო ყელი არ მოიკიმება. ასეთ პირობებში თაროები, რომლებმაც მოკიმვის შედეგად მიიღეს განსაზღვრული გამოკიმვა, ცდილობენ კალიბრიდან გამოვიდნენ უფრო მეტი სიგრძით ვიდრე ყელი (ნახ. 275). მაგრამ ეს შესაძლებელი იქნებოდა იმ შემთხვევაში, თუ თაროებს შესაძლებლობა ექნებოდათ ყელისაგან სავსებით დამოუკიდებელი გამოკიმვისა. ფაქტიურად კი ლითონის ნაწილაკებს შორის არსებული კავშირის გამო, ზოლის ყველა ნაწილის სიგრძეები, კალიბრიდან გამოსვლის შემდეგ, პრაქტიკულად თითქმის ერთმანეთის ტოლია.



ნახ. 275. კოქის ხვებადასხვა ნაწილების ბუნებრივი სიგრძე თაროების დამოუკიდებელი გამოკიმვის. პირობებში.

ამ შემთხვევაში თაროების გამოკიმვის ხარჯზე ყელი განიცდის გაკიმვას, რის გამოც მისი სიგრძე იზრდება. ყელის გამოკიმვა ამ შემთხვევაში არ შეიძლება ექნოს თაროების „ბუნებრივი“ გამოკიმვის ტოლი, რადგან ყელის წინალობა დეფორმაციისადმი სათანადოდ ამცირებს თაროების გამოკიმვას. საბოლოო ჯამში, პროფილის ცალკეული ნაწილები ღებულობენ ერთ მთლიან საშუალო სიგრძეს (წყვეტილი ხაზი, ნახ. 275).

თაროებზე მოკიმული ლითონი ნაწილობრივ მიდის ყელის გამოკიმვაზე, ნაწილობრივ კი თაროების შეესებაზე. ვინაიდან ყელის სიგრძის წარმოქმნა მიმდინარეობს მისი სისქის შემცირების ხარჯზე იძულებითი გაკიმვის გამო, ამიტომ თაროებიდან ყელში გადასული ლითონის რაოდენობა დამოკიდებულია ყელის წინალობაზე გამკიმავი ძალების მიმართ თაროების მხრიდან. რაც უფრო ადვილად ხორციელდება ყელის გაკიმვა, მით ნაკლებია თაროებიდან ყელში გადასული ლითონის რაოდენობა და პირიქით.

ამრიგად, ზოლის საბოლოო სიგრძე და ყელში გადასული ლითონის რაოდენობა დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია მოკიმვის სიდიდე, პროფილის

ცალკეული ნაწილების ფართების ფარდობა, თაროებისა და ყელის განივკვეთის ფორმა, ლითონის პლასტიკურობა, ყელისა და თაროების ტემპერატურათა სხვაობა, ხახუნის კოეფიციენტი და სხვა.

აღნიშნული ფაქტორების გავლენა დაწვრილებით განხილულია ბ. პ. ბახტინოვის [4], პ. ი. პოლუხინის [14], გ. კ. გედევანიშვილისა და ა. დ. ნოზაძის [27] და სხვ. შრომებში. იმ შემთხვევაში, როცა მოჭიმვას ღებულობს მხოლოდ ყელი, ხოლო თაროები მოჭიმვას არ განიცდიან, ადგილი აქვს ზემოთ განხილულ შემთხვევის პირდაპირ საწინააღმდეგო მოვლენას.

ფასონურ კალიბრში დეფორმაციის პროცესის დეტალური გარჩევა გვიჩვენებს, რომ იმ შემთხვევაშიც კი, როცა ყელისა და თაროების დეფორმაციის კოეფიციენტები ერთმანეთის ტოლია, ადგილი აქვს გასაგლინავი ლითონის ნაწილაკების გადაადგილებას პროფილის ერთი ნაწილიდან მეორეში. ასეთი გადაადგილების მიზეზად უნდა ჩაითვალოს თაროების ნაადრევად შეტაცება ყელთან შედარებით.

თავისთავად ცხადია, რომ ლითონის ასეთი გადაადგილება განაპირობებს გლინებსა და ლითონს შორის დამატებითი ხახუნის ძალების წარმოშობას და მკვეთრად ადიდებს ლითონის შიგნით ნაწილაკებს შორის ხახუნს. ამის გამო იზრდება საერთო დაწოლა გლინებზე და შესაბამისად დეფორმაციაზე დახარჯული ენერჯის რაოდენობა.

კოქის გლინვის ტიპური სქემები. კოქის გლინვა შედგება დეფორმაციის ორი დამახასიათებელი სტადიისაგან:

1. სხმულიდან ან ნამზადიდან საწყისი (შავი) ორტესებრი პროფილის მიღება;

2. შავი პროფილიდან სათანადო ზომის კოქის მიღება.

პირველი სტადია ხასიათდება სწორკუთხოვანი ფორმის ნამზადიდან ორტესებრ კვეთზე მკვეთრი გადასვლით, ხოლო მეორე შავი ორტესებრი პროფილის თანდათანობითი მიახლოებით სუფთასთან. კოქის ზომისა და პროფილის მიხედვით შავი და სუფთა გლინვისათვის იყენებენ სხვადასხვანაირ კალიბრებს. კოქის გლინვის ყველაზე უფრო ტიპური სქემები წარმოდგენილია 276-ე ნახ.ზე.

პირველი სქემა შედგება მხოლოდ დახურული კალიბრებისაგან; პირველი მათგანი გამკვეთი კალიბრია, რომელშიც წარმოებს საწყისი დეფორმაცია. ამ კალიბრში ხდება მართკუთხოვანი ნამზადის „გაკვეთა“ და იგი ღებულობს საწყის ორტესებურ კვეთს. შემდეგ კალიბრებში წარმოებს ჩაქრის თანდათანობით ჩალრმავება, გაფარ-

თოება და თაროების დათხელება. ჩვეულებრივად ამ სქემას იყენებენ კოქების № 10—30 გლინვის დროს.

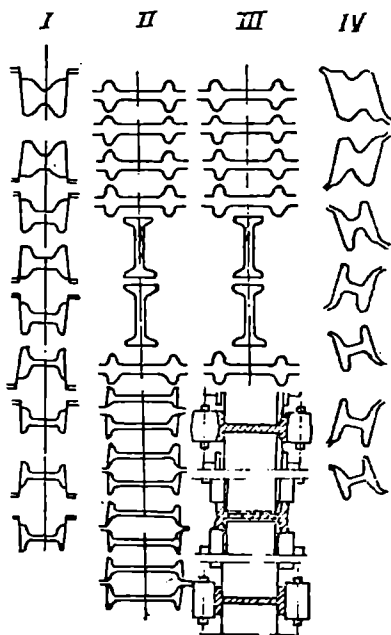
საშუალო და დიდი ზომის კოქების № 30—60 საგლინავად იყენებენ II სქემას, სადაც ნამზადის პროფილირება წარმოებს ლია კალიბრებში, რომლებიც ამოჩარხულია ბლუმინგისა და მომჭიმავე დუო-რევერსიული დგანების გლინებზე. ყოველ ასეთ კალიბრში გლინებს ზორის დაცილების ხარჯზე ხორციელდება რამდენიმე გატარება. რამდენიმე გატარების შემდეგ ზოლის გვერდით წახნაგებზე წარმოიშვება ფხები, რომელთა მოცილება წარმოებს ზოლის 90° შემობრუნებით. შემდეგ გლინვა წარმოებს დახურულ კალიბრებში.

მესამე სქემის მიხედვით იგლინება განიერთაროიანი კოქები, მათ რიცხვში პარალელური თაროებით. დეფორმაციის პირველი სტადიის განხორციელებისათვის იყენებენ ისეთივე კალიბრებსა და გლინვის რეჟიმს, როგორც II სქემის შემთხვევაში.

განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ შავი ორტესებრი პროფილის გლინვა წარმოებს უნივერსალურ ოთხგლინიან კალიბრებში.

გარკვეული გავრცელება აქვს IV სქემას, სადაც იყენებენ ჰორიზონტალურ მიმართულებასთან დახრილ დახურულ კალიბრებს („ირიბი კალიბრები“). კალიბრების ასეთი განლაგება გლინებზე იძლევა პარალელური თაროების მქონე კოქების გლინვის საშუალებას. ამასთან ირიბი კალიბრები იძლევა დიდი მოჭიმვებითა და მცირე გატარებათა რიცხვით გლინვის საშუალებას.

სქემების განხილვიდან ჩანს, რომ კოქების გლინვისათვის გამოიყენება სამი ძირითადი ფორმის კალიბრი, დახურული, ღია და უნივერსალური.



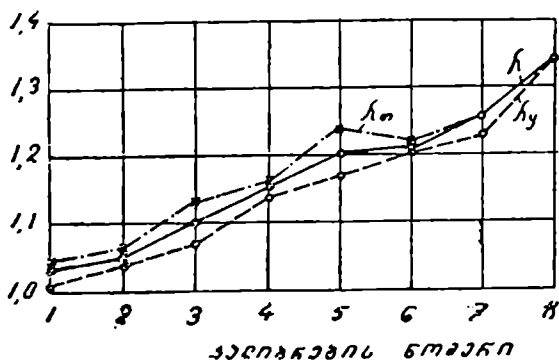
ნახ. 276. კოქის გლინვის ტიპური სქემები.

მოქიშვების განაწილება ორტესებრი პროფილის ელემენტების მიხედვით. ორტესებრი პროფილის ცალკეული ელემენტების მიხედვით მოქიშვების განაწილების კანონზომიერება წარმოადგენს კოქების დაკალიბრების ამა თუ იმ მეთოდის ძირითად მახასიათებელს.

პროფილის ელემენტების მიხედვით მოქიშვების განაწილება ძირითადად დამოკიდებულია გასაგლინავე კოქის ზომებზე და გლინვის სქემაზე.

მსხვილი კოქებისათვის, რომელთა ყელის ფართი მთელი პროფილის ფართის 50% შეადგენს გამოიყენება 277-ე ნახ-ზე ნაჩვენები მოქიშვის რეჟიმი. აქ ყველა გატარებისათვის, რომლებიც დახურულ კალიბრებში წარმოებს, თაროების მოქიშვა უნდა იყოს ტოლი ან მეტი ყელის მოქიშვაზე. მოქიშვის ასეთი რეჟიმის განხორციელებისათვის აუცილებელია სათანადო ზომის შავი ორტესებრი პროფილის მომზადება. ეს ამოცანა, როგორც ცნობილია სრულდება მომქიშვე დგანებზე ღია კოქოვან კალიბრებში. ასეთ კალიბრებში შავი ორტესებრის გლინვა წარმოებს ყელისა და თაროების არათანაბარი მოქიშვით, მაგრამ პირველ გატარებებში თაროების მასიურობა და ლითონის მაღალი პლასტიკურობა საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ აუცილებელი ფორმაცვლილება.

მსხვილი კოქების პროფილის შემდგომი გლინვა გადავიღებულია თაროებისა და ყელის მოქიშვების გათანაბრების გამო. მსხვილ კო-



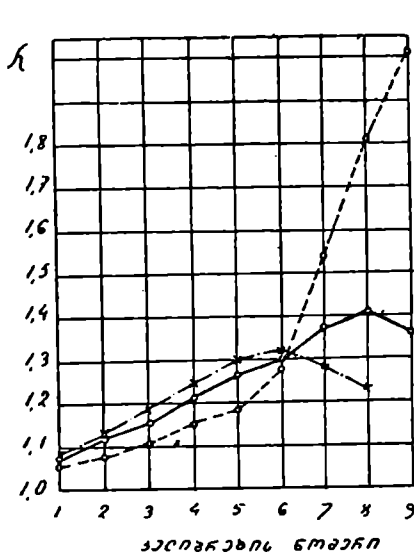
ნახ. 277. მსხვილი კოქების მოქიშვის რეჟიმი.

ქებში პროფილის ყელი ცდილობს წაიტაცოს თაროები, ვინაიდან მისი ფართი მეტია ოთხი თაროს ფართზე. ასეთ შემთხვევაში თუ ყელის მოქიშვა მეტი იქნება თაროების მოქიშვაზე ადგილი ექნება

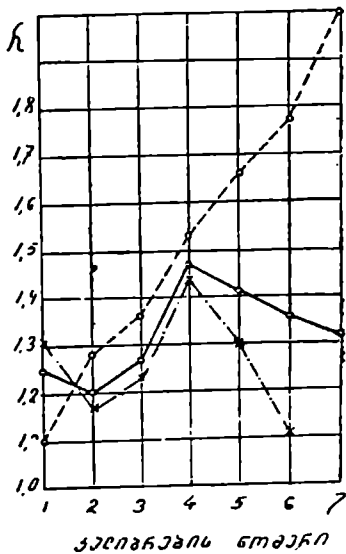


თაროების სიმაღლის შემცირებასა და სათანადოდ პროფილის შეუსებადობას.

საშუალო ზომის კოკებისათვის, რომლებიც თავიდან ბოლომდე დახურულ კალიბრებში ივლინებიან იყენებენ 278-ე ნახ-ზე ნაჩვენებ მოკიშვის რეჟიმს. ამ შემთხვევაში პირველი შავი გატარებების დროს



ნახ. 278. საშუალო ზომის კოკების მოკიშვის რეჟიმი.



ნახ. 279. საშუალო და მცირე ზომის კოკების მოკიშვის რეჟიმი.

ყელი განიცილის გაცილებით მეტ მოკიშვას თაროებთან შედარებით; უკანასკნელ 5—6 გატარებებში ყელი მოიქიმება უფრო სუსტად ვიდრე თაროები.

დაბოლოს, საშუალო და მცირე კოკებისათვის იყენებენ მოკიშვების რეჟიმს, რომელიც ნაჩვენებია 279-ე ნახ-ზე. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში ყელის მოკიშვა მეტია თაროების მოკიშვაზე, როგორც პირველ გამკვეთ კალიბრებში, ასევე შემდგომი შავი გატარებების დროს, და მხოლოდ ბოლო და ბოლოსწინა გატარებებში ყელი თაროებთან შედარებით მცირედ მოიქიმება. მოკიშვის ეს რეჟიმი შეიძლება გამოვიყენოთ მაშინ. როცა ყელის ფართი გაცილებით მცირეა ოთხივე თაროს ფართზე. ამ შემთხვევაში მიუხედავად ყელის

დიდი მოქიშვისა თაროების მოქიშვასთან შედარებით, არ მოხდება თაროების სიმაღლის მნიშვნელოვანი შემცირება.

ყველა ჩამოთვლილ რეჟიმებს აქვთ ერთი საერთო ნიშანი, რაც გამოიხატება იმაში, რომ სუფთა და სუფთასწინა კალიბრებში ყელი თაროებთან შედარებით უფრო სუსტად მოიქიშება.

მოქიშვების განაწილება გატარებათა მიხედვით. მოქიშვების ანგარიში გატარებათა მიხედვით გლინების დაკალიბრების ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას შეადგენს. ლითონის თვისებების შეცვლის გამო გლინვის მიმართულებით და მთელი რიგი სხვა მოსაზრებების საფუძველზე შეუძლებელია ყველა გატარებებისათვის ერთნაირი მოქიშვების გამოყენება. როგორც წესი, მოქიშვა გლინვის მიმართულებით თანდათანობით მცირდება დეფორმაციის წინააღობის გადიდებისა და პლასტიკურობის დაცემის შესაბამისად. ცხლად გლინვის დროს დეფორმაციის წინააღობის გადიდება ძირითადად დაკავშირებულია ზოლის გაციებასთან. გაციების ინტენსიობა ზოლის სისქის შემცირებით მატულობს, და გარდა ამისა დამოკიდებულია დეფორმაციის სიდიდეზე. რაც ნაკლებია დეფორმაციის ხარისხი, მით უფრო ჩქარა მიდის გაციება.

სხვადასხვა ფაქტორების ერთდროულად მოქმედების პირობებში, პლასტიკურობისა და დეფორმაციის წინააღობის ცვალებადობის რთული ხასიათის გამო გატარებათა მიხედვით, მოქიშვების შერჩევის საკითხის მათემატიკური გადაწყვეტა გაძნელებულია.

ამიტომ პრაქტიკაში გატარებათა მიხედვით მოქიშვების შერჩევისას იყენებენ გამარტივებულ მეთოდებს.

ამ მეთოდებიდან ყველაზე მარტივია ჟეზის მეთოდი [28], რომლის მიხედვით მოქიშვის სიდიდე გლინვის მიმართულებით ეცემა და ცვალებადობა მიმდინარეობს ხაზობრივი კანონის მიხედვით.

კირხბერგმა [29] დაუშვა, რომ ლითონის პლასტიკურობა პროპორციულია ზოლის სისქისა და წამოაყენა მოქიშვების გატარებათა მიხედვით ცვლილების პარაბოლური კანონი.

მოყვანილი კანონზომიერებები არ ასახავენ ნამდვილ თანაფარდობას დეფორმაციის წინააღობასა და გასაგლინავი ლითონის ტემპერატურას შორის.

მოქიშვების ანგარიშის ჩამოთვლილ მეთოდებს ის ნაკლი აქვთ, რომ ისინი არ ითვალისწინებენ მთელ რიგ სხვა პირობებს, რის გამოც ზოგჯერ ანგარიშით მიღებული მოქიშვის განხორციელება შეუძლებელი ხდება, მაგალითად, ზოგიერთ შემთხვევაში დეფორმაციის წინააღობის თვალსაზრისით დასაშვები მოქიშვა შეტაცების პირობის მიხედვით განუხორციელებელია.

გარდა დეფორმაციის წინააღმდეგობისა მოქიშვების შერჩევაზე გავლენას ახდენს: ლითონის პლასტიკურობა, შეტაცების კუთხე, გლინებისა და ღვანის დეტალების სიმტკიცე, ამძრავის სიმძლავრე, გლინების ცვეთა და სხვა დანარჩენი ფაქტორები.

ჩვეულებრივად კოქების გლინვისას გამოქიშვის კოეფიციენტი სუფთა კალიბრებში შეადგენს 1,10—1,15, სუფთასწინა კალიბრებში 1,15—1,25 და შავ კალიბრებში 1,30—1,80.

**გ ა ფ ა რ თ ო ე ბ ა.** გაფართოებას მოქიშვების მიხედვით საკოქე კალიბრებში ჩვეულებრივად ფორმულებით არ ანგარიშობენ. პრაქტიკაში მისი სიდიდეს ადგენენ ზოგიერთი ტექნოლოგიური მოსახრებების საფუძველზე. გაფართოებისადმი ასეთი მიდგომა დასაშვებია იმითომ, რომ პრინციპში დახურულ საკოქე კალიბრებში ერთნაირად შესაძლებელია გლინვა, როგორც გაფართოების სრული შეფერხებით, ასევე საკმაო თავისუფალი გაფართოებით.

ჩვეულებრივად გამკვეთ და პირველ შავ საკოქე კალიბრებში, სადაც პროფილის ყელი ლებულობს დიდ აბსოლუტურ მოქიშვას, გაფართოებას მის ბუნებრივ (ან ანგარიშით მიღებულ) სიდიდეზე ნაკლებს იღებენ. ამ შემთხვევაში გაფართოება შეადგენს მოქიშვის სიდიდის 10—30%.

მოსამზადებელ და სუფთა საკოქე კალიბრებში, როგორც წესი, გაფართოებას იღებენ მის ბუნებრივ სიდიდეზე მეტს. მაგალითად, სუფთა კალიბრებში, როცა ყელის აბსოლუტური მოქიშვა 1,0—0,5 მმ-ია, გაფართოება ყელის მოქიშვასთან შედარებით 4—10-ჯერ მეტია. ეს ფარდობა წინა მოსამზადებელ კალიბრებში თანდათანობით კლებულობს.

ჩვეულებრივად კოქების დაკალიბრების დროს გაფართოების სიდიდეს ირჩევენ 1—3 მმ პირველ გატარებებში და 8—10 მმ ბოლო გატარებებში.

პრაქტიკაში საკოქე კალიბრებში გაფართოების განსაზღვრისათვის სარგებლობენ ემპირიული ფორმულით:

$$\Delta B = 0,01 \cdot B_1 + (n - 1), \quad (269)$$

სადაც  $\Delta B$  არის გაფართოება მოცემულ კალიბრში;

$B_1$ —სუფთა კალიბრის სიგანე;

$n$ —კალიბრის რიგითი ნომერი (გლინვის სელის საწინააღმდეგოდ).

**გ ა მ ო კ ი მ ვ ი ს კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი.** არათანაბარ მოქიშვების დროს, მაგალითად, გამკვეთ კალიბრებში, გასაგლინავი ზოლის განივკვეთის ცალკეულ ნაწილებს შესაბამისად სათანადო მოქიშვისას

აქვთ სხვადასხვა წაგრძელების ტენდენცია. მაგრამ ზოლის ხისტი ბოლოების გავლენისა და ლითონის ნაწილაკების ურთიერთ კავშირის გამო მთელ განივკვეთზე მყარდება საერთო გამოკიშვა (საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტი). ამ დროს გამოკიშვების იძულებით გათანაბრებას თან სდევს სუსტად მოკიშული ნაწილების განივკვეთის ზომების შემცირება და ძლიერ მოკიშული ნაწილების იძულებითი გაფართოება. თუ გვეცოდინება მოცემული გატარებისათვის საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტი შეიძლება ვიანგარიშოთ როგორც ზომების შემცირება, ასევე იძულებითი გაფართოების სიდიდე ანდა მათ საფუძველზე კალიბრის ლითონით გავსების ხარისხი.

ტაფელმა [8] მოგვცა საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტის ანგარიშის ყველაზე უფრო მარტივი წესი.

მრავალი ცდების საფუძველზე ზოლების არათანაბარი მოკიშვებით გლინვის დროს მან დაადგინა, რომ ზოლის სიგრძე გატარების შემდეგ წარმოადგენს „ბუნებრივი“ სიგრძეების საშუალო არითმეტიკულს, ხოლო საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტი—ბუნებრივი გამოკიშვების საშუალო არითმეტიკულს.

ამ სიდიდეების ანგარიშისათვის ზოლისა და კალიბრის განივკვეთი უნდა დაიყოს  $n$  ტოლ ნაწილებად სიგანეზე; გაფართოებას ამ დროს მხედველობაში არ იღებენ. ზოლის სიმაღლის შეფარდება კალიბრის სიმაღლესთან თვითეულ კვეთში  $\left(\frac{H}{h}\right)$  წარმოადგენს

ბუნებრივ გამოკიშვას, ხოლო მათი საშუალო არითმეტიკული—საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტს მოცემული გატარებისათვის:

$$\lambda_{საშ} = \frac{\sum \frac{H}{h}}{n}, \quad (270)$$

სადაც  $\lambda_{საშ}$  არის საშუალო გამოკიშვის კოეფიციენტი;

$n$ —ცალკეული კვეთების რიცხვი;

$H$  და  $h$ —ზოლისა და კალიბრის ცალკეული კვეთების სიმაღლე. კალიბრის ლითონით გავსების საკითხის დადგენისათვის ანგარიშობენ ზოლის საშუალო სიმაღლეს გატარების შემდეგ:

$$H_{საშ} = \frac{H}{\lambda_{საშ}}, \quad (271)$$

სადაც  $H$ —ზოლის საწყისი სიმაღლეა.

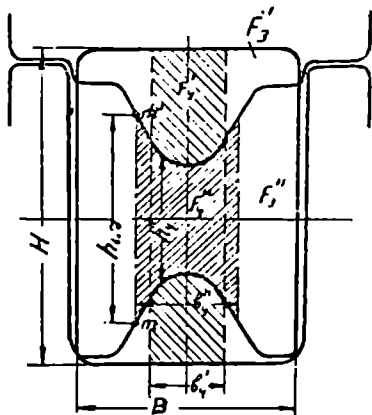
ზოლისა და კალიბრის საშუალო სიმაღლეების შედარება იძლევა კალიბრის ლითონით გავსების სიდიდეს.

თუ  $H_{საშ} = h_{საშ}$ , კალიბრს ექნება სრული გავსება, როცა  $H_{საშ} < h_{საშ}$

ადგილი ექნება კალიბრის გაუესებადობას, ხოლო  $H_{სა} > h_{სა}$  — ზედმეტად გავსებას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ტაფელის მარტივ წესს ახასიათებს ნაკლები სიზუსტე. ლოგინოვა [30] დაამტკიცა, რომ ზოლის საერთო სიგრძე ცალკეული ნაწილების ბუნებრივი სიგრძეების საშუალო არითმეტიკულს უდრის იმ შემთხვევაში, როცა ცალკეული ნაწილების განივკვეთის ფართობი აბსოლუტურად ერთმანეთის ტოლია.

ეკელუნდი [14] საშუალო გამოკიშვის ანგარიშის დროს ითვალისწინებს იძულებით გაფართოებას. ეს მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: გამკვეთი კალიბრის საშუალო სიმაღლე (ნახ. 280)  $h_{სა}$  მის კვეთს ჰყოფა სამ ნაწილად, ანუ „წნევის არედ“. შუა არე (ფართი  $F_3''$ ) განიცდის უფრო დიდ მოკიშვას, ხოლო განაპირა არეები (თითოეული ფართოთ  $F_3'$ ) მცირე მოკიშვას მის საშუალო სიდიდესთან ( $H - h_{სა}$ ) შედარებით. ამის გამო მოკიშვების გათანაბრების დროს შუა არე იძლევა იძულებით გაფართოებას ( $b''_4 - b'_4$ ), რომელიც შეფერხებული გაფართოების პირობებში მიდის თაროების სიმაღლის შემცირების კომპენსაციას და გამოკიშვის ზრდაზე. იძულებით გაფართოებას ეკელუნდი ანგარიშობს ფორმულით:



ნახ. 280. გამკვეთი კალიბრის დაყოფა ზონებად ეკელუნდის მიხედვით

$$b''_4 - b'_4 = \frac{1}{4}(H - h''_4), \quad (272)$$

სადაც

$$h''_4 = \frac{F''_4}{b''_4}.$$

აქედან გამოდინარე ეკელუნდი პოულობს ზოლის სიმაღლეს, რომელიც უზრუნველყოფს კალიბრის ნორმალურ გავსებას.

$$H = 4F''_4 \left( \frac{1}{h''_4} - \frac{B}{F_4} \right) + h'_4, \quad (273)$$

სადაც  $H$  არის ნამზადის სიმაღლე;

$B$ —ნამზადის სიგანე;

$F_2$ —კალიბრის ფართი.

რიგმა მკვლევარებმა, ი. ი. ტარნოვსკი [31], გ. კ. გედევანიშვილი და ა. დ. ნოზაძე [32] და სხვ. ექსპერიმენტულად დაადგინეს კავშირი საშუალო გამოკიშვასა და მასზე მოქმედ ფაქტორებს შორის.

ტარნოვსკი მართკუთხოვანი ნამზადების გამკვეთ კალიბრებში გლინვის დროს შემდეგ ფორმულას იძლევა:

$$\lg \lambda_{საგ} = 1,5 \left( \frac{F_2}{F_1} - 0,1 \right) \lg \lambda_{საანგ}, \quad (274)$$

სადაც  $F_2$  არის ყელის განივკვეთის ფართი გატარების შემდეგ;  $F_1$ —ზოლის განივკვეთის ფართი გატარების შემდეგ;

$\lambda_{საანგ}$ —საანგარიშო გამოკიშვა, რომელიც მიიღება მართკუთხოვანი ზოლების გლუვ კასრებზე გლინვისას, რომელთა სიმაღლე და სიგანე უდრის გასაგლინავი პროფილის ყელის სიმაღლესა და სიგანეს (ამ შემთხვევაში მოკიშვებიც ერთმანეთის ტოლია).

გ. კ. გედევანიშვილი და ა. დ. ნოზაძე მართკუთხოვანი ნამზადების გამკვეთ კალიბრებში გლინვისას (როცა გამკვეთი სოლის დახრის კუთხე იცვლება  $0 \div 60^\circ$ ) საშუალო გამოკიშვის ანგარიშისათვის შემდეგ ფორმულას იძლევიან:

$$\lg \lambda_{საგ} = 0,6 \frac{B_y}{B} \left( \frac{H - h_y}{H} \right)^{1,1} - 0,35 \sqrt{\frac{B_y}{B} \left( \frac{H - h_y}{H} \right)^{1,4}} \quad (275)$$

სადაც  $B_y$  არის გამკვეთი სოლის ყელის სიგანე;

$H$ —ნამზადის სიმაღლე;

$B$ —ნამზადის სიგანე;

$h_y$ —ყელის სიმაღლე გატარების შემდეგ.

საშუალო გამოკიშვის ანგარიშისათვის გარდა აღნიშნულისა არსებობს კიდევ მთელი რიგი სხვა მეთოდები, როგორცაა ლენდლის [14], სოკოლოვის [33], ზარუევის [34] და სხვ.

გატარებათა რიცხვი. კოჭებისა და სხვა პროფილების გატარებათა რიცხვი გლინვის დროს დამოკიდებულია შერჩეული დეფორმაციის კოეფიციენტების სიდიდეზე.

სხვადასხვა დგანების მუშაობის პრაქტიკის საფუძველზე, გატარებათა რიცხვის წინასწარი შერჩევისათვის პროფილის ზომებთან დამოკიდებულებით, შეიძლება ვისარგებლოთ 21-ე ცხრილში მოყვანილი მონაცემებით.

კოჭის დაკალიბრება დაკავშირებული უნდა იყოს წინასწარ შერ-

ჩვეულ გატარებათა რიცხვთან, რომლიდანაც გადახრა არა სასურველია ან ზოგჯერ შეუძლებელიცაა. მაგალითად, კოქის გლინვისას წყვეტილ ან უწყვეტ დგანებზე, გატარებათა საერთო რიცხვი არ უნდა აღემატებოდეს არსებული ვალების რიცხვს, ხოლო ტრიოდგანებზე გლინვისას—კალიბრების რიცხვს, რომლებიც შეიძლება მოთავსდეს გლინების კასრის სიგ-  
ცხრილი 21

ამ შემთხვევაში, შესაძლებელი გატარებათა რიცხვის საანგარიშოსთან დასამთხვევად, ძალზედ მნიშვნელოვანია წინასწარი წარმოდგენა გვექონდეს დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტის სიდიდეზე, რომელიც უდრის ცალკეული დეფორმაციის კოეფიციენტების ნამრავლს:

პროფილის ნომერი	გატარებათა რიცხვი ფასონურ კალიბრებში	გლინების დიამეტრი, მმ
10—12	6—8	350—500
12—18	7—9	400—650
18—27	8—11	500—950
24—60	10—15	600—950

$$k_{\text{საერთო}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n \quad (276)$$

დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტის ცოდნა მნიშვნელოვნად აადვილებს კალიბრების ანგარიშს. მაგალითად, სწრაფად შეიძლება გადაწყდეს საკითხი მისაღები პროფილის მოცემულ დგანზე გაგლინვის შესაძლებლობის შესახებ.

კოქის პროფილის რთული მოხაზულობის გამო დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტის განსაზღვრა მნიშვნელოვან სიძნელეებთანაა დაკავშირებული და არ შეიძლება გამოთვლილი იქნეს შემდეგი მართავი ფორმულით:

$$k_{\text{საერთო}} = \frac{\text{ნამზადის საწყისი სისქე}}{\text{მისაღები პროფილის სისქე}}$$

კოქების კალიბრების ანგარიშის დროს დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტის ზუსტად განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ დაკალიბრების დამთავრების შემდეგ ან კოქების გლინვის არსებული პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე.

პირველადი დაკალიბრების დროს უხეში შეცდომის ასაცილებლად შეიძლება განსაზღვრული იქნას დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტის მიახლოებითი მნიშვნელობა.

(276) ტოლობის მიხედვით.

$$k_{\text{საერთო}} = \lambda_1 \eta_1 \cdot \lambda_2 \eta_2 \cdot \lambda_3 \eta_3 \cdot \dots \cdot \lambda_n \eta_n \quad (277)$$

$$k_{\text{საერთო}} = \lambda_{\text{საერთო}} \cdot \eta_{\text{საერთო}} \quad (278)$$

სადაც  $\lambda_{საერთო}$  არის მოქიშვის საერთო კოეფიციენტი თაროს სისქეზე;

$\eta_{საერთო}$  — დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტი თაროს სინალღეზე.

უცნობი სიდიდეები  $\lambda_{საერთო}$  და  $\eta_{საერთო}$  შეიძლება გამოვსახოთ გამკვეთი კალიბრისა და პროფილის ზომებით:

$$\lambda_{საერთო} = \frac{b_{გაგ}}{b_1} = \frac{B_{გაგ}}{2b_1}$$

სადაც  $b_{გაგ}$  არის თაროს სისქე გამკვეთი კალიბრის ფუძესთან, რომელიც დაახლოებით უღრის გამკვეთი კალიბრის სიგანის ნახევარს  $b_{გაგ} = 0,5 B_{გაგ}$ ;

$b_1$  — თაროს სისქე მზა პროფილის ფუძესთან.

$$\eta_{საერთო} = \frac{H_{გაგ}}{H_1}, \quad (280)$$

სადაც  $H_{გაგ}$  არის თაროს სიმალღე გამკვეთ კალიბრში;

$H_1$  — თაროს სიმალღე მზა პროფილში.

ამრიგად, დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტი კალიბრში

$$k_{საერთო} = \frac{B_{გაგ}}{2b_1} \cdot \frac{H_{გაგ}}{H_1}. \quad (281)$$

(281) ფორმულაში არ შედის დეფორმაციის კოეფიციენტი თვით გამკვეთ კალიბრში, რომელიც გამოითვლება ნამზადის საწყისი ზომების განსაზღვრის შემდეგ.

(281) ფორმულის გამოყენებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ გამკვეთი კალიბრის ზომები ( $B_{გაგ}$  და  $H_{გაგ}$ ), რომლებიც დაკალიბრების საწყის მომენტში უცნობია.

საორიენტაციოდ გამკვეთი კალიბრის სიგანე შეიძლება განვსაზღვროთ მზა პროფილის სიგანის შემცირებით ჯამური გაფართოების სიდიდით:

$$B_{გაგ} = B_1 - \sum_1^n \Delta b, \quad (282)$$

ან (269) განტოლების გამოყენებით

$$B_{გაგ} = B_1 - n \left( 0,01 B_1 + \frac{n-1}{2} \right). \quad (283)$$

ფარდობა  $\frac{H_{გაგ}}{H_1}$  დამოკიდებულია შერჩეულ გატარებათა რიცხვ-



ზე და დგანის გლინების დიამეტრზე, იგი სხვადასხვა ზომის კოქებისათვის იცვლება საზღვრებში 1,6÷1,8.

კოქის დაკალიბრება ბ. პ. ბახტინოვის მეთოდით: ამ მეთოდის გარკვევისათვის განვიხილოთ კოქი № 16-ის გლინა-წყვეტილ დგანზე—500. კალიბრების ანგარიში წარმოებს გლინვის სელის საწინააღმდეგოდ.

კოქი № 16-ის ცივი პროფილის ზომები ნაჩვენებია 281-ე ნახ.ზე. თუ დაჯდომის კოეფიციენტს ავიღებთ 1,013, მაშინ პროფილის ზომები ცხელ მდგომარეობაში იქნება<sup>1</sup>

$$B' = 160 \cdot 1,013 = 162 \text{ მმ};$$

$$H' = 88 \cdot 1,013 = 89,2 \text{ მმ};$$

$$f' = 9,9 \cdot 1,013 = 10,0 \text{ მმ};$$

$$d' = 6,0 \cdot 1,013 = 6,07 \text{ მმ}.$$

განვსაზღვროთ ზოგიერთი დამატებითი ზომები. თაროების სიმაღლე:

$$h'_{\text{ღახ}} = h'_{\text{ღაა}} = \frac{H' - d'}{2} = \frac{89,2 - 6,07}{2} = 41,6 \text{ მმ}.$$

თაროს სიგანე ფუძესთან:

$$b'_{\text{ღაა}} = b'_{\text{ღახ}} = f' + \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 + \frac{41,6}{2} \cdot \frac{1}{6} = 13,47 \approx 13,5 \text{ მმ}.$$

თაროს სიგანე წვეროსთან:

$$a'_{\text{ღაა}} = a'_{\text{ღახ}} = f' - \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 - \frac{41,6}{2} \cdot \frac{1}{6} = 6,66 \approx 6,7 \text{ მმ}.$$

თვითეული თაროს ფართი:

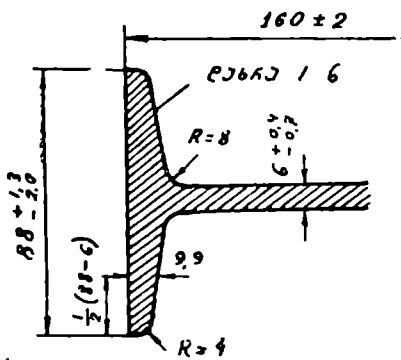
$$F'_{\text{ღაა}} = F'_{\text{ღახ}} = \frac{a' + b'}{2} \cdot h' = \frac{6,7 + 13,5}{2} \cdot 41,6 = 420 \text{ მმ}^2.$$

ყელის ფართი:

$$F'_y = B'd' = 162 \cdot 6,07 = 982 \text{ მმ}^2.$$

პროფილის ფართი მომრგვალების რადიუსების გათვალისწინე-

<sup>1</sup> მოკემულ მაგალითში ასობი შტრიხით აღნიშნავენ საძიებელ ზომებს, ხოლო შტრიხის გარეშე—ცნობილს.



ნახ. 281. კოქი № 16-ის პროფილის ზომები.

ბის გარეშე:

$$F' = F'_v + 4F'_{\text{საგ}} = 982 + 4 \cdot 420 = 2662 \text{ მმ}^2.$$

განესაზღვროთ ნამზადის ოპტიმალური ზომები, რომლიდანაც უნდა გაიგლინოს მოცემული პროფილი. ЦНИИТМАШ-ის ატლასში დგანი 500-თვის გათვალისწინებულია ნამზადები კვეთით  $125 \times 125$ ;  $150 \times 150$ ;  $170 \times 170$  და  $200 \times 200$  მმ. ნამზადის სიგრძე 4,5 მ. ცხადია, დგანის მაქსიმალური წარმადობა მიღწეული იქნება ნამზადის გლინვისას, რომელიც უზრუნველყოფს დგანის მაცივარის მიერ მაქსიმალურად დასაშვებ მზა პროფილის სიგრძეს. დგან 500-ის მაცივარის სიგრძე უდრის 60 მ.

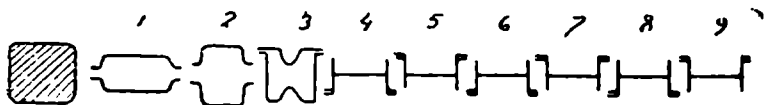
მზა პროფილის სიგრძე გამოითვლება განტოლებით:

$$l_n = \frac{F_0}{F_n} L.$$

ჩვენს შემთხვევაში დასაშვებ მაქსიმალურ სიგრძეს მივიღებთ, თუ შევარჩევთ ნამზადს კვეთით  $170 \times 170$  მმ, ვინაიდან

$$l_n = \frac{170^2}{2662} \cdot 4,5 \approx 49 \text{ მ.}$$

დგან 500-ს აქვს 9 გალი. მათ შორის ორი გალი გამოყენებული უნდა იქნას ზოლის ისეთი ზომების მისაღებად, რომლებიც



ნახ. 282. კოპი № 16-ის დაკალიბრების წინასწარი სქემა (პირველი ვარიანტი).

აუცილებელია პირველ გამკვეთ კალიბრში მიწოდებისათვის (ნახ. 282).

ვინაიდან გამკვეთი კალიბრი მოთავსებულია მესამე გალში დეტორმაციის საერთო კოეფიციენტს 'ვსაზღვრავთ დანარჩენი 6 გალისათვის.

თავიდან დავადგინოთ გამკვეთი კალიბრის სიგანე ( $B_{300}$ ) ჯამური გაფართოება ექვს უკანასკნელ გალებში შეადგენს:

$$\sum_4^9 \Delta b = n \left( 0,01 B_1 + \frac{n-1}{2} \right) = 6 \left( 0,01 \cdot 160 + \frac{6-1}{2} \right) = 25 \text{ მმ,}$$

შაშინ

$$B_{3,9} = 162 - 25 = 137 \text{ შმ.}$$

დეფორმაციის საერთო კოეფიციენტს ვპოულობთ (281) განტოლებიდან, როცა  $\frac{H_{3,9}}{H_1} = 1,7$ .

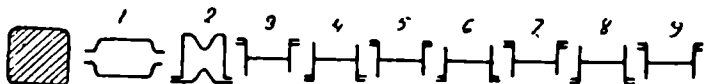
$$k_{\text{საერთო}} = \frac{B_{3,9}}{2b_1} \cdot \frac{H_{3,9}}{H_1} = \frac{137}{2 \cdot 13,5} \cdot 1,7 \approx 8,7.$$

დეფორმაციის კერძო კოეფიციენტები უკანასკნელ 6 გალში ისეთნაირად უნდა შევიჩინოთ, რომ მათი ნამრავლი გვაძლევდეს  $k_{\text{საერთო}}$ -ს:

$$k_3 = 1,1; \quad k_6 = 1,35; \quad k_7 = 1,45; \quad k_8 = 1,55;$$

$$k_5 = 1,6; \quad k_4 = 1,65.$$

მიღებული დეფორმაციის კოეფიციენტები მეექვსე, მეშვიდე და მერვე გალებში საკმაოდ დიდია, რაც მოწმობს ანგარიშის დროს მიღებულ გატარებათა რიცხვის სიმცირეზე.  $k_8$  და  $k_4$ -ის გადიდება



ნახ. 283. კოქი № 16-ის დაკალიბრების წინასწარი სქემა (მეორე ვარიანტი).

და შესაბამისად  $k_6$ ,  $k_7$  და  $k_8$ -ს შემცირება შეუძლებელია, ვინაიდან ადგილი ექნება კალიბრების სწრაფ ცვეთას, გლინების გატეხის საშიშროებას სუფთა გალში და შეტაცების პირობის გაუარესებას მეოთხე გალში.

მდგომარეობიდან გამოსასვლელად ყველაზე უფრო ხელსაყრელი იქნება პროფილირებული კალიბრების რიცხვის გადიდება, მაგალითად, რვამდე (ნახ. 283).

თუ მივიღებთ მეორე ვარიანტს, როგორც საბოლოოს (ნახ. 283), შაშინ მივიღებთ:

$$\sum_3^9 \Delta b = n \left( 0,01 B_1 + \frac{n-1}{2} \right) = 7 \left( 0,01 \cdot 160 + \frac{7-1}{2} \right) \approx 32 \text{ შმ;}$$

$$B_{3,9} = B_9 - \sum \Delta b = 162 - 32 = 130 \text{ შმ;}$$

$$k_{\text{საერთო}} = \frac{B_{3,9}}{2b_1} \cdot \frac{H_{3,9}}{H_1} = \frac{130}{2 \cdot 13,5} \cdot 1,65 \approx 8.$$

დეფორმაციის კერძო კოეფიციენტებს შემდეგნაირად ვანაწილებთ:

$$k_9 = 1,1; \quad k_{10} = 1,18; \quad k_{11} = 1,25; \quad k_{12} = 1,33;$$

$$k_{13} = 1,4; \quad k_{14} = 1,6; \quad k_{15} = 1,65.$$

მეცხრე გალი. პროფილის ზომები მეცხრე გალში უდრის ცხელი პროფილის ზომებს.

მერვე გალი. კალიბრის ქანგარიში მერვე გატარებისათვის წარმოებს მეცხრე გატარებაში მიღებული მოჭიმვის კოეფიციენტის მიხედვით:

$$k = 1,1,$$

მაშინ ყელის სისქე მერვე კალიბრში შეადგენს:

$$d' = d \cdot k = 6,07 \cdot 1,1 = 6,68 \text{ მმ.}$$

თაროების სიმაღლის კლებადობისა და მატების განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ გლინების მუშა დიამეტრები. ვინაიდან გლინების დიამეტრის შემცირებით თაროს სიმაღლის კლება მატულობს, ამიტომ ანგარიშს ატარებენ გაცვეთილ (გადაჩარხულ) გლინებზე. გადაჩარხული გლინების მინიმალურად დასაშვები დიამეტრი შეადგენს  $(0,9 \div 0,92) D_0$ , მაშინ:

$$D = 0,92 D_0 = 0,92 \cdot 530 = 486 \text{ მმ};$$

$$D_y = D - d = 486 - 6,07 \approx 480 \text{ მმ.}$$

ღია თაროს საძიებელი სიმაღლე მერვე გატარებისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$h'_{\text{ღია}} = \frac{D_y h_{\text{ღახ}}}{D_y - h_{\text{ღახ}}} = \frac{480 \cdot 41,6}{480 - 41,6} = 45,6 \text{ მმ.}$$

ღია თაროს მოჭიმვის კოეფიციენტი სისქეზე მერვე კალიბრიდან მეცხრე კალიბრის დახურულ თაროში უდრის:

$$\eta_{\text{ღახ}} = \frac{h'_{\text{ღია}} + \frac{d'}{2}}{h_{\text{ღახ}} + \frac{d}{2}} = \frac{45,6 + \frac{6,68}{2}}{41,6 + \frac{6,07}{2}} = 1,1.$$

თაროს მოჭიმვის კოეფიციენტი სისქეზე მერვე კალიბრიდან მეცხრე კალიბრის დახურულ თაროში უდრის:

$$\lambda_{\text{ღახ}} = \frac{k}{\eta_{\text{ღახ}}} = \frac{1,1}{1,1} = 1,0.$$

დახურული თაროს საძიებელი სიმაღლე მერვე გატარებისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$h'_{\text{ღახ}} = \frac{D_{\#} \cdot h_{\text{ღია}}}{D_{\#} + d} = \frac{480 \cdot 41,6}{480 + 6,07} = 41,1 \text{ მმ.}$$

დახურული თაროს მოკიშვის კოეფიციენტი სიმაღლეზე მერვე კალიბრიდან მეცხრე კალიბრის ღია თაროში უდრის:

$$\eta_{\text{ღია}} = \frac{h'_{\text{ღახ}} + \frac{d_1}{2}}{h'_{\text{ღია}} + \frac{d}{2}} = \frac{41,1 + \frac{6,68}{2}}{41,6 + \frac{6,07}{2}} = 0,998 \approx 1,0.$$

თაროს მოკიშვის კოეფიციენტი სისქეზე მეცხრე კალიბრის დახურულ თაროში:

$$\lambda_{\text{ღია}} = \frac{k}{\eta_{\text{ღია}}} = \frac{1,1}{1,0} = 1,1.$$

მიღებული მოკიშვის კოეფიციენტების მიხედვით ვიპოვოთ თაროების სისქე.

ღ ი ა თ ა რ ო. თაროს სისქე საძიებელი კალიბრის ფუძესთან:

$$b'_{\text{ღია}} = b_{\text{ღახ}} \cdot \lambda_{\text{ღახ}} = 13,5 \cdot 1,0 = 13,5 \text{ მმ.}$$

თაროს სისქე საძიებელი კალიბრის ბოლოში:

$$\begin{aligned} a'_{\text{ღია}} &= \frac{1}{2} \left[ \lambda_{\text{ღია}} (b_{\text{ღია}} + a_{\text{ღია}}) \frac{h'_{\text{ღახ}}}{h'_{\text{ღია}}} - \lambda_{\text{ღახ}} (b_{\text{ღახ}} - a_{\text{ღახ}}) \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[ 1,1 (13,5 + 6,7) \frac{41,1}{45,6} - 1,0 (13,5 - 6,7) \right] = 6,6 \text{ მმ.} \end{aligned}$$

ზახტინოვის მეთოდის მიხედვით მიღებული სიდიდე ( $a'_{\text{ღია}} = 6,6$  მმ) ნაკლები უნდა იყოს ვიდრე  $a_{\text{ღახ}} \cdot \lambda_{\text{ღახ}} = 6,7 \cdot 1,0 = 6,7$  მმ. საძიებელი ღია თაროს ფართი:

$$F'_{\text{ღია}} = \frac{b'_{\text{ღია}} + a'_{\text{ღია}}}{2} \cdot h'_{\text{ღია}} = \frac{13,5 + 6,6}{2} \cdot 45,6 = 459 \text{ მმ}^2.$$

და ხ უ რ უ ლ ი თ ა რ ო. თაროს სისქე საძიებელი კალიბრის ფუძესთან:

$$b'_{\text{ღახ}} = b_{\text{ღია}} \cdot \lambda_{\text{ღია}} = 13,5 \cdot 1,1 = 14,8 \text{ მმ.}$$

თაროს სისქე საძიებელი კალიბრის ბოლოში:

$$a'_{\text{ღახ}} = \frac{1}{2} \left[ \lambda_{\text{ღახ}} (b_{\text{ღახ}} + a_{\text{ღახ}}) \frac{h'_{\text{ღია}}}{h'_{\text{ღახ}}} - \lambda_{\text{ღია}} (b_{\text{ღია}} - a_{\text{ღია}}) \right] =$$

გაზის №	მოქიშვის კოეფიციენტი, $k$	კალიბრის ფართობი, $F_k$ , მმ <sup>2</sup>	ლითარობები						
			მდებარეობა	ჩლია	ბლია	ალია	შლია	ღლია	Fლია
9	1,1	2662	ზედა	41,6	13,5	6,7	1,0	0,1	420
8	1,18	2900	ქვედა	45,6	13,5	6,6	1,0	1,18	459
7	1,25	3390	ზედა	44,8	15,8	7,94	1,0	1,25	533
6	1,33	4160	ქვედა	49,7	17,7	8,63	1,01	1,32	653
5	1,40	5390	ზედა	46,5	23,2	11,7	1,02	1,37	847
4	1,50	7260	ქვედა	54,0	28,6	13,5	1,05	1,43	1138
3	1,60	10200	ზედა	51,6	41,3	20,6	1,09	1,47	1590
2	—	14640	ქვედა	57,8	54,0	25,0	—	—	2280

$$= \frac{1}{2} \left[ 1,0(13,5+6,7) \frac{45,6}{41,1} - 1,1(13,5-6,7) \right] = 7,47 \text{ მმ.}$$

ანგარიშით მიღებული სიდიდე უნდა იყოს მეტი, ვიდრე

$$a_{ლია} \cdot \lambda_{ლია} = 6,7 \cdot 1,1 = 7,36 \text{ მმ.}$$

საძიებელი დახურული თაროს ფართობი:

$$F'_{ღახ} = \frac{b'_{ღახ} + a'_{ღახ}}{2} \cdot h'_{ღახ} = \frac{14,8 + 7,47}{2} \cdot 41,1 = 457 \text{ მმ}^2.$$

ყელი. ყელის სისქე:

$$d' = d \cdot k = 6,07 \cdot 1,1 = 6,68 \text{ მმ.}$$

დაუშვათ გაფართოების სიდიდე კალიბრში:

$$\Delta b = 1,5 \text{ მმ,}$$

მაშინ საძიებელი კალიბრის ყელის სიგანე

$$B' = B - \Delta b = 162 - 1,5 = 160,5 \text{ მმ.}$$

ყელის ფართობი

$$F'_y = B' d' = 160,5 \cdot 6,68 = 1072 \text{ მმ}^2.$$

მთელი კალიბრის ფართობი

$$F' = 2(F'_{ლია} + F'_{ღახ}) + F'_y = 2(459 + 457) + 1072 \approx 2900 \text{ მმ}^2.$$

ბანტინოვის მეთოდი ითვალისწინებს პროფილის ყველა ნაწილების თანაბარ მოჭიმვას, ამიტომ საძიებელი (მერვე) კალიბრის

ჩიშის შედეგები (ღვანი 500)

დახურული თარობი							ყელი		
მდებარეობა	ჩღას	ბღას	აღას	ჟღას	ლღას	წღას	ა	ბ	წ
ქვედა	41,6	13,5	6,7	1,10	1,0	420	6,07	162	982
ზედა	41,1	14,8	7,47	1,10	1,07	457	6,68	160,5	1072
ქვედა	45,0	15,9	7,8	1,12	1,115	533	8,0	158,5	1264
ზედა	44,0	19,7	10,0	1,13	1,175	653	10,0	155,5	1550
ქვედა	48,6	23,4	11,4	1,145	1,22	847	13,3	151,5	2010
ზედა	47,1	31,8	16,5	1,16	1,30	1138	18,6	146	2710
ქვედა	52,2	40,9	20,2	1,21	1,32	1590	27,9	137	3850
ზედა	49,1	60,8	32,2	—	—	2280	44,5	123	5520

ნამდვილი სიგანე გამოითვლება ფორმულით:

$$B' = \frac{B \cdot F'}{k \cdot F} = \frac{162 \cdot 2900}{1,1 \cdot 2662} = 160,5 \text{ მმ.}$$

მიღებული სიგანე ეთანადება დაშვებული გაფართოების სიდიდეს, ამიტომ გაანგარიშებას არ ვაწარმოებთ.

დანარჩენი კალიბრების ანგარიში წარმოებს ანალოგიური მეთოდით. ანგარიშის შედეგები მოცემულია 22-ე ცხრილში.

3. შველერის დაკალიბრება

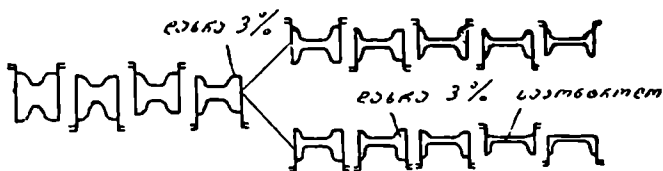
კოქის კალიბრებიდან განსხვავებით, რომელიც ითვალისწინებს საბოლოო პროფილის მიღებას ღია და დახურული თარობის თანმიმდევრობითი შენაცვლებით, შველერის კალიბრებისას რამდენიმე ღია კალიბრი განლაგებულია მიმდევრობით.

შველერის კალიბრებას აწარმოებენ სხვადასხვა წესით. არსებული მეთოდებიდან ყველაზე მეტი გავრცელება ჰქონდა: კოქური, გადიდებული დახრილობისა და ლუნვის მეთოდებით დაკალიბრებამ.

კოქური მეთოდი შველერებისა და კოქების გლინვისათვის ითვალისწინებს საერთო შავი კალიბრების გამოყენებას (ნახ. 284).

გადიდებული დახრილობით შველერის დაკალიბრების სქემა ნაჩვენებია 285-ე ნახ-ზე. როგორც ნახ-დან ჩანს, ყველა კალიბრები, გარდა სუფთა კალიბრისა, გაჩაჩხულია მნიშვნელოვანი დახრით, რაც ამცირებს კალიბრების ცვეთას და გადაჩაჩხვის შემთხვევაში მოსახსნელი ლითონის რაოდენობა გლინის დიამეტრზე მინიმუმამდე დადის. გარდა ამისა, გადიდებული დახრილობა საშუალებას გვაძლევს ყველა შავ კალიბრებში დაუშვათ უფრო ენერგიული მო-

ქიშკები, რაც შეამცირებს გატარებათა რიცხვს გლინვის დროს. ამ მეთოდის უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს მიწოდების გაძნელება სუფთა კალიბრში (ზოლისა და კალიბრის სიგანეების დიდი

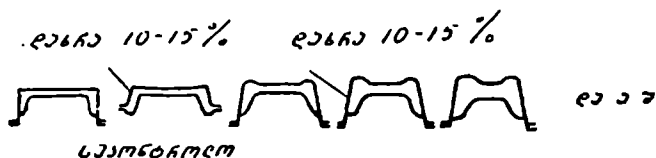


ნახ. 284. შველერებისა და კოჭების გლინვის სქემა საერთო შავი კალიბრებიდან.

სხვაობის გამო) და თვითეული კალიბრის გადიდებული სიგანე დახრილობის ხარჯზე.

ლუნვის მეთოდი წინა მეთოდის შემდგომ განვითარებას წარმოადგენს.

286-ე და 287-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია ლუნვის მეთოდით დაკალიბრების ორი ვარიანტი. თვითეული მათგანი ანალოგიურია კუთხოვანი ფოლადის დაკალიბრებისა და ატარებს სახელწოდებას „კუ-



ნახ. 285. შველერების გლინვა გადიდებული დახრილობის კალიბრებში.

თხოვანას წესი“. ასეთი დაკალიბრებისას შავ კალიბრებში დაიშვება ძალიან მაღალი მოქიშკები. ბოლო გატარებებში, სადაც ლუნვა წარმოებს, მოქიშკები საკმაოდ მცირე უნდა იყოს. მოქიშკების ასეთ განაწილებას ხელს უწყობს გლინების მუშა დიამეტრების თანტოლობა და შავი კალიბრების უმნიშვნელო ჩაჭრა გლინებში, რაც ზრდის გლინების სიმტკიცეს. ამ მეთოდს წინა მეთოდის ანალოგიურად გააჩნია უარყოფითი მხარეები.

ც რ უ თ ა რ ო ე ბ ი. შველერების გლინვისას ცრუ თაროები აუცილებელია, პროფილის კუთხეების კარგი შეესებისათვის და მათი სწრაფი გაციების უგულვებელსაყოფად. გარდა ამისა ცრუ თაროების გარეშე გლინვა წარმოშობს ნარჩენ ძაბვებს მზა პროფილში. მეორე მხრივ ცრუ თაროების არსებობა იწვევს არათანაბარ დე-



ჟორმაციას პროფილში, რომელიც ადიდებს ენერჯის ხარჯსა და გლინების ცვეთას.

აქედან გამომდინარე შევლერის დაკალიბრებისას უნდა ავიღოთ ცრუ თაროების მინიმალურად დასაშვები ზომები.

ცრუ თაროების სიმაღლეს ანგარიშობენ ემპირიული ფორმულით:

$$h_0 = (0,03 \div 0,05) h (n-1), \quad (284)$$

სადაც  $h$  არის ნამდვილი თაროების სიმაღლე;

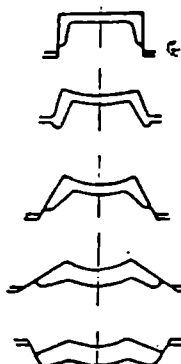
$n$  — კალიბრის რიგითი ნომერი დაკალიბრების სელის მიმართულებით.

ცრუ თაროების სისქე ფუძესთან:

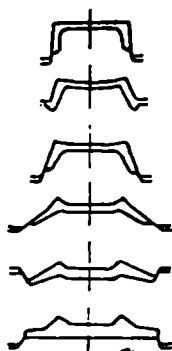
$$b_0 = (1 \div 1,3) b, \quad (285)$$

სადაც  $b$  — ნამდვილი თაროს სისქეა ფუძესთან.

გამკვეთ კალიბრებში ცრუ თაროს სისქე დაახლოებით უდრის ნამდვილი თაროების სისქეს:



ნახ. 286. შევლერის დაკალიბრების მაგალითი. ლუნვის მეთოდით (პირველი წესი).



ნახ. 287. შევლერის დაკალიბრების მაგალითი. ლუნვის მეთოდით (მეორე წესი).

$$b_0 = b.$$

ცრუ თაროების სისქე ბოლოში:

$$a_0 = (0,6 \div 0,65) b_0. \quad (286)$$

შველერის დაკალიბრებისას ცრუ თაროების დაგეგმარება უნდა დავიწყოთ სუფთასწინა კალიბრიდან.

მოყვანილი ფორმულებით სარგებლობა შესაძლებელია შევლერებისათვის სპეციალური კალიბრების არსებობის პირობებში. შევლერებისა და კოქებისათვის საერთო შავი კალიბრების არსებობას ცრუ თაროს სამალღეს ისეთნაირად ირჩევენ, რომ მოცემული გატარებათა რიცხვისათვის ცრუ თაროების ზომები თანდათანობით დაყვანილი უნდა იქნას ნამდვილი თაროების ზომამდე.

შველერის დაკალიბრებისას საძიებელი კალიბრის სიგანე გამოითვლება ფორმულით:

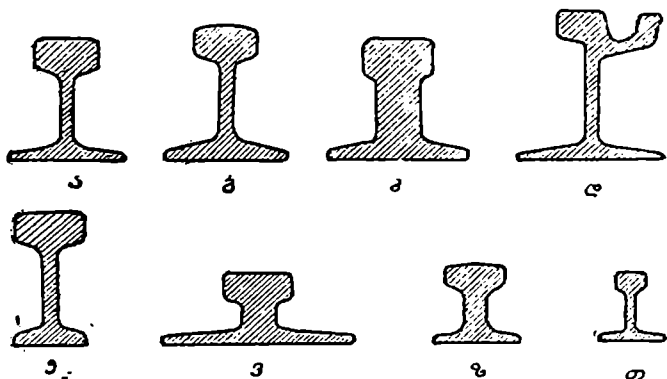
$$B' = B - \Delta b$$

სადაც  $\Delta$  არის გაფართოება, რომელიც გამოითვლება (269) ფორმულით.

თავისი ხასიათის მიხედვით შევლერის პროფილი მსგავსია კოქის პროფილისა. ცრუ თაროების არსებობა მათ მსგავსებას უფრო აძლიერებს. ამიტომ შევლერებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ის მეთოდები, რომლებიც საფუძვლად უდევს კოქის დაკალიბრებას.

### 3. რელსის დაკალიბრება

რელსის ფორმები, რომელსაც ГОСТ-ი ითვალისწინებს ნაჩვენებია 288-ე ნახ.ზე. მათ შორის შეკვეთების რაოდენობის მიხედვით ყველაზე მეტი ხვედრითი წონა აქვს ნორმალურ რკინიგზის რელ-



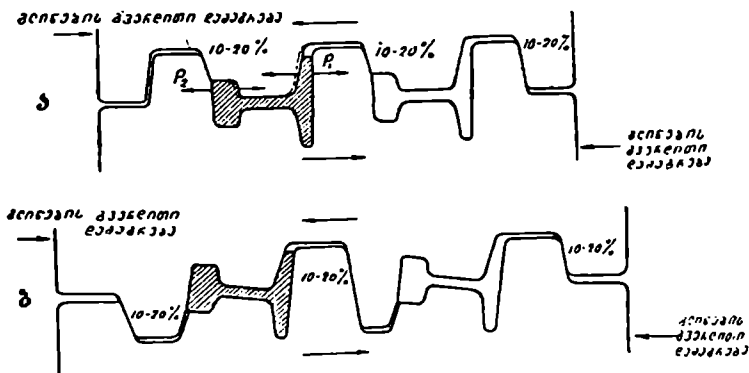
ნახ. 288. რელსის ტიპები: ა, ბ—ნორმალური რკინიგზის რელსები; გ—საისრე რელსები; დ—ტრამვაის რელსები; ე—კონტრაელსები; ვ, ზ—რელსები ამწეებისათვის; თ—ვიწრო ლიანდაგის რელსები.

სებს (ნახ. 288 ა, ბ) და ვიწრო ლიანდაგის რელსებს (ნახ. 288 თ). მახასიათებელ სიდიდეს, როგორც ნორმალური, ასევე ვიწროლიანდაგის რელსებისათვის წარმოადგენს ერთი გრძივი მეტრის წონა.

გაზრდილი მოთხოვნილებანი, რომლებიც წაყენებული აქვს რელსებს და მცირე დაშვებანი მზა პროფილის ზომებზე, იწვევენ განსაზღვრულ სიძნელეებს რელსების გლინვისას. სათანადო ზომების მქონე პროფილის მიღება გართულებულია კიდევ მით, რომ სარელსე კალიბრები არასიმეტრიულია მისი ვერტიკალური ღერძის მიმართ, რის გამოც გლინვის დროს წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი გვერდითი დაწოლა, რაც იწვევს რელსის ძირის სისქის გადიდება-

სა და თავის სისქის შემცირებას კალიბრის ღია თაროში (ნახ. 289, ა). ამ მოვლენის ასაცილებლად გლინებში გათვალისწინებულია ცალმხრივი საყრდენები, რომლებსაც მუშა კონუსებს უწოდებენ. მუშა კონუსების დახრა შეადგენს 10—20%.

მეორე მხრივ, სარელსე პროფილის ასიმეტრიული განლაგება წიბოვანი კალიბრების გამოყენების საშუალებას იძლევა, რაც ხელს



ნახ. 289. ღერძული ძალების წარმოქმნის სქემა და მუშა კონუსების ფორმა კალიბრების პირდაპირი (ა) და დახრილი (ბ) განლაგებისას.

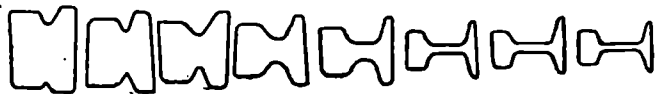
უწყობს მაღალი თაროების სწრაფად დამუშავებას. ამით გადავლევულია თაროიანი პროფილების გლინვის ყველაზე მნიშვნელოვანი იმოკანის გადაწყვეტა—თაროების საჭირო სიმაღლის შენარჩუნება მთელი გლინვის განმავლობაში.

სარელსე პროფილის სპეციალური ფორმა თხოვლობს მნიშვნელოვან არათანაბარ დეფორმაციას პირველ გატარებებში. არათანაბარი დეფორმაციის შედეგად ლითონში გამოწვეული შინაგანი ძაბვები, ადვილად მოისპობა შემდგომ გატარებებში, თუ ისინი განგარისშებული იქნებიან პროფილის ყველა ნაწილებში თანაბარი მოკიშვით. დეფორმაციის თანაბრობას აღწევენ სპეციალური ტრაპეციოდალური ფორმის წიბოვანი კალიბრებში გაგლინვის მეშვეობით.

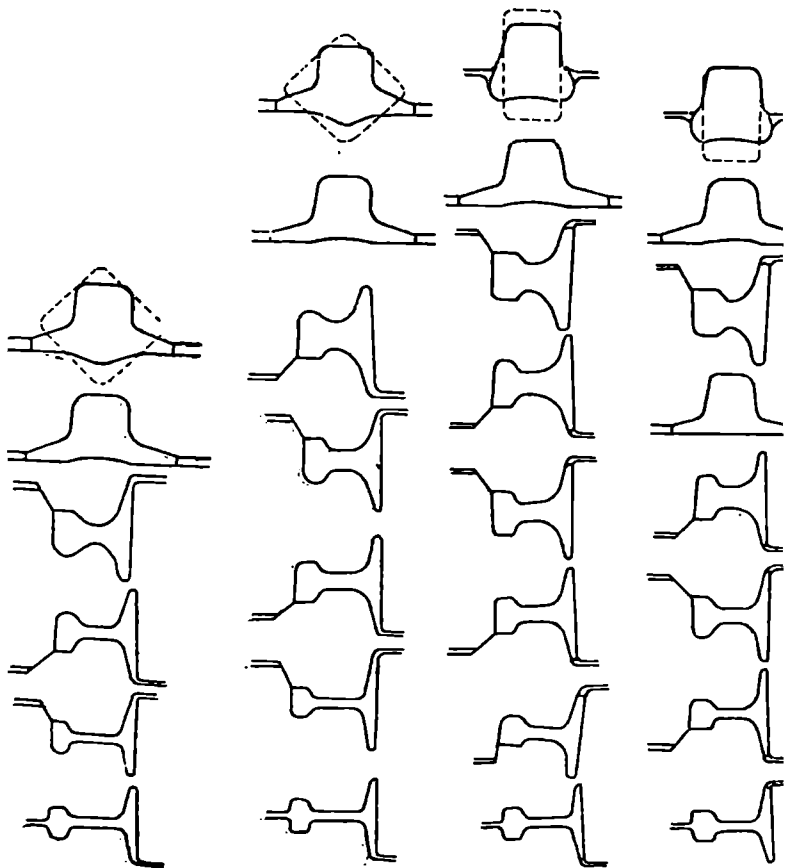
სარელსე პროფილების გლინვა წიბოვანი კალიბრების გარეშე მსგავსია კოკების გლინვისა (ნახ. 290). რელსის ასეთი წესით გლინვა არამდგრადია და ვერ უზრუნველყოფს პროფილის მუდმივი ზომების შენარჩუნებას.

რელსების დაკალიბრების რაციონალურ მეთოდად მიღებულია ისეთი მეთოდი, სადაც გვაქვს ერთი ან რამდენიმე წიბოვანი კალიბრი.

291—298-ე ნახაზებზე წარმოდგენილია რელსების დაკალიბრების ტიპური სქემები.



ნახ. 290. რელსების გლინვის სქემა წიბოვანი კალიბრების გარეშე.



ნახ. 291.

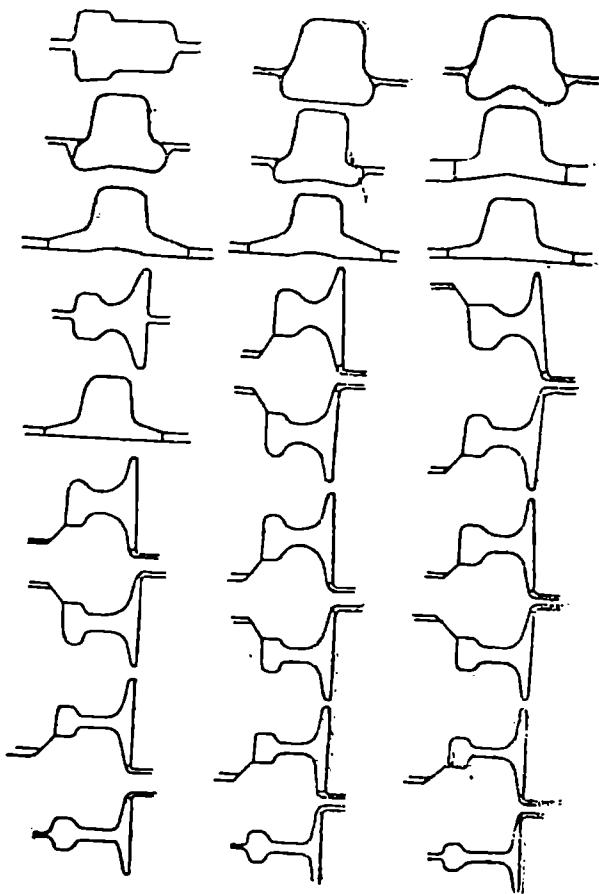
ნახ. 292.

ნახ. 293.

ნახ. 294.

პირველი გატარებების დანიშნულებაა საჭირო სივანის ძირის მიღება და რელსის სიმაღლის რეგულირება.

პროფილის შემდგომი დამუშავება წარმოებს პირდაპირი ან ირიბად განლაგებულ კალიბრებში. რელსების ირიბი დაკალიბრება.



ნახ. 295.

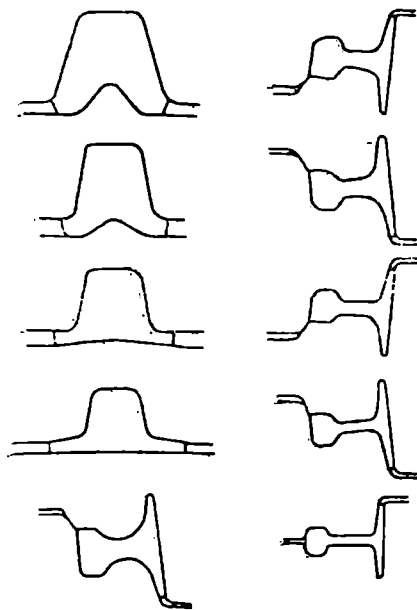
ნახ. 296.

ნახ. 297.

უფრო რაციონალურია, ვინაიდან იგი რელსის ძირის ენერგიულ დამუშავების შედეგად იძლევა ლითონის საჭირო სტრუქტურასა და მაღალ მექანიკურ თვისებებს. გარდა ამისა ირიბი დაკალიბ-

ჩრებისას შესაძლებელია გაცვეთილი კალიბრების ზომების აღდგენა მისი შემდგომი გადაჩარხვით.

წესიერი ფორმისა და ზუსტი ზომებით რელსის მისაღებად გან-



ნახ. 298.

საკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სუფთა კალიბრის სწორად დაგიგმარებას. პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე სუფთა კალიბრის სწორი განლაგების სქემა გლინებში ნაჩვენებია 299-ე ნახ-ზე.

რელსების გლინვისას საწყისი ნამზადის კვეთის ზომები გამოითვლება შემდეგი ტოლობების მიხედვით:

$$H = 1,6 h;$$

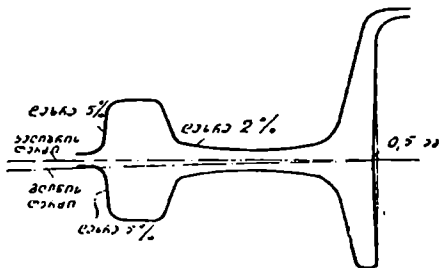
$$B = b - \Delta b.$$

სადაც  $h$  არის ცივი რელსის ქუსლის სიგანე, მმ;

$b$  — სუფთა კალიბრის სიგანე;

$\Delta b$  — ჯამური გაფართოება გლინვის მთელ პროცესში.

ვინაიდან სარელსე და საკოქე კალიბრებს აქვთ გარკვეული მსგავსება, ამიტომ საკოქე კალიბრების დაპროექტებისა და ანგარიშის



ნახ. 299. სუფთა კალიბრის სწორი განლაგება გლინებში.

ყველა ძირითადი პრინციპები სავსებით გამოდგება სარელსე კალიბრებისათვის.

### § 3. ფურცლების დაკალიბრება

გლინვის პირობების მიხედვით ფურცელსაგლინავი დგანის გლინებს აძლევენ ჩაზნექილ ან ამოზნექილ ფორმას. გლინებს ჩაზნექილ პროფილს აძლევენ თხელი ფურცლებისაგან შედგენილი პაკეტის ცხლად გლინვის დროს. ამ შემთხვევაში გლინები გახურების შემდეგ იღებენ ცილინდრულ ფორმას.

ნაწრთობი თუჯის გლინების ჩაქრის სიღრმე კასრის შუაში გამოითვლება ა. ფ. გოლოვინის ფორმულით:

$$\delta = (a\alpha_1 + b\alpha_2 + c\alpha_3)(T_1 - T_2), \quad (287)$$

სადაც  $\delta$  არის ჩაქრის სიღრმე (გლინის შუა და განაპირა მხარის რადიუსების სხვაობა), მმ;

$a$ —ნაწრთობი ფენის სიღრმე, მმ;

$\alpha_1$ —თუჯის ნაწრთობი ფენის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი;

$b$ —გარდამავალი ზონის სიღრმე, რომელიც ჩვეულებრივად უდრის (2—2,5)  $a$ , მმ;

$\alpha_2$ —გარდამავალი ზონის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი, რომელიც უდრის  $\frac{\alpha_1 + \alpha_3}{2} = 16,5 \cdot 10^{-6}$ ;

$\alpha_3$ —რუხი თუჯის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი, რომელიც უდრის  $11 \cdot 10^{-6}$ ;

$c$ —რუხი თუჯის ზონის სიღრმე;

$T_1$ —ტემპერატურა გლინების კასრის შუაში, °C;

$T_2$ —გლინების კასრის განაპირა მხარის ტემპერატურა, °C;

$R$ —გლინების რადიუსი, მმ.

ჩვეულებრივად გლინის ჩაქრის სიდიდეს ადგენენ ცდების მონაცემების საფუძველზე დიამეტრის, გლინის კასრის სიგრძის, მისი ქიმიური შემადგენლობის, სიმაგრისა და გლინვის ინტენსიობის მიხედვით. ჩაქრა კასრის შუა ნაწილიდან განაპირა მხარეებისაკენ წარმოებს ჰიპერბოლური მრუდის მიხედვით. ჩაქრის სიდიდე კასრის სიგრძის შუაში შეადგენს 0,15—0,5 მმ. თხელი ფურცლების პაკეტის გლინვა ცილინდრული კასრის მქონე გაციებულ გლინებზე დამაკმაყოფილებელ შედეგებს არ იძლევა.

სქელ ფურცლებს გლინავენ ცილინდრულ კასრიან გლინებზე გაციებით.

ფურცლების ცხლად გლინვისას სამგლინიანი დგანებზე შუა გლინს ამზადებენ ამოზნექილი კასრით 0,2—0,3 მმ, რომელიც კომ-

პენსირებას უკეთებს, როგორც ზედა (და ქვედა გლინის ჩალუნვას-  
(დრეკადი დეფორმაციის გამო), ასევე მათ ცვეთას. ზედა და ქვედა-  
გლინების გარკვეული სიდიდით გაცვეთის შემდეგ შუა გლინს.  
ცვლიან ახალი გლინით, რომელსაც აქვს სათანადო სიდიდის ამოზ-  
ნეპილობა.

ფურცლების ცივად გლინვისას იყენებენ ამოზნეპილ გლინებს,  
რაც კომპენსირებას უკეთებს გლინების ჩალუნვას.

გლინების ჩალუნვა გამოითვლება ფორმულით:

$$f = f_1 + f_2,$$

სადაც  $f_1$  არის მლუნავი მომენტის მოქმედებით გამოწვეული ჩა-  
ლუნვის ისარი, მმ;

$f_2$ —განივი (გადამკრელი) ძალებით გამოწვეული ჩალუნვის ისა-  
რი.

მლუნავი მომენტების მოქმედებით გამოწვეული ჩალუნვის ისარი  
განისაზღვრება ტოლობიდან:

$$f_1 = \frac{P}{18,8 ED^4} \left\{ 8a^3 - 4ab^2 + b^3 + 64c^3 \left[ \left( \frac{D}{d} \right)^4 - 1 \right] \right\} \text{ სმ, (288)}$$

სადაც  $P$  არის ლითონის წნევა გლინებზე, კგ;

$E$ —გლინის მასალის დრეკადობის მოდული, რომელიც ფო-  
ლადის გლინებისათვის უდრის  $2,2 \cdot 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>, ხოლო  
თუჯის გლინებისათვის  $1,4 \cdot 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>;

$D$ —გლინის კასრის დიამეტრი, სმ;

$a$ —დამწნევი ხრახნების ცენტრებს შორის მანძილი, სმ;

$b$ —გასაგლინავი ფურცლის სიგანე, სმ;

$c$ —მანძილი დამწნევი ხრახნის ღერძიდან კასრის ნაპირამ-  
დე, სმ;

$d$ —გლინის ყელის დიამეტრი, სმ;

განივი ძალების მოქმედებით გამოწვეული ჩალუნვის ისარი გა-  
ნისაზღვრება ტოლობიდან:

$$f_2 = \frac{P}{G \pi D^2} \left\{ a - \frac{b}{2} + 2c \left[ \left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right] \right\} \text{ სმ, (289)}$$

სადაც  $G$  არის გლინის მასალის ძვრის მოდული, რომელიც ფოლა-  
დის გლინებისათვის უდრის  $8,2 \cdot 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>, ხოლო თუ-  
ჯის გლინებისათვის— $4,0 \cdot 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

გლინის სწორი პროფილირებისათვის აუცილებელია გავითვა-  
ლისწინოთ, რომ გლინი ჩალუნვას განიცდის არა მარტო კასრის-



შუაში, არამედ განაპირა მხარეებშიც. ამიტომ ჩვეულებრივად ანგარიშობენ არა გლინის ჩალუნვას, არამედ შუა და განაპირა მხარეების ჩალუნვათა სხვაობას. მლუნავი მომენტებით გამოწვეული გლინის ჩალუნვათა სხვაობა კასრის შუა და ფურცლის განაპირა მხარეს შორის გამოითვლება ტოლობიდან:

$$f'_1 = \frac{P}{18,8 ED^4} (12ab^2 - 7b^3), \quad (290)$$

ხოლო განივი ძალების მოქმედებით გამოწვეული ჩალუნვათა სხვაობა ტოლობიდან:

$$f_2'' = \frac{P}{G \pi D^2} \cdot \frac{b}{2}. \quad (291)$$

ანალოგიური წესით ანგარიშობენ გლინის შუა და განაპირა მხარეების ჩალუნვათა სხვაობას:

$$f_1'' = \frac{P}{18,8 ED^4} (12aL^2 - 8L^3 + b^3), \quad (292)$$

$$f_2'' = \frac{P}{G \pi D^2} \left( L - \frac{b}{2} \right), \quad (293)$$

სადაც  $L$ —გლინის კასრის სიგრძეა.

დგანის ნორმალური მუშაობისათვის საკირო გლინის პროფილა დამოკიდებულა მოქიმვების განაწილებაზე გატარებათა მიხედვით. გასაგლინავი ფურცლის სიგანეზე და გლინების მუშაობის ტემპერატურულ რეჟიმზე.

მოქიმვის სიდიდის შერჩევის საკითხი, როგორც სქელი ფურცლების, ასევე გლინის სხვა შემთხვევებისათვის (მაგალითად, ბლუმსები და სლიაბები) უნდა დადგინდეს სამი ფაქტორისაგან დამოკიდებულებით: 1) ლითონის ხარისხი, 2) ძრავის სიმძლავრე, 3) დგანის დეტალების სიმტკიცე, პირველ რიგში გლინების. სქელი ფურცლების გლინის უმეტეს შემთხვევებში ეს საკითხი შეიძლება გადაწყდეს მხოლოდ გლინების სიმტკიცესთან დამოკიდებულებით. ვინაიდან ამ პირობით დასაშვები მოქიმვის სიდიდე ნაკლებია ვიდრე ლითონის ხარისხისა და ძრავის სიმძლავრის პირობებიდან მიღებული მოქიმვები. ამას ადასტურებს შემდეგი მოსაზრებანი: ფურცლების უმეტესი ნაწილი იგლინება რბილი ფოლადის სხმულებისაგან, რომელთაც აქვთ მაღალი პლასტიკურობა. მაღალნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადებისაგან ფურცლების გლინისას. მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული მათი შემცირებული პლას-

ტიკურობა. ასეთი ფოლადების გლინვა დაკავშირებულია გლინებზე ლითონის წნევის გადიდებასთან, რასაც მიეყვება გლინებში ძაბვების გადიდებამდე და შესაბამისად საჭიროა მოქიშვის შემცირება. ამრიგად, ნებისმიერი ლითონის გლინვისას მოქიშვის სიდიდე დამოკიდებულია გლინების სიმტკიცეზე. მოქიშვის სიდიდეს გლინებზე ლითონის წნევისთან დამოკიდებულებით ტრიო-ლაუტას დგანებში ანგარიშობენ ფორმულიდან:

$$P = pb \sqrt{\frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2} (H - h)}, \quad (294)$$

სადაც  $p$  არის ლითონის ხვედრითი დაწოლა გლინებზე;

$b$ —ფურცლის სიგანე;

$D_1$ —ზედა და ქვედა გლინების დიამეტრი;

$D_2$ —შუა გლინის დიამეტრი;

$(H - h)$ —მოქიშვა.

ამ ფორმულიდან

$$H - h = \frac{D_1 + D_2}{D_1 D_2} \left( \frac{P}{pb} \right)^2 \quad (295)$$

თუ  $\frac{D_2}{D_1}$  ფარდობას  $i$  ასოთი აღვნიშნავთ, მაშინ (295) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$H - h = \frac{i + 1}{i D_1} \left( \frac{P}{pb} \right)^2 \quad (296)$$

სიდიდე  $i$  იცვლება ზღვრებში 0,65—0,75, საშუალოდ იღებენ 0,7, მაშინ

$$H - h = \frac{2.4}{D_1} \left( \frac{P}{pb} \right)^2 \quad (297)$$

ამ გამოსახულებაში  $P$  წარმოადგენს ზღვრულ დასაშვებ წნევას მოცემული  $p$ ,  $b$  და  $D$  სიდიდეებისათვის, რომელსაც ეთანადება მაქსიმალურად დასაშვები მოქიშვა  $(H - h)$ .

$P$  სიდიდესა და გლინის მღუნავ მომენტს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$P = \frac{8 M}{2a - h}, \quad (298)$$

სადაც  $a$  არის მანძილი გლინის ყულების ცენტრებს შორის;

$b$ —გასაგლინავი ფურცლის სიგანე.

ცნობილია, რომ

$$M=0,1 \sigma D_1^3, \quad (299)$$

სადაც  $\sigma$  არის დასაშვები ძაბვა ლუნვაზე, კგ/მმ<sup>2</sup>.

ნაწრთობი თუჯისათვის  $\sigma=5$  კგ/მმ<sup>2</sup>, ხოლო სხმული ფოლადისათვის  $\sigma=10$  კგ/მმ<sup>2</sup>.

თუ ავიღებთ ფურცლების გლინვის ყველაზე უფრო გავრცელებულ შემთხვევას—ნაწრთობი თუჯის გლინებში, მაშინ

$$P = \frac{4 \cdot D_1^3}{2a - b}. \quad (300)$$

აღვნიშნოთ  $\frac{b}{a} = m$  და  $\frac{a}{D_1} = n$  და ჩავსვათ მათი მნიშვნელობანი (300) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$P = \frac{4a^3}{n^3(2-m)}. \quad (301)$$

(297) ფორმულაში შემავალი სიდიდეები  $D_1$ ,  $P$  და  $b$  შევცვალოთ მათი ახალი მნიშვნელობებით, მივიღებთ:

$$H - h = \frac{24n}{a} \left[ \frac{4a^2}{pm(2-m)n^3} \right]^2. \quad (302)$$

გარდაქმნის შემდეგ გვაქვს:

$$H - h = \frac{38,4}{n^3} \cdot \frac{a}{[pm(2-m)]^2}. \quad (303)$$

ყოველ მოცემულ სიდიდეს აქვს განსაზღვრული მნიშვნელობა; უმეტესი დგანებისათვის  $n=3,5$ . თუ ამ მნიშვნელობას (303) ფორმულაში შევიტანთ, მივიღებთ:

$$H - h = \frac{0,073 a}{[pm(2-m)]^2}. \quad (304)$$

ფურცელსაგლინავი დგანების გლინების დაკალიბრების საკითხი განხილული აქვს აგრეთვე ვ. ა. ტიაგუნოვს [35].

ტიაგუნოვი სწორ დასკვნას აკეთებს იმის შესახებ, რომ ძირითად ფაქტორს, რომელიც ალიმითირებს ფურცელსაგლინავ დგანებში მოჭიმვის სიდიდეს წარმოადგენს გლინების სიმტკიცე. მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევებში ფურცლების სხმულებიდან გლინვისას მოჭიმვა შეიძლება დამოკიდებული იყოს შეტაცების კუთხეზე და ამძრავის სიმძლავრეზე. გამომდინარე აქედან ვ. ა. ტიაგუნოვი ფურცლების დაკალიბრებას აწარმოებს გლინების სიმტკიცის პირობის მიხედვით, რაც შემდეგში მდგომარეობს.

გლინების სიმტკიცის პირობიდან დასაშვები ძალა გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = \frac{0.4 D_1^3 K_c}{L + l + 0.5b}, \quad (305)$$

სადაც  $D_1$  არის ზედა ან ქვედა გლინის დიამეტრი, მმ;

$L$ —გლინის ქასრის სიგრძე;

$l$ —გლინის ყელის სიგრძე;

$b$ —ფურცლის სიგანე;

$K_c$ —დასაშვები ძაბვა ლუნვაზე სიმტკიცის ხუთმაგი მარაგის დროს, რომელიც თუჯის გლინებისათვის უდრის  $6 \div 6,75$ , სხმული ფოლადის გლინებისათვის  $10 \div 12$  და ნაკედი ფოლადის გლინებისათვის  $12 \div 13$ .

მოკიშვა მოცემული გატარებისათვის გამოითვლება ტოლობიდან:

$$P = pb\sqrt{(H-h)r} = Q, \quad (306)$$

რაც იმაში მდგომარეობს, რომ ლითონის წნევა გლინებზე არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ ძალას ( $Q$ ).

(306) განტოლებიდან

$$H-h = \frac{Q^2}{p^2 b^2 r}. \quad (307)$$

ლითონის დეფორმაციის წინაღობის ( $p$ ) ანგარიში შეიძლება ა. ი. ცელიკოვის მეთოდით.

**ქირითადი მილსაგლინავი დანადგარების  
ინსტრუმენტის დაკალიბრება**

ამჟამად უნაკერო მიღების წარმოებაში ყველაზე უფრო გავრცელებულია: 1) დანადგარი ავტომატური დგანით (შტიფელის ხერხი) და 2) დანადგარი პილიგრიმული დგანით (მანესმანის ხერხი). როგორც საბჭოთა კავშირში, ისე საზღვარგარეთაც პირველი მეთოდით მიღების წარმოების ხვედრითი წონა მეორესთან შედარებით სულ უფრო და უფრო მატულობს. ამის მიზეზია მისი შემდეგი დადებითი თვისებები, მილის როგორც გარე, ისე შიგა ზედაპირების საკმარისი სიგლუვე, დანადგარის მაღალი წარმადობა; პროცესის მაღალი მექანიზაცია და ავტომატიზაცია; მაღალხარისხოვანი ფოლაღების გაგლინვის მეტი შესაძლებლობა. უკანასკნელ დროს აწარმოებენ ცდებს დიდი დიამეტრის მიღების მიღების შესაძლებლობაზე, მაგრამ აღნიშნულ მეთოდს აქვს რიგი უარყოფითი მხარეებიც: ლითონის საკმარისად დიდი ხარჯი; შეზღუდულობა მილის სიგრძით; მილნამზადი საამქროს აუცილებლობა და სხვა.

მიღების გლინვის პილიგრიმული მეთოდი, გამოშვებული უნაკერო მიღების ზომებს მეტად ფართო ზღვრებს გვაძლევს. მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად ფართოდ ვითარდება მაღალწარმადობიანი დანადგარები ავტომატური დგანით, მაინც საკმარისად მნიშვნელოვანია პილიგრიმული მეთოდით მიღების წარმოების ხვედრითი წონა, რომელიც მიღების განსაზღვრულ სორტამენტზე კიდევ დიდხანს გაუწევს სხვა ხერხებს კონკურენციას. მის დადებით მხარედ არ შეიძლება არ აღინიშნოს ის, რომ ამ მეთოდით ჩვენ შეგვიძლია ვგლინოთ მაღალნახშირბადიანი და ლეგირებული მიღები სხმულისაგან; მივიღოთ მიღები სიგრძით 35 მ-მდე (ცალკეულ შემთხვევაში 45 მ-მდე) და საკმარისად დიდი დიამეტრით 650 მმ-მდე. შეგვიძლია აგრეთვე გავგლინოთ კვადრატული და ექვსკუთხედი შტანგები და პერიოდული პროფილის მიღები, რასაც მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს.

§ 1. ავტომატდგანიანი დანადგარის ინსტრუქციის.  
ლაკალიბრება

1. განმალრუებელი დგანის გლინების დაკალიბრება

ავტომატურ დგანიანი დანადგარის განმალრუებელი დგანის გლინები წარმოადგენს დიდი ფუძეებით მიდგმულ ორ წაკვეთილ კონუსს (ნახ. 300). გლინების ძირითად მახასიათებლად ითვლება უდიდესი დიამეტრი  $D_0$  და კასრის სიგრძე  $L_0$ .

მუშა გლინზე არჩევენ სამ უბანს— $l$ ,  $k$ ,  $p$ .

$l$  უბანში წარმოებს ნამზადის მომზადება განლრუებისათვის, ამიტომ მას განლრუების ანუ შემშვებ კონუსს უწოდებენ.

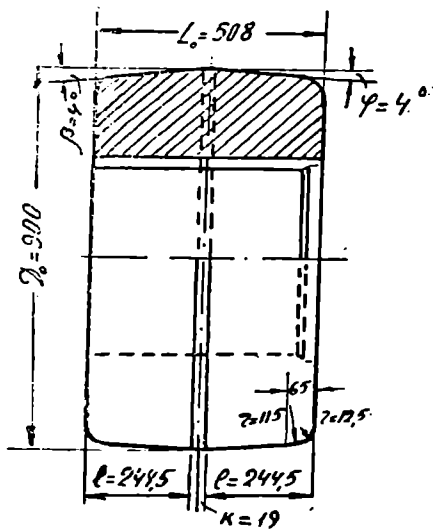
$k$  უბანი წარმოადგენს გლინის სარტყელს, რომლის დანიშნულებაა მოახდინოს მდორე გადასვლა ნამზადის დიამეტრალური კუმშვის დეფორმაციიდან მისი გაჭიმვის დეფორმაციაზე გადასვლის არეში. ამ უბნის არ არსებობა გამოიწვევდა მასრაზე სპირალური ხაზების გაჩენას, რომელიც შემდეგ უბანში ვერ გამოსწორდებოდა.

$p$  — უბანს, რომელშიც წარმოებს სამართულსა და გლინის შორის კედლის გადაგლინვა, უწოდებენ განივი გადაგლინვის კონუსს ანუ გამშვებ კონუსს.

განმალრუებელ დგანებში იყენებენ ორი ტიპის გლი-

ნებს. პირველი ტიპის გლინებს შემშვები და გამშვები კონუსის სიგრძეები ტოლი აქვთ, ხოლო მეორე ტიპს რამელიც ბოლო დროს ყველაზე უფრო გაგრძელებულია შემშვები კონუსი უფრო მოკლე აქვს, ვიდრე გამშვები. მათი სხვაობა ჩვეულებრივად იცვლება ზღვრებში 50—160 მმ.

გამშვები კონუსის დიდი სიგრძე სამართულის სწორ კალიბრებასთან ერთად საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ლითონის გაფარ-



ნახ. 300. განმალრუებელი დგანის მუშა გლინი.

თოების დიდი ხარისხი და მასრის საკმარისად ზუსტი ზომები-  
ამავე დროს განდრუების კონუსი მიუხედავად მისი შემცირებისა,  
საესებით აკმაყოფილებს შეტაცების პირობებს.

გლინების მაქსიმალური დიამეტრის გამოსათვლელად მატყე-  
ევი და ვატკინი ისლევიან შემდეგ ფორმულას:

$$D_0 = 2D_{max} + (400 \div 460) \text{ მმ}, \quad (308)$$

სადაც  $D_{max}$  არის მოცემულ დგანზე მისაღები მილის მაქსიმალური  
დიამეტრი, მმ.

დანილოვი, გლეიბერგი და ბალაკინი კი შემდეგ ემ-  
პირულ ფორმულას:

$$D_0 = 2,5 d_{ვა} + (350 \div 450) \text{ მმ}, \quad (309)$$

სადაც  $d_{ვა}$  არის მოცემულ დგანზე გამოყენებული ნამზადის მაქსი-  
მალური დიამეტრი, მმ.

სხვადასხვა განმალრუებელ დგანებში გლინის კასრის სიგრძე  
იკვლება ზღვრებში 400-700 მმ. პრაქტიკულად შეიძლება სარ-  
გებლობა შემდეგი გამოსახულებით:

$$L_0 = (0,55 \div 0,70) D_0. \quad (310)$$

ყველაზე უფრო გავრცელებულ ავტომატდგანიან დანადგარის  
განმალრუებელი დგანის გლინების დიამეტრისა და კასრის სიგრძის  
მონაცემები იხ. 23-ე ცხრილში.

ცხრილი 23

დგანების დასახელება	მილის მაქ- სიმალური დიამეტრი, მმ	განმალრუებელი დგანის მუშა გლინები	
		კასრის მაქსიმალუ- რი დიამეტრი, მმ	კასრის სიგრძე მმ
მცირე დგანები .	140	650-800	400-500
საშუალო დგანები .	219	850-950	510-620
დიდი დგანები .	406	900-1300	530-760

გლინის ცალკეული უბნების სიგრძეს ანგარიშობენ შემდეგი თა-  
ნაფარდობებიდან:

$$k = (0,01 \div 0,04) L_0.$$

იგი იკვლება ზღვრებში 15-25 მმ.

პირველი ტიპის გლინებისათვის

$$l = p = 0,5 (L_0 - k),$$

ზოლო მეორე ტიპის გლინებისათვის

$$l = 0,5 (L_0 - k) - (30 \div 80) \text{ მმ.}$$

$$p = L_0 - (l + k)$$

კასრის კიდის მომრგვალების რადიუსი აიღება

$$p = (0,02 \div 0,03) L_0. \quad (311)$$

შემშვები და გამშვები კონუსის დახრის კუთხეები, როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა უმჯობესია ავიღოთ ზღვრებში

$$\beta = \varphi = 3 \div 4,5$$

### განმარტებული დგანის სამართულის დაკალიბრება

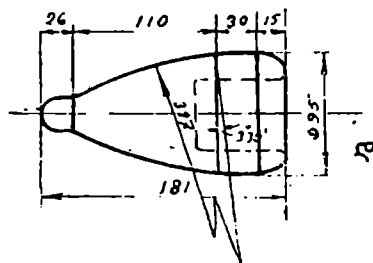
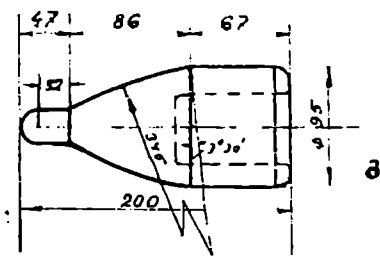
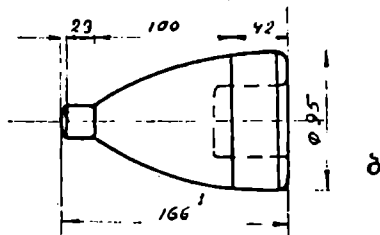
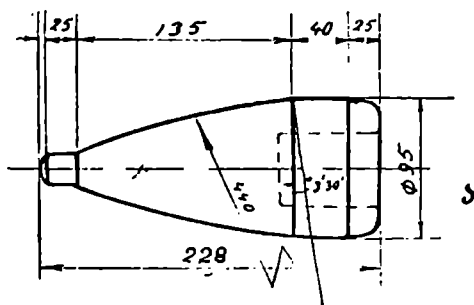
ცილინდრული ნამზადის მასრად განდრუების პროცესში ლითონის ძირითადი დეფორმაცია მიმდინარეობს სამართულზე. დეფორმაციის კერის ნებისმიერ კვეთში სამართულსა და გლინს შორის სივრცეზეა დამოკიდებული მოჭიმვის სიდიდე. ეს სივრცე კი დამოკიდებულია უმთავრესად სამართულის ფორმაზე. მაშასადამე, სამართულის ფორმა ძირითადად განსაზღვრავს დეფორმაციის ზონაში მოჭიმვის განაწილებას. სამართულს მეტად მძიმე პირობებში უხდება მუშაობა: დიდი ხნის განმავლობაში ეხება ცხელ ლითონს და განიცდის დიდ წნევას, ამის გამო ადგილი აქვს მის სწრაფ ცვეთას.

დღემდე ჯერ კიდევ არ არის დადგენილი სამართულის ერთი განსაზღვრული რაციონალური ფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს მის მდგრადობას, ენერჯის ნაკლებ ხარჯსა და მაღალ წარმადობას. ამჟამად საწარმოო პრაქტიკაში ეხვდებით სხვადასხვა კონფიგურაციის სამართულებს. ჩვენში ყველაზე გავრცელებულია შემდეგი ფორმის სამართულები (ნახ. 301), რომლებიც პირველად წამოყენებული იქნა ი. ვ. დუბროვსკისა და ლ. ი. მატლახოვის მიერ.

სამართულის მუშა ზედაპირს ჩვეულებრივ ყოფენ ოთხ უბნად: სამართულის ცხვირი, მუშა კონუსი, განივი გადაგლინვის კონუსი და ცილინდრული სარტყელი ანუ უკუკონუსი.

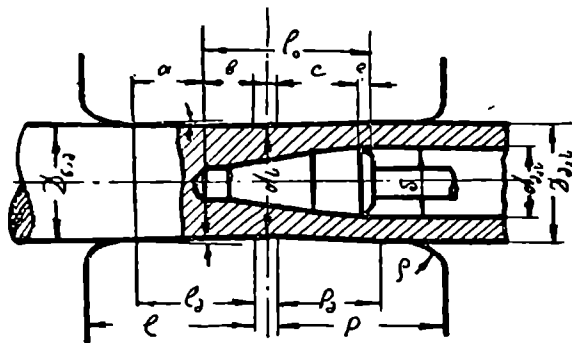
სამართულის ცილინდრული ცხვირის არსებობა გარკვეულ გავლენას ახდენს განდრუების პროცესში ლითონის დენადობაზე. სამართულს ცხვირთან ლითონი მთლიანად არ ეხება, რის გამოც რჩება ე. წ. რგოლური სივრცე (ნახ. 303), რომელიც ხელს უწყობს სამართულის გვიან გაციებას და ამით ზრდის მის მდგრადობას.





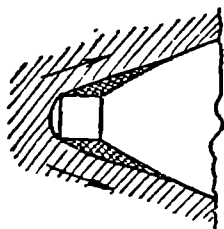
63b. 301.

სამართულის მუშა კონუსს ამზადებენ სხვადასხვა კონფიგურაციით. კონუსის მსახველი შეიძლება იყოს წრფე (კონუსური სამართული), წრის რკალი (სფერული სამართული) ან სპეციალური მრუდი.



ნახ. 302. განმალრუებელი დგანის დეფორმაციის კერის სქემა.

სამართულის მესამე უბნის—განივი გადაგლინვის კონუსის—დანიშნულებაა მასრის თანაბარი კედლის სისქის მიღება, მას მაკალიბრებელ უბანსაც უწოდებენ. ამ კონუსის კუთხეს ჩვეულებრივად იღებენ გლინის გამშვები კუთხის ტოლს.



ნახ. 303.

სამართულის უკანასკნელ უბანს ამზადებენ ან ცილინდრული სარტყელის ან უკუკონუსის სახით, რათა მასრის შიგა ზედაპირის დაუზიანებლად მოხდეს მისი ადვილი გადაცმა.

სამართულის დაკალიბრება მდგომარეობს მის ცალკეულ უბანთა ზომებისა და ფორმის დადგენაში.

ძირითად გაბარიტულ ზომებად ითვლება სამართულის მაქსიმალური დიამეტრი— $d$  და სიგრძე— $L$ . სამართულის დაკალიბრებას იწყებენ მისი დიამეტრიდან, რომლის განსაზღვრისათვისაც გამოდიან მასრის შიგა დიამეტრიდან. როგორც ვიცით განივი გადაგლინვის ზონაში ადვილი აქვს სამართულსა და გლინის შორის ლითონის გრძივი გლინვის ელემენტებს. ამის გამოა, რომ ყოველთვის ვლდებულობთ სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრს და მასრის

შიგა დიამეტრის შორის ღრიქოს. მასრის გადაგლინვის კოეფიციენტის ცოდნა საშუალებას მოგვცემს გადავიდეთ სამართულის ძირითად ზომებზე. გადაგლინვის სიდიდე დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე: მასრის გეომეტრიულ ზომებზე, დვანის გაწყობაზე და სხვა. ამიტომ მისი თეორიულად გამოთვლა მეტად გართულებულია. ქვემოთ მოგვყავს მათემატიკისა და ვატიკინის [11] მიერ სხვადასხვა ქარხნების პრაქტიკიდან აღებული მონაცემები გადაგლინვის შესახებ (ცხრილი 24).

ცხრილი 24

მილის კედლის სისქე	გადაგლინვის სიდიდე, %	
	ნამზადებისათვის რომელთა $\phi < 140$ მმ	ნამზადებისათვის რომელთა $\phi > 140$ მმ
4—6	7	8
7—9	6	7
10—12	5	6
13—15	4	5,5
16—20	3	5
21—25	2,5	4
26—30	2	3
30	1,5	2

სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრს ანგარიშობენ:

$$\delta = d_{\text{ვას}} - \frac{k D_{\text{ვას}}}{100}, \quad (312)$$

სადაც  $k$ —მასრის გადაგლინვის კოეფიციენტი, %/. მეორე განღრუების შემთხვევაში ეს კოეფიციენტი აიღება 50—75%-ით მეტი, ვიდრე პირველ განღრუებისას.

უქუკონუსის სიგრძეს იღებენ  $l_1 = 10 \div 20$  მმ-ს. მინიმალურ დიამეტრს კი პირობიდან

$$\delta_0 = (0,93 \div 0,97) \delta.$$

გადაგლინვის კონუსის სიგრძეს— $l_2$  საზღვრავენ იმ პირობიდან, რომ ადგილი ჰქონდეს მასრის კედლის არანაკლებ ერთჯერად მოქიმვას, მაშასადამე, აუცილებელია, რომ იგი იყოს მეტი ვიდრე ხრახნული ხაზის ნახევარი ბიჯი.

$$l_2 = (1,2 \div 1,5) r_{\text{მ}}$$

სადაც  $r_{\text{მ}}$  არის მიწოდება ნახევარ შემობრუნებისას.

გადაგლინვის კონუსის მუშა კონუსთან გადასვლის ადგილზე სამართულის დიამეტრი ტოლია:

$$\delta_2 = \delta - 2l_3 \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (313)$$

სადაც  $\varphi_1$ —გადაგლინვის კონუსის მსახველის დახრის კუთხეა, ჩვეულებრივად იღებენ გლინის გამშვები კონუსის დახრის ტოლს, ე. ი.

$$\varphi_1 = \varphi = 3^\circ \div 4^\circ 30'.$$

მუშა კონუსის სიგრძეს— $l_2$  იღებენ დაახლოებით სამართულის დიამეტრის ტოლს. დიდი ზომების შემთხვევაში ცოტათი გრძელს—დაახლოებით 5—10 მმ-ით.

სფერულ სამართულებს აკალიბრებენ ისე, რომ მუშა და გადაგლინვის კონუსის გადასვლა იყოს მდორე, ე. ი. უკანასკნელის მსახველი უნდა წარმოადგენდეს პირველის მხებს. ამ პირობიდან გამომდინარე საზღვრავენ მუშა კონუსის შემომხაზველი რკალის რადიუსს:

$$R = \frac{(\delta_2 - \delta)^2 + 4l_2^2}{4[(\delta_2 - \delta) \cos \varphi_1 - 2l_2 \sin \varphi_1]}. \quad (314)$$

სამართულის დანარჩენი ზომები აიღება პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე, მაგალითად ცილინდრული ცხვირისათვის რეკომენდირებულია შემდეგი ზომები:

$$l_1 = 20 \div 25 \text{ მმ};$$

$$\delta_1 = 22 \div 30 \text{ მმ};$$

$$r = 15 \div 20 \text{ მმ}.$$

სამართულის კუდის ზომებს იღებენ კონსტრუქციულ მოსაზრებიდან. 25-ე ცხრილში მოცემულია პრაქტიკაში გავრცელებული სფერული სამართულის ზომები (დანილოვის მიხედვით).

ა. პ. ჩეკმაროვმა, რ. ა. პლიაცკოვსკიმ და ი. ლ. ვატკინმა წამოაყენეს სამართულის მუშა კონუსის აგების საანგარიშო მეთოდი. ანგარიშს საფუძვლად დაუდეს დეფორმაციის კერის სიგრძეში ლითონის ფარდობითი მოჭიმვის მუდმივობის დაცვა. სამართულის ფორმა მოცემულია 304-ე ნახ-ზე, რომლის მუშა უბნის პროფილის საანგარიშო ფორმულის საბოლოო სახე შემდეგია:

$$\delta_x = \sqrt{D_x^2 - [d_{\text{გა}}(1-u) + 2l_3 \operatorname{tg} \varphi_1]^2 \mu/\gamma - \frac{4x}{l_2}}, \quad (315)$$

სადაც  $D_x$  არის გლინის დიამეტრი;

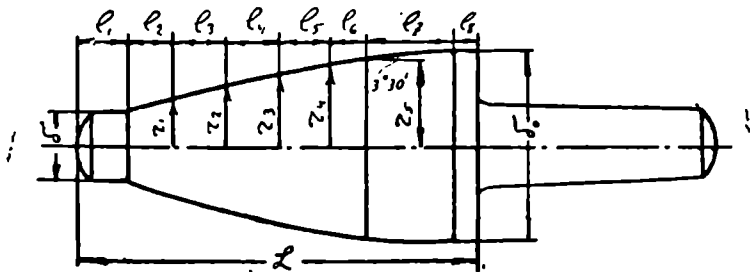
$\delta_x$ —სამართულის დიამეტრი ნებისმიერ უბანში;

$d_{\text{ნაზ}}$ —ნამზადის დიამეტრი;

$z$ —მოჭიმვა სარტყელში;

$\mu$ —სამართულზე გამოჭიმვის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება სამართულის ცხვირთან შეხებისას ნამზადის განივკვეთის ფართის ფარლობით მასრის განივკვეთის ფართთან.

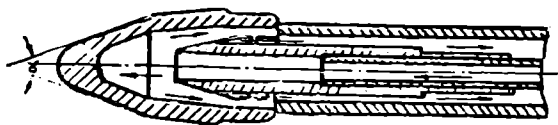
$\xi$ —ოვალურობის კოეფიციენტი, ტოლია 1,014—1,023.



ნახ. 304. სამართული, რომლის მუშა კონუსი მიღებულია 315 ფორმულით.

უკანასკნელ წლებში სამართულის მდგრადობის გასაზრდელად ტარდება მუშაობა არა მარტო მისი ოპტიმალური ფორმის შემუშავებისათვის, არამედ მოცემული სამართულის ამა თუ იმ ხერხით მდგრადობის გაზრდისათვის. ამ მიზნით მეტად საყურადღებოა ინჟ. მ. მ. კაუფმანის მიერ წამოყენებული გაციების მეთოდი (ნახ. 305), რომელმაც დადებითი შედეგები მოგვცა.

ამჟამად ფართოდ ინერგება ნახვრეტებიანი „ჰუცვლელი“ სამართულების გამოყენება, რომელსაც შიგნიდან მაღალი წნევით წყალი-



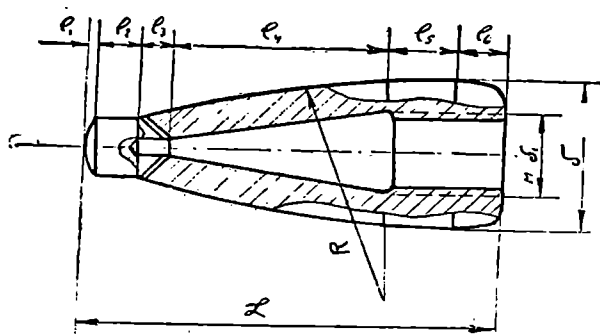
ნახ. 305. სამართულის გაციების სქემა.

მიეწოდება. ასეთ სამართულებზე გადასვლა მეტად კარგ შედეგებს იძლევა.

იყო ცდები აგრეთვე სამართულის ცხვირის უფრო მდგრადი მასალით დაფარვისა და სხვა.

განმალრუებელი დგანის გამყვანის დაკალიბრება. ავტომატდგანიან დანადგარით მიღების წარმოების ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად ითვლება ის, რომ შესაძლებლობა გვაქვს,-

მივიღოთ საკმარისად თხელკედლიანი მასრა. ამისათვის კი საჭი-  
როა განპლარუებელ დგანზე იყოს შექმნილი ჩაკეტილი კალიბრი,



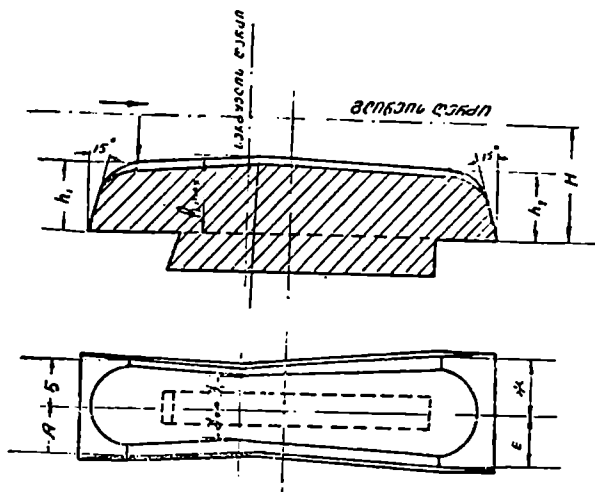
ნახ. 305 ა.

ცხრილი 25

$\delta$	$\delta_k$	$\delta_1$	$l$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_1$	$r$	$R$
55	50	25	140	68	32	20	20	18	335
60	55	25	145	73	32	20	20	18	300
65	60	25	150	78	32	20	20	18	2f0
70	65	25	155	83	32	20	20	18	270
75	69	26	160	79	38	20	23	19	218
80	74	26	165	84	38	20	23	19	220
85	79	26	170	89	38	20	23	19	221
90	84	26	175	94	38	20	23	19	225
95	89	26	180	99	38	20	23	19	227
100	93	28	185	95	45	20	25	20	201
105	98	28	190	100	45	20	25	20	208
110	103	28	200	110	45	20	25	20	235
115	108	28	205	115	45	20	25	20	240
120	113	28	210	120	45	20	25	20	245
125	118	28	220	130	45	20	26	20	273
130	123	30	225	134	45	20	26	22	279
135	128	30	230	139	45	20	26	22	285
140	133	30	240	149	45	20	26	22	313
145	138	30	245	154	45	20	26	22	318
150	143	30	250	159	45	20	26	22	314
155	148	30	260	169	45	20	26	22	350
160	153	30	265	174	45	20	26	22	355
165	158	30	275	186	45	20	26	22	382
170	168	30	280	189	45	20	26	22	388
175	168	30	285	194	45	20	26	22	396
180	178	30	290	199	45	20	26	22	400
185	178	30	295	204	45	20	26	22	407
190	183	30	300	209	45	20	26	22	412

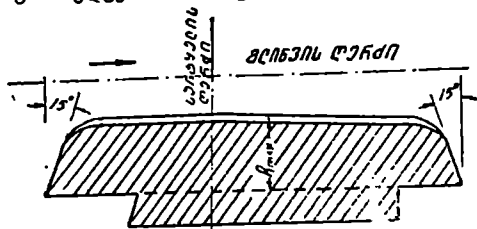
რასაც აღწევენ ე. წ. გამყვანების გამოყენებით. გამყვანები განღრუების პროცესში ზღუდავენ განივ დეფორმაციას (ოვალიზაციას) და ამით ხელს უწყობენ ლითონის გამოკინძვას.

გამყვანის პროფილი როგორც გრძივ ისე განივ ქრისში განისაზღვრება დეფორმაციის კერის ფორმითა და ზომით. პრაქტიკა-



ნახ. 306. მკირე და საშუალო განმალრუებელი დგანების გამყვანი დახრილ შექმნებ და გამომშეებ უინებით (ფრჩხილებში მოთაესებული ზომები ეკუთენის საშუალო დგანს).

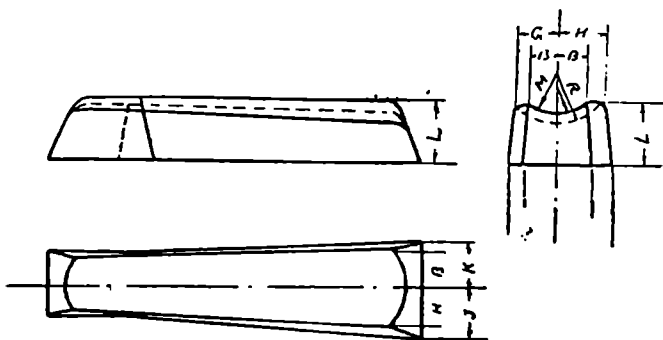
ში სხვადასხვა კონსტრუქციის გამყვანები გამოიყენებიან, რომელთაგანაც ზოგი შედგება სამი უბნისაგან (ნახ. 306), ზოგიერთი



ნახ. 307. განმალრუებელი დგანის მიმმართველი სწორი შემშეები უბნით.

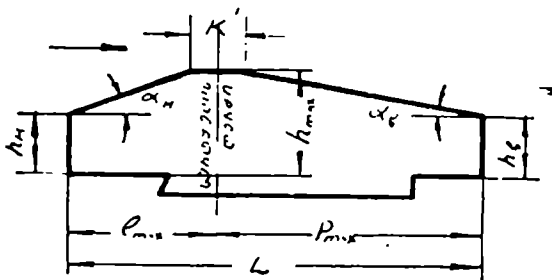
ორი უბნისაგან (ნახ. 307) და ზოგიც ერთი უბნისაგან. აუცილებელ პირობას შეადგენს ის, რომ ნებისმიერი უბნის განივკვეთის რადიუსის ცენტრები ემთხვეოდნენ განღრუების ღერძს.

308-ე ნახ-ზე მოცემულია გრძივი ვერტიკალური კრილის სქემა. მიმართველის შუა ღარზე. ნაშადის შეტაცებას რომ ხელი არ შეუშალოს ამიტომ  $\alpha$  კუთხეს იღებენ  $2 \div 3^\circ$ -ით მეტს, ვიდრე გლინის განღრუების კონუსის მსახველის დახრას.



ნახ. 308. განმალრუებელი დგანის გამყვანი, მთელ სიგრძეზე დახრილი თხემით.

როცა გამყვანს არ გააჩნია დახრა (ნახ. 309), მაშინ მათ შორის მანძილს იღებენ  $n$  მმ-ით მეტს, ვიდრე ნაშადის დიამეტრია.



ნახ. 309. გამყვანის პროფილის აგების სქემა.

როც შეეხება გამშვებ კუთხეს  $\alpha_3$  იგი ტოლი უნდა იყოს გლინის განივი გადაგლინვის კონუსის მსახველის დახრის კუთხისა, ე. ი.

$$\alpha_3 = \varphi$$

ცალკეულ უბანთა სიგრძეებს იღებენ იმ მოსაზრებიდან, რომ.



გამყვანმა გადაფაროს დეფორმაციის კერა ნამზადის მაქსიმალური მოკიშვის შემთხვევაში.

$$l_{max} \approx \frac{\Delta d_{max}}{2 \operatorname{tg} \beta}, \quad (316)$$

სადაც  $\Delta d_{max}$  არის ნამზადის მაქსიმალური დიამეტრალური მოკიშვა.

$$p_{max} = \frac{(D_{პას} - d_{სარტ})_{max}}{2 \operatorname{tg} \varphi}, \quad (317)$$

სადაც  $(D_{პას} - d_{სარტ})_{max}$  არის მასრის გარე დიამეტრსა და ნამზადის სარტყელში დიამეტრს შორის მაქსიმალური სხვაობა.

გამყვანის მთლიანი სიგრძე იქნება

$$L = l_{max} = p_{max}.$$

გამყვანის სარტყელს ანგარიშობენ გლინის სარტყელის მიხედვით

$$k' = (1,5 \div 2,0) k.$$

$h_{max}$  — იღებენ კონსტრუქციული მოსაზრებიდან:

მცირე დგანებისათვის —  $40 \div 60$  მმ;

საშუალო დგანებისათვის —  $65 \div 120$  მმ;

დიდი დგანებისათვის —  $120 \div 150$  მმ.

გამყვანის ზომებს განივკვეთში ანგარიშობენ გეომეტრიული დამოკიდებულებებიდან (ნახ. 310).

სიმაღლე

$$H = \left( \frac{d_3}{2} + h_{max} - z \right) \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (318)$$

სადაც  $\alpha$  არის განღრუვების ღერძთან გლინის დახრის კუთხე;

$$d_3 = \xi d_1$$

$\xi$  — ოვალურობის კოეფიციენტი, უდრის  $1,04 \div 1,08$ .

$$z = R_0 \sin \gamma.$$

$R_0$  — გლინის დიამეტრია.

$z$ -ის მნიშვნელობა ჩავსვათ (318) გამოსახულებაში და მივიღებთ:

$$H = \left( \frac{d_1}{2} + h_{max} - R_0 \sin \gamma \right) \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (319)$$

$OxO$  სამკუთხედიდან კოსინუსების თეორიის თანახმად ვსაზღვრავთ  $\gamma$ -ს

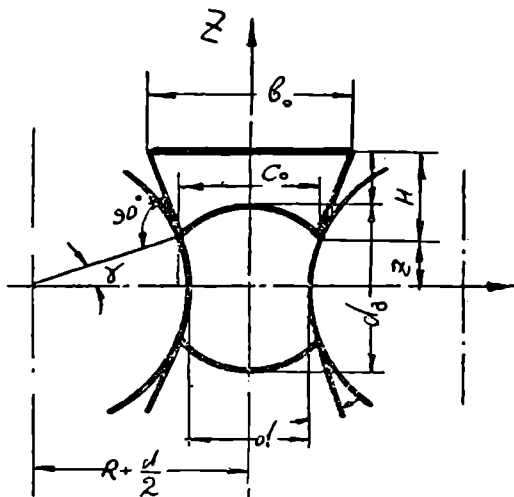
$$\gamma = \arccos \frac{R_0 + \left(R + \frac{d_s}{2}\right)^2 - \frac{d_s}{2}}{2 \left(R + \frac{d_s}{2}\right) R_0} \quad (320)$$

$$C_0 = 2 \left( R + \frac{d_s}{2} - R_0 \cos \gamma \right)$$

ანდა

$$C_0 = D_0 (1 - \cos \gamma) + d_s, \quad \text{მე}$$

$$b_0 = C_0 2H \operatorname{tg} \gamma.$$



ნახ. 310. განმალრუვებელი ღგანის დეფორმაციის კერის განიკვეთი (კვეთი აღებულია გლინების მაქსიმალურ დიამეტრზე—სარტყელზე).

### აეტომატური ღგანის გლინების დაკალიბრება

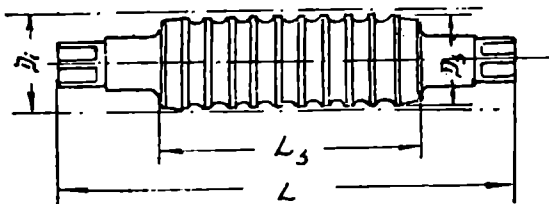
მუშა გლინების ძირითად მახასიათებლად ითვლება იდეალური დიამეტრი ( $D_i$ ) და კასრის სიგრძე ( $L_i$ ) (ნახ. 311). იდეალურ დიამეტრად მიღებულია გლინების ღერძებს შორის მანძილი გლინების მომენტში, ე. ი. იდეალური დიამეტრი კასრის დიამეტრზე მეტია გლინებს შორის ღრიკოს სიღიღით ( $\Delta$ ).

გლინებს შორის ღრიქოს იღებენ 3-დან 10 მმ-მდე. იდეალური დიამეტრის განსაზღვრისათვის პ. ტ. ემელიანენკო იძლევა:

$$D_i = 2D_{max}$$

სადაც  $D_{max}$  არის მოცემულ დგანზე გასაგლინი მილის მაქსიმალური დიამეტრი.

გლინის კასრის სიგრძე დამოკიდებულია მილის ზომაზე და კალიბრების განლაგებაზე, რომელთა რიცხვიც შეიძლება იცვ-



ნახ. 311. ავტომატური დგანის მუშა გლინი.

ლებოდეს 2-დან 12-მდე. ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია გლინები კასრის სიგრძისა და იდეალური დიამეტრის შემდეგი თანაფარდობით:

მცირე დგანებისათვის

$$\frac{L_s}{D_i} = 2,75 \div 3,0;$$

საშუალო დგანებისათვის

$$\frac{L_s}{D_i} = 1,95 \div 2,3;$$

დიდი დგანებისათვის

$$\frac{L_s}{D_i} = 1,45 \div 1,55$$

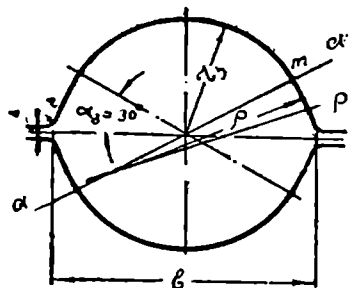
გლინების ძირითადი ზომების შემდეგ აუცილებელია მოვახდინოთ მისი შემოწმება სიმტკიცეზე. გლინების დიამეტრის არჩევისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ აგრეთვე ნამატი გადაჩარხვაზე, რომელიც დაახლოებით 10—12%-ს შეადგენს.

თუ გლინებზე სხვადასხვა დიამეტრის კალიბრია გასაკეთებელი, მაშინ მას ისე ანაწილებენ, რომ გლინი არ დასუსტდეს: მცირე კალიბრებს ათავსებენ ცენტრში, ხოლო დიდებს—გვერდებში.

კალიბრს შუა შვერილის სიგანეს თუჯის გლინებისათვის იღებენ. 90÷150 მმ.

ნაპირა შვერილის სიგანეს თუჯის გლინებისათვის იღებენ 40÷120 მმ. ავტომატდგანზე გლინვისას გამოიყენება შემდეგი ტიპის კალიბრები: მრგვალი, ოვალური და მრგვალი გამშვებით (სწორი ან რადიუსით).

ყველაზე უფრო გავრცელებულია მრგვალი კალიბრი სწორი ან მომრგვალებული გამშვებით. განვიხილოთ კალიბრის აგება მომრგვალებული გამშვებით: კალიბრის ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ღერძთა გადაკვეთის  $O$  წერტილიდან ავლებენ ავტომატდგანზე გაგლინვის შემდეგ მილის დიამეტრის ( $D_s$ ) ნახევარის ტოლი რადიუსით ( $r_s$ ) წრეს (ნახ. 312), ე. ი.



ნახ. 312. ავტომატდგანის კალიბრის აგების სქემა.

$$r_s = 0,5 D_s.$$

ჰორიზონტალურ ღერძზე:

ცენტრიდან მარცხნივ და მარჯვნივ გადაზომავენ კალიბრის სიგანის ( $b$ ) ნახევარს. კალიბრის სიგანეს კი იღებენ მასრის დიამეტრის ტოლს.

$O$  ცენტრზე კალიბრის ჰორიზონტალური ღერძისადმი გაშვების კუთხით ავლებენ  $a$ — $a$  დახრილ ხაზს. გაშვების კუთხეს (დამოუკიდებლად მილის ზომისა) იღებენ  $\alpha_s = 30$ — $32^\circ$ . რაც ნაკლებია კუთხე მით მალაღია მილის ხარისხი. თუ კალიბრის სიგანე და სიმალლე ცნობილია, მაშინ გამშვები ზედაპირის რადიუსს ანგარიშობენ შემდეგ გეომეტრიულ თანაფარდობიდან:

$$\rho = \frac{r_s^2 - 0,25 b^2 - b r_s \cos \alpha_s}{2 r_s - b \cos \alpha_s} \quad (321)$$

კალიბრის ღრეჩოსთან გადასვლის რადიუსს იღებენ:

$$r = 10 \div 20 \text{ მმ.}$$

ავტომატდგანის კალიბრის ღერძების ფარდობა იცვლება ზღვრებში 1,03—1,10. პრაქტიკაში მას იღებენ 1,04—1,07 ფარგლებში.

ავტომატურ დგანზე მუშა გლინების გარდა გვაქვს ე. წ. უკუ მიმწოდებელი გლინები (გორგოლაკები), რომლის დანიშნულება—

საც წარმოადგენს დგანის უკანა მხრიდან მილის მუშა გლინებში მიწოდება. მის დიამეტრს განსაზღვრავენ მუშა გლინების იდეალურ დიამეტრისაგან:

$$D_{\text{გ}} = (0,77 \div 0,90) D_{\text{ს}} \quad (322)$$

უკუმიმწოდებელი გლინის კასრის სიგრძეს იღებენ მუშა გლინის კასრის სიგრძის ტოლს. კალიბრების განლაგებას ახდენენ მუშა გლინის ანალოგიურად

გაშვების კუთხეს იღებენ ზღვრებში:

$$\alpha_{\text{გ}} = 40 \div 42^\circ$$

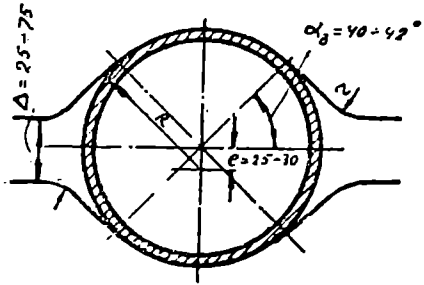
გლინებს შორის ღრეჩო მილის დიამეტრის მიხედვით იცვლება ზღვრებში:

$$\Delta = 25 \div 75 \text{ მმ}$$

გაშვების რადიუსს იღებენ

$$R_{\text{გ}} = (1,6 \div 2,0) r_{\text{კ}}$$

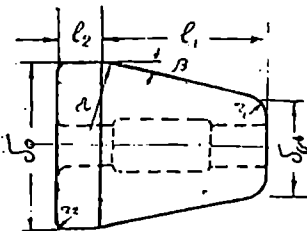
კალიბრის აგებას ახდენენ ისევე როგორც მუშა კალიბრისა (ნახ. 313). უკუმიმწოდებელი გლინის დიამეტრის ანგარიშისას მხედველობაში იღებენ აგრეთვე მარაგს გადაჩარხვისათვის.



ნახ. 313. უკუმიმწოდებელი გლინების კალიბრის აგების სქემა.

### ავტომატური დგანის სამართულის დაკალიბრება

ამეამად პრაქტიკაში გამოიყენება ორი ტიპის სამართული: კონუსური და სფერული. ყველაზე უფრო გავრცელებულია კონუსური სამართული (ნახ. 314) შემდეგი პარამეტრებით (იხ. ცხრილი 26).



ნახ. 314. ავტომატგანის კონუსური სამართული.

სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრს იღებენ შესაბამისი გატარებისას მილისშიგა დიამეტრის ტოლს, ე. ი.

$$d_0 = d_{\text{ს}}$$

როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენა, კონუსის მსახველის დახრის კუთხის ოპტიმალური მნიშვნელობა შემდეგია:

$$\beta = 10 \div 12^\circ$$

კონუსური ნაწილის სისქეს ანგარიშობენ

$$l_1 = (0,7 \div 1,2) d_0$$

$\delta_0$	$l_0$	$l_1$	$l_2$		$r_1$	$r_2$	$\beta$
55—60	70	53	17	—	10	3	10—12°
61—65	70	50	20	—	10	3	
66—70	70	50	20	—	15	3	
71—80	80	60	20	—	15	5	
81—90	80	57	23	—	15	5	
91—105	80	57	23	—	20	5	
106—120	83	60	23	—	20	5	
121—138	88	65	23	—	25	5	
139—150	97	72	25	—	30	5	
151—160	97	72	25	—	35	5	
161—183	97	72	25	—	40	5	
184—200	110	80	30	—	50	5	
201—210	140	100	30	—	50	5	
211—224	135	100	35	—	50	5	
225—237	135	100	35	—	60	5	
228—289	145	105	40	—	60	5	
290—304	150	110	40	—	60	5	
305—404	150	110	40	—	70	5	
405—510	160	115	45	—	70	5	

(მცირე მნიშვნელობები შეესაბამება დიდი დიამეტრის მილებს).  
სამართულის ცილინდრული ნაწილის სიგრძე იცვლება ზღვრებში:

მცირე დგანებისათვის— $15 \div 20$  მმ;

საშუალო დგანებისათვის— $20 \div 25$  მმ;

დიდი დგანებისათვის— $35 \div 50$  მმ.

სამართულის ცხვირის დიამეტრი  
იანგარიშება უბრალო გეომეტრიული  
დამოკიდებულებიდან:

$$\delta_1 = \delta_0 - 2l_1 \text{tg } \beta.$$

სამართულის კონუსური ნაწილის  
ცილინდრულთან გადასვლას ახდენენ  
რადიუსით

$$r = (0,5 \div 0,6) \delta_0.$$

მომრგვალების რადიუსებს იღებენ:

$$r_1 = 5 \div 30 \text{ მმ}$$

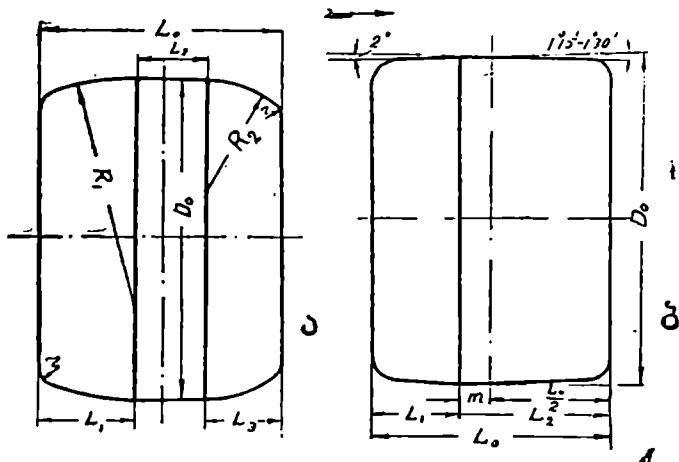
$$r_2 = 3 \div 5 \text{ მმ.}$$

ნახ. 315. ავტომატდგანის  
სფერული სამართული.

პრაქტიკაში ზოგჯერ გამოიყენება სფერული სამართულები-  
მათი ფორმა შემდეგია (ნახ. 315).

**შემომგლინავი მანქანის გლინების, ხამართულის  
და გამყვანის დაკალიბრება**

ავტომატდგანიან მილსაგლინავ დანადგარებს, მიღების ოვალუ-  
რობისა და კედლის სისქის სხვაობის მოსასპობად, აგრეთვე ზე-



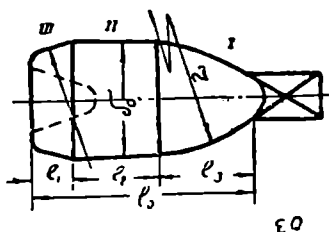
ნახ. 316. შემომგლინავი მანქანის გლინების დაკალიბრება:  
ა—ცილინდრული; ბ—კონუსური.

დაპირის კარგი ხარისხის მისაღებად, უყენებენ შემომგლინავ დგანს  
(მანქანას), რომელიც განმალრუებელი დგანის პრინციპზე მუშაობს.

პრაქტიკაში გავრცელება ჰპო-  
ვა შემომგლინავი მანქანის გლი-  
ნებისა და სამართულების ორ-  
გვარმა დაკალიბრებამ: 1) ცილინ-  
დრული სარტყელით და 2) კონუ-  
სური ზედაპირით. დაკალიბრების  
ორივე ტიპი მოცემულია 316-ე  
ნახ-ზე.

ამეამად უფრო გავრცელებუ-  
ლია მეორე ტიპის დაკალიბრება.

კონუსური ზედაპირებით დაკალიბრებული ინსტრუმენტების  
დროს უმჯობესდება შეტაცების პირობები და მილის ზედაპირის  
ხარისხი. აგრეთვე გვაძლევს მილის დიამეტრის გაზრდის მეტ შე-  
საძლებლობას.



ნახ. 317. შემომგლინავი მანქანის  
სამართული (ცილინდრული უბნით).

როგორც განმარტებულ დგანისათვის, ასევე აქაც გლინებისა და სამართულის ზომების განსაზღვრას ახდენენ ემპირიული ფორმულებით.

გაბარიტულ ზომებს იღებენ შემდეგი თანაფარდობიდან: მცირე დგანებისათვის

$$D_0 = (4,3 \div 4,6) D_{\text{მათა}};$$

საშუალო დგანებისათვის

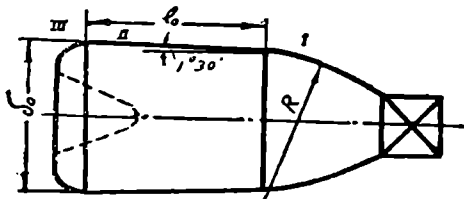
$$D_0 = (3,4 \div 3,7) D_{\text{მათა}};$$

დიდი დგანებისათვის

$$D_0 = (2,2 \div 2,5) D_{\text{მათა}}.$$

სადაც  $D_{\text{მათა}}$  არის გასაგლინი მილებიდან მაქსიმალურის დიამეტრი.

ერთ-ერთ გლინის დიამეტრს იღებენ 2—3 მმ-ით მეტს. ვიდრე პეორეს, რის გამოც ხორციელდება მილის ქვედა მიმმართველზე



ნახ. 318. შემომგლინავი მანქანის სამართული (ახალი კალიბრების).

დაქერა, ე. ი. დგანი იმუშავებს ზედა წნევით. ამ დროს გლინვის ლერძი ქვემოთ იწევს 5—10 მმ-ით.

კასრის სიგრძეს ყველა ზომის დანადგარებისათვის იღებენ

$$L_0 = (0,8 \div 0,9) D_0$$

ცილინდრულ უბნიან გლინის ელემენტების ზომები იანგარიშება:

$$L_1 = (0,32 \div 0,35) L_0;$$

$$L_2 = (0,27 \div 0,32) L_0.$$

რადიუსები:

$$R_1 = (0,70 \div 0,75) D_0;$$

$$R_2 = (0,30 \div 0,40) D_0.$$

კონუსური კალიბრების გლინები, რომელიც ანალოგიურია განმარტებლის გლანებისა, წარმოადგენს დიდი ფუძეებით მიდგმულ ორ წაკვეთილ კონუსს. გლინების სარტყელი, როგორც წესი, გა-



დაადგილებულია მილის მიწოდების მხარეს. კასრის ელემენტების ზომებია:

$$L_1 = (0,35 \div 0,40) L_0;$$

$$L_2 = (0,60 \div 0,65) L_0.$$

შემშვები კონუსის მსახველის დახრის კუთხეს იღებენ  $2^\circ$ , ხოლო გამშვები კონუსისას კი

$$\varphi = 1^\circ 15' \div 1^\circ 30'$$

სამართულის ზომებს აგრეთვე ემპირიული ფორმულებით განსაზღვრავენ. შემომგლინავ დგანზე მილის დიამეტრის მცირეოდენ გაზრდას ახდენენ ორი ფაქტორით: პირველი ის, რომ სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრს  $\delta_0$  იღებენ  $k_0$  სიდიდით უფრო მეტს ვიდრე ავტომატდგანის შემდეგ მილის შიგა დიამეტრია, ამით აღწევენ დიამეტრის ე. წ. „აწევის“ გარდა ამისა სამართულსა და გლინს შორის ადგილი აქვს მილის კედლის შემოგლინვას რის გამოც შემომგლინავე დგანის შემდეგ გამოსული მილის შიგა დიამეტრი სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრზე მეტი იქნება შემოგლინვის სიდიდით  $k_2$ .

მაშასადამე, სამართულის მაქსიმალურ დიამეტრს ვიღებთ:

$$\delta_0 = d_1 + k_0$$

ან

$$\delta_0 = d_2 - k_2$$

აქ  $d_1$  და  $d_2$  მილის დიამეტრებია ავტომატურ და შემომგლინავე დგანების შემდეგ.

$k_0$  და  $k_2$  სიდიდეებს ვიღებთ ი. მ. მატვევისა და ი. ლ. ვატკინის მონაცემებით (იხ. ცხრილი 27).

სამართულის დანარჩენ ზომებს იღებენ (ნახ. 317):

$$l_0 = (1,8 \div 2,2) \delta_0;$$

$$l_1 = (0,15 \div 0,20) l_0;$$

$$l_2 = (0,4 \div 0,5) l_0;$$

$$l_3 = (0,15 \div 0,20) l_0;$$

$$r = (1,0 \div 2,0) \delta_0,$$

$$r_1 = (0,5 \div 1,5) \delta_0.$$

კონუსური სამართულის (ნახ. 318) სიგრძეს ანგარიშობენ:

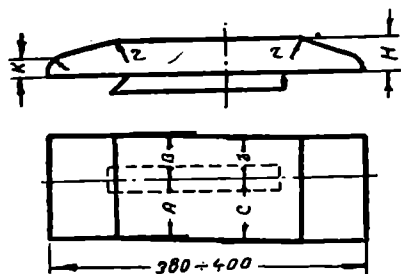
$$l_0 = (1,0 \div 2,0) \delta_0.$$

მცირე დგანები	მილის კედლის სისქე, მმ, . დიამეტრის „აწვევა“ $k_0$ , მმ, . დიამეტრების სხვაობა სამარ- თულსა და მილს შორის $k_2$ , მმ.	3,5—7 10—6 6—3	8—15 6—4 3—2	15-ზე მეტი 4—3 2—0
საშუალო დგანები	მილის კედლის სისქე, მმ, . დიამეტრის „აწვევა“ $k_0$ , მმ, . დიამეტრების სხვაობა სამარ- თულისა და მილს შორის, $k_2$ , მმ,	4—10 12—8 5—3	11—14 8—5 3—1	20-ზე მეტი 5—3 1—0
დიდი დგანები	მილის კედლის სისქე, მმ, . დიამეტრის „აწვევა“ $k_0$ , მმ, . დიამეტრების სხვაობა სამარ- თულსა და მილს შორის $k_2$ , მმ	5—14 20—10 4—2	15—25 10—6 2—1	25-ზე მეტი 6—3 2—1

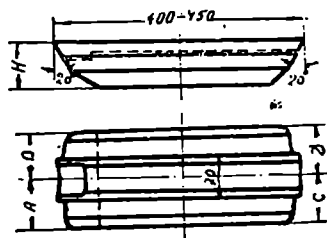
კონუსის დახრის კუთხეს იღებენ გლინის კონუსის კუთხის ტოლს.  
ე. ი.

$$\varphi_1 = \varphi = 1^{\circ}15' - 1^{\circ}30'.$$

შემომგლინავი დგანის გამყვანს აკეთებენ ბრტყელი ზედაპირით (ნახ. 319). მისი სიგრძე უნდა აღემატებოდეს დეფორმაციის ზო-



ნახ. 319. შემომგლინავი დგანის გამყვანი.



ნახ. 320. შემომგლინავი დგანის ზედა გამყვანი.

ნის სიგრძეს. დაახლოებით მას იღებენ, დანილოვის მონაცემებით

$$l_0 = (0,45 \div 0,65) L_0.$$

მატვევისა და ვატკინის მონაცემებით

$$l_0 \approx (0,75 \div 0,9) L_0,$$

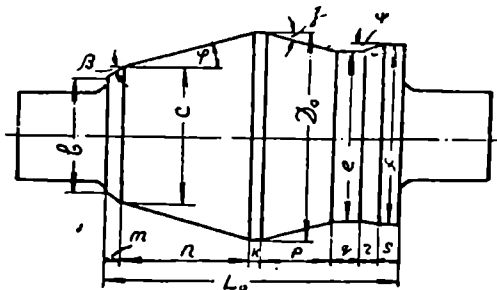
სადაც  $L_0$  — გლინის კასრის სიგრძეა. გამყვანის სისქეს იღებენ კონსტრუქციულად, დაახლოებით 45 ÷ 65 მმ.

ვინაიდან შემოგლინვა წარმოებს ზედა წნევით, ამიტომ ზედა გამყვანი დეფორმაციის პროცესში მონაწილეობას არ იღებს. იგი უბრალო გამყვანის როლს ასრულებს (ნახ. 320).

## § 2. დანადგარის ინსტრუმენტის დაკალიბრება პილიგრიფული დგანით

### 1. განმალრუებელი დგანის გლინების დაკალიბრება

თანამედროვე კონსტრუქციის პილიგრიფულ დგანიან განმალრუებელ დგანის გლინი შედგება შეიდი ცალკეული უბნისაგან (ნახ. 321). რომელთაგანაც თვითეულს აქვს თავისი განსაზღვრული დანიშნუ-



ნახ. 321. განმალრუებელი დგანის გლინის პროფილი.

ლება და სწორედ ამ დანიშნულების დამიხედვით ირჩევენ მათ სიგრძესა და პროფილს.

განვიხილოთ ეს ელემენტები:

*m*—მიმმართველი კონუსი, რომლის დანიშნულებაა სხმულის (ნამზადის) გლინის ღერძთან დაცენტრება მიწოდების დროს.

*n*—განლრუების კონუსი, სადაც წარმოებს სხმულის (ნამზადის) შეტაცება, მოჭივება, ცენტრალური ზონის მომზადება განლრუებისათვის და ბოლოს სილრუვის წარმოქმნა.

*k*—ცილინდრული უბანი, რომელსაც „სარტყელს“ უწოდებენ.

*p* და *q*—ამ უბნებში დეფორმაცია ხასიათდება იმით, რომ აქ წარმოებს მასრის განივი გადაგლინვა სამართულსა და გლინებს შორის. ამიტომ ამ უბანს „განივი გადაგლინვის უბანს“ უწოდებენ.

*r*—ამ კონუსურ უბანში ზუსტდება მიღებული მასრის ზომები ანუ მასრა განიცდის „კალიბრებას“, ამიტომ *r* უბანს უწოდებენ „მაკალიბრებელ კონუსს“.

*s*—ამ უბნის დანიშნულებაა მასრის არასწორი ზედაპირის გასწორება ანუ გაუთობება. მას „მაპრიალებელს“ უწოდებენ.

განმარტებული დგანის მუშა გლინების გაბარიტულ ზომებს ან-გარიზობენ პ. ტ. ემელიანენკოს მონაცემებით (ანგარიზს განიხი-ლავთ მაგალითთან ერთად,  $D_{max}=377$  მმ)

სარტყელის დიამეტრი:

$$D_0 = D_{max} + 350 \text{ მმ} = 377 + 350 = 727 \approx 730 \text{ მმ},$$

სადაც  $D_{max}$  არის გასაგლინ სორტამენტიდან მაქსიმალური ზომის მილის დიამეტრი.

გლინის კასრის სიგრძე

$$L_0 = (1,25 \div 1,5) D_0 = 1,5 \cdot 730 = 1095 \approx 1100 \text{ მმ}.$$

ცალკეულ უბანთა სიგრძის განსაზღვრა:

$$m = (0,085 \div 0,11) L_0 = 0,1 \cdot 1100 = 110 \text{ მმ};$$

$$n = (0,3 \div 0,4) L_0 = 0,38 \cdot 1100 = 418 \text{ მმ};$$

$$k = (0,03 \div 0,04) L_0 = 0,04 \cdot 1100 = 44 \text{ მმ};$$

$$p + q = (0,3 \div 0,4) L_0 = 0,3 \cdot 1100 = 330 \text{ მმ};$$

$$r = (0,08 \div 0,10) L_0 = 0,08 \cdot 1100 = 88 \text{ მმ};$$

$$s = (0,10 \div 0,15) L_0 = 0,1 \cdot 1100 = 110 \text{ მმ}.$$

ამის შემდეგ ვამოწმებთ მიღებულ შედეგებს:

$$m + n + p + q + r + s = L_0;$$

$$110 + 418 + 44 + 330 + 88 + 110 = 1100 \text{ მმ}$$

ეს ტოლობა ამყარებს დამოკიდებულებას გლინის მთელ სიგრძესა და მის შემადგენელ ნაწილებს შორის. ხოლო დამოკიდებულება

$$m + n + 0,5 k = 0,5 L_0; \quad 110 + 418 + 22 = 550 \text{ მმ},$$

საშუალებას გვაძლევს დავამთხვიოთ სარტყელი გლინის ცენტრს. კონუსთა კუთხეებს ვირჩევთ შემდეგ ზღვრებიდან:

$$\beta = 10 \div 20^\circ \text{ ვიღებთ } \beta = 10^\circ;$$

$$\varphi = 3 \div 8^\circ \quad \text{"} \quad \varphi = 5^\circ;$$

$$\xi = 4 \div 8^\circ \quad \text{"} \quad \xi = 6^\circ;$$

$$\psi = 5 \div 7^\circ \quad \text{"} \quad \psi = 5^\circ.$$

გლინის ცალკეულ უბანთა შესაბამის დიამეტრებს ვანგარიზობთ გეომეტრიული დამოკიდებულებებიდან:

$$c = D_0 - 2n \operatorname{tg} \varphi = 730 - 2 \cdot 418 \cdot 0,087 = 658 \text{ მმ};$$

$$b = c - 2m \operatorname{tg} \beta = 658 - 2 \cdot 110 \cdot 0,176 = 620 \text{ მმ};$$

$$l = D_0 - 2p \operatorname{tg} \xi = 730 - 2 \cdot 250 \cdot 0,105 = 678 \text{ მმ}.$$

მივიღოთ  $q=250$  მმ, მაშინ  $q=80$  მმ, რაც დასაშვებ თვარლობას შეესაბამება:

$$p/q=2,5 \div 3,4.$$

ასეთ შემთხვევაში თავიდან აცილებული იქნება „უქმი კალიბრის“ წარმოქმნა.

$$f = \ell + 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg} \psi = 678 + 2 \cdot 88 \cdot 0,087 = 694 \text{ მმ}$$

გაპრიალების და მიმმართველი კონუსის წიბოები მრგვალდებათ რადიუსით:

$$\rho = 0,05 \cdot L_0 = 0,05 \cdot 1100 = 55 \text{ მმ.}$$

განივი გადაგლინვის კონუსებს შორის გადასვლა ულღდება რადიუსით

$$R = L_0 = 1100 \text{ მმ.}$$

გლინის ყელის ზომებს ანგარიშობენ: ყელის დიამეტრი

$$d_y = (0,4 \div 0,55) D_0 = 0,5 \cdot 730 = 365 \text{ მმ;}$$

ყელის სიგრძე

$$l_y = (1,4 \div 1,6) d_y = 1,5 \cdot 365 = 550 \text{ მმ.}$$

საბოლოოდ გლინის ზომებს აჯამებენ ცხრილის სახით.

ცხრილი 28

მუშა გლინის ზომები, მმ															კუთხეები°					
$d_0$	$a$	$b$	$c$	$D$	$l$	$f$	$m$	$n$	$k$	$p$	$q$	$r$	$S$	$L_0$	$R$	$\rho$	$\beta$	$\varphi$	$\xi$	$\psi$
365	550	620	658	730	678	694	110	418	44	250	80	88	110	1100	1100	55	10	5	6	5

ირიბი გლინვის დგანებში მიმმართველი გლინის დანიშნულებას წარმოადგენს არა მარტო დეფორმაციის კერიდან სხმულის ან ნამზადის გამოვარდნის თავიდან აცილება, არამედ დეფორმაციის კერის ფორმის შენარჩუნებაც, ამიტომ მისი პროფილი ზუსტად უნდა შეესაბამებოდეს მუშა გლინის პროფილს. ვინაიდან აღნიშნული გლინები მუშაობენ მხოლოდ ღუნვაზე, საშუალება გვეძლევა შევამციროთ მათი დიამეტრები მუშა გლინებთან შედარებით.

გლინის დიამეტრი სარტყელში გამოითვლება:

$$D'_0 = (0,5 \div 0,6) D_0 = 0,55 \cdot 730 = 400 \text{ მმ}$$

გლინის სიგრძე აიღება იგივე, რაც მუშა გლინისა, ე. ი.

$$L'_0 = L_0 = 1100 \text{ მმ.}$$

შესაბამისად:

$$d'_y = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ მმ};$$

$$l'_y = 1,5 \cdot 200 = 300 \text{ მმ}.$$

ცალკეულ უბანთა სიგრძე და კონუსთა დახრის კუთხეებიც იგივეა, რაც მუშა გლინისა:

$$m' = m \quad n' = n; \quad p' = p; \quad q' = q; \quad r' = r; \quad s' = s \\ \beta' = \beta; \quad \varphi' = \varphi; \quad \xi' = \xi; \quad \psi' = \psi.$$

მაშინ დიამეტრები იქნება:

$$c' = D'_0 - 2n' \operatorname{tg} \varphi' = 400 - 2 \cdot 418 \cdot 0,087 = 328 \text{ მმ};$$

$$b' = c' - 2m' \operatorname{tg} \beta' = 328 - 2 \cdot 110 \cdot 0,176 = 290 \text{ მმ};$$

$$l' = D'_0 - 2p' \operatorname{tg} \xi' = 400 - 2 \cdot 250 \cdot 0,105 = 348 \text{ მმ};$$

$$f = l' + 2r' \operatorname{tg} \psi' = 348 + 2 \cdot 88 \cdot 0,087 = 363.$$

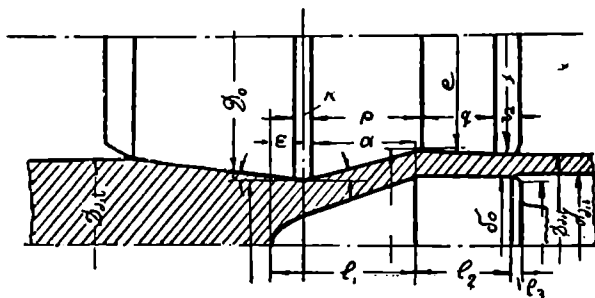
ხოლო

$$\rho' = 0,02 L_0 = 0,02 \cdot 1100 = 22 \text{ მმ};$$

$$R' = L'_0 = 1100 \text{ მმ}.$$

### 2. განმარლებელი დგანის სამართულის დაკალიბრება

დღეგრძეობის კერაში სამართულის მდებარეობა სქემატურად პოცემულია 322-ე ნახ-ზე. სამართულის დიამეტრს განსაზღვრავენ



ნახ. 322. სამართულის სიგრძის საანგარიშო სქემა.

მასრის შიგა დიამეტრით, მხედველობაში იღებენ რა გადაგლინვის სიდიდეს, რომელიც ცდების თანახმად მასრის შიგა დიამეტრის 3—7%-ს შეადგენს.

$$\delta_0 (0,93 \div 0,97) d_a.$$

გადაგლინვის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია მასრის კედლის სისქისა და მისი დიამეტრის ფარლობაზე. რაც დიდი

იქნება ფარდობა, მით ნაკლებია გადაგლინვა და, მაშასადამე, მით ნაკლები კოეფიციენტი უნდა ავილოთ.

სხმულის უშუალოდ განღრუვების შემდეგ გარე დიამეტრი  $D_{გაგ}$  არ უნდა აღემატებოდეს მასრის გარე დიამეტრს— $D_{გაგ} 0,03 \div 0,07$  ზემეტად. წინააღმდეგ შემთხვევაში მივიღებთ მასრის ზედაპირის ცუდ ხარისხს. მაშასადამე,

$$D_{გაგ} = (1,03 \div 1,07) D_{გაგ}$$

კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება შედარებით სქელკედლიან და დიდი ზომის მილებს.

გაფართოების კონუსის მუშა ნაწილის სიგრძე (ნახ. 322) დაახლოებით შეიძლება განისაზღვროს:

$$a = \frac{(D_{გაგ} - D_{გაგ}) + (D_0 - f)}{2 \cdot \operatorname{tg} \xi}$$

სადაც  $D_0$  არის გლინის დიამეტრი სარტყელში;

$f$  — გლინის დიამეტრი გამაპრიალებელ ნაწილში.

სხმულების განღრუვებისას ყველაზე გავრცელებულ სამართულეს გააჩნიათ სამი უბანი:  $l_1$ ,  $l_2$  და  $l_3$ . როგორც ცნობილია სამართულის ცხვირს ჩვეულებრივად ათავსებენ გლინის სარტყელის წინ  $\varepsilon = 30 \div 70$  მმ-ით. თუ გლინის ზომები ცნობილია მაშინ:

$$l_1 = a + \varepsilon + k,$$

აქ  $k$  — სარტყელის სიგანეა.

სამართულის ცილინდრული ნაწილის სიგრძე ( $l_2$ ) უნდა გადადიოდეს გამაპრიალებელი უბნის შუამდე მაინც, იმისათვის, რომ ადგილი არ ჰქონდეს მასრის უსამართლოდ რედუცირებას, რაც მავნელ მოქმედებს მის ხარისხზე.

$$l_2 = p + q + r + 0,5 s - a.$$

სამართულის ცილინდრული ნაწილის ბოლოს უნდა იყოს ე. წ. „უკუკონუსი“ იმისათვის, რომ გაადვილდეს მასრის მოხსნა სამართულიდან. ამ უბნის სიგრძეს იღებენ

$$l_3 = (0,1 \div 0,2) \delta_0.$$

ხოლო ამ უბნის მცირე დიამეტრი:

$$\delta_1 = (0,93 \div 0,97) \delta_0.$$

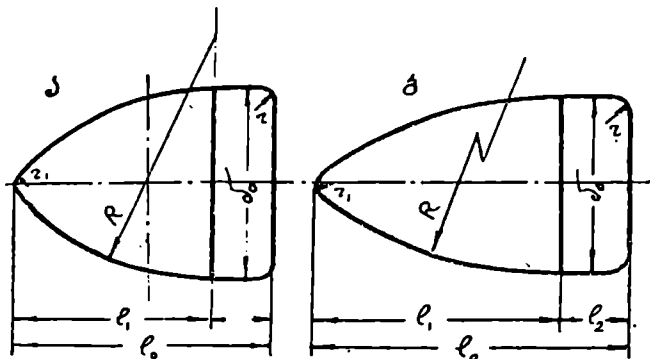
უკუკონუსის ზოგჯერ ცვლიან მომრგვალებით, რომლის რადიუსია:

$$r = 0,5 l_3.$$

სამართულის ცბერის მომრგვალების რადიუსი:

$$r_1 = 0,1 \delta_0.$$

ჩვეულებრივად პრაქტიკაში გამოიყენება რკალური პროფილის

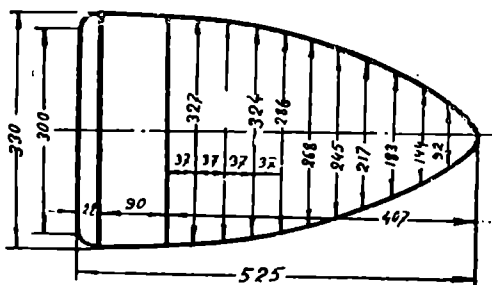


ნახ. 323. რკალური სამართული: ა—მოკლე; ბ—წაგრძელებული.

მკონე სამართულები (ნახ. 323), რომლის რადიუსსაც ანგარიშობენ ფორმულით

$$R = \frac{\delta^2 + 4(l_1 - r_1)^2}{4\delta_0}$$

სამართულის დანარჩენი ზომები აიღება კონსტრუქციულად.



ნახ. 324.

სამართულის შიგნით სიღრუე წონის შემცირების და სწრაფი გა-  
ციების მიზნით კეთდება.



გამოიყენება აგრეთვე სპეციალური ფორმის სამართლები, რომლის პროფილის მრუდის შემუშავებისას ხელმძღვანელობენ იმ მიზნით, რომ კერის გასწვრივ შეენარჩუნებინათ ლითონის გამოკიშვის თანაბარი განაწილება (ნახ. 324). უკანასკნელ დროს სხმულების განლრუვებისას იყენებენ აგრეთვე ცილინდრულ ცხვირიან სამართლებს.

### 3. პილიგრიმული დგანის გლინების დაკალიბრება

გლინების ძირითადი გაბარიტული ზომები, როგორც ყველა სხვა საგლინავ დგანების გლინებისა, განისაზღვრება ტექნოლოგიურ მოსაზრებიდან და სიმპტიკის—პირობიდან გამომდინარე. დგანის წარმადობის ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორი— მიწოდების სიდიდე—პირდაპირ პროპორციულია გლინების დიამეტრისა, მაგრამ კონსტრუქციული მოსაზრებანი (დგანის დიდი გაბარიტული ზომები და მიწოდებელი აპარატის დინამიურობა) ზღუდავენ გლინების დიამეტრის გაზრდის მისწრაფებას.

გლინის გაბარიტულ ზომებს განსაზღვრავენ პ. ტ. ემელიანენკოს მიერ მოცემული ფორმულებით:

$$D_i = 1,25 D_{\text{max}} + 550 \text{ მმ}, \quad (323)$$

სადაც  $D_i$  არის გლინის იდეალური დიამეტრი:

$D_{\text{max}}$  — გასაგლინ სორტამენტიდან უდიდესი მილის გარე დიამეტრი.

მხედველობაში ვიღებთ რა გლინების „ხტუნვას“ დგანის ნაწილების რხევების გამო, გლინის დიამეტრს ვიღებთ:

$$D_0 = D_{\text{ფაქ}} - D_r - W, \quad (324)$$

სადაც  $W$  არის გლინებს შორის ღრეჩო, რომელსაც იღებენ  $25 \div 30$  მმ.

კასრის სიგრძე:  $L_0 = 1,54 D_0 + 100$  მმ. (325)

გლინის ყელისა და ტრეფის ზომები იანგარიშება:

ყელის სიგრძე  $l = (0,6 \div 0,7) L_0,$

ყელის დიამეტრი  $d = (1,0 \div 0,9) l,$

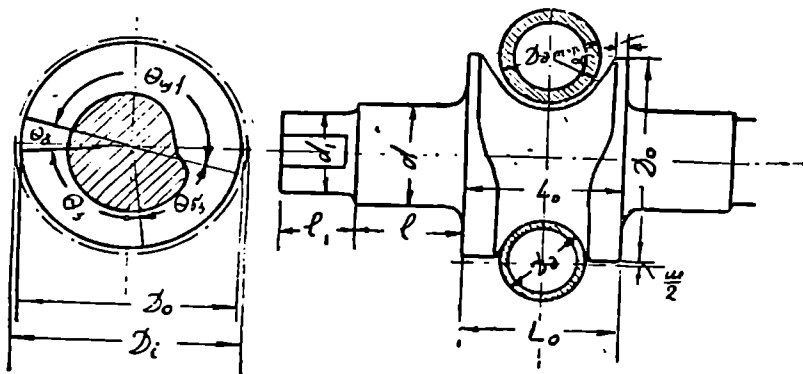
ტრეფის სიგრძე  $l_1 = (0,7 \div 0,8) l;$

ტრეფის დიამეტრი  $d_1 = 0,95 \cdot d.$

გლინის კალიბრი განივკვეთში შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან (ნახ. 325). I—მუშა ნაწილი. რომელზედაც წარმოებს ლითონის დეფორმაცია და II უქმი ნაწილი, რომელსაც შეესაბამება გლინის ღია „ხახა“. ღია „ხახის“ დროს წარმოებს მასრის. მოზრუნება  $90^{\circ}$ -ით და მისი მიწოდება.

კალიბრის მუშა ნაწილი შედგება სამი უბნისაგან:

1) წინა კონუსი, ანუ როგორც მას უწოდებენ „საცემი“, რომელსაც აქვს ცვლადი რადიუსი (შეესაბამება კუთხე— $\Theta_{\phi}$ );



ნახ. 325. პილიგრამული გლინის საერთო ხედი.

2) მაკალიბრებელი უბანი, ანუ „კალიბრი“, რომელშიც მილი ლებულობს საბოლოო ზომას (შეესაბამება კუთხე— $\Theta_{\beta}$ );

3) გამშვები უბანი, რომელშიც წარმოებს გლინისა და მილის ზედაპირების მდორედ დაცილება (კუთხე— $\Theta_{\gamma}$ ).

წარმადობის გაზრდის მიზნით სასურველია გვექონდეს მაკალიბრებელი უბნის რაც შეიძლება მეტი მნიშვნელობა, მაგრამ ამ მისწრაფებას ზღუდავს ის, რომ კუთხე— $\Theta_{\phi}$ . არ უნდა იყოს ნაკლები  $150-160^{\circ}$ -ზე, იმისათვის, რომ საკმარისი დრო ღარჩეს მასრის უკან დაბრუნებისათვის მატვეევისა და ვატკინის მონაცემებით:

$$\Theta_{\phi} + \Theta_{\beta} + \Theta_{\gamma} \leq 200 \div 210^{\circ}$$

$\Theta_{\phi}$ -ის ძალიან შემცირება გამოიწვევს ლითონის დაძაბულობის გაზრდას, რასაც მიყვევართ დეფექტების წარმოქმნამდე. აგრეთვე  $\Theta_{\beta}$ -ის ძალიან შემცირებაც გამოიწვევს მილის ზედაპირზე ე. წ. „ბურცობების“ წარმოქმნას ანუ წუნს.

პრაქტიკულ მონაცემებზე დაყრდნობით დადგენილია ამ კუთხე-  
თა შემდეგი ზღვრული მნიშვნელობანი:

$$\theta_{\alpha} = 60 \div 90^{\circ};$$

$$\theta_{\beta} = 90 \div 110^{\circ};$$

$$\theta_{\gamma} = 10 \div 20^{\circ}.$$

ემელიანენკო ამ კუთხეთა ჯამისათვის უფრო ფართო დიაპაზონს  
იძლევა:

$$\theta_{\alpha} + \theta_{\beta} + \theta_{\gamma} \leq 180 \div 220^{\circ}.$$

ზღვრული ჯამის დიდი მნიშვნელობანი შეესაბამება გაუმჯო-  
ბესებული კონსტრუქციის მიმწოდებელი აპარატის მქონე დგანს და  
შედარებით მცირე დიამეტრის გლინებს.

ყველაზე მნიშვნელოვან და რთულ საკითხს პილიგრიმდგა-  
ნის ინსტრუმენტის კალიბრებში წარმოადგენს გლინის წინა კონუ-  
სის ანუ „საცემის“ პროფილის დადგენა. ამ საკითხს მიძღვნილი  
აქვს მრავალი შრომა, რომელთაგანაც გამოირჩევა საბჭოთა მკვლევ-  
ვარების შრომები.

საზღვარგარეთელი მკვლევარები (გრალი, ლობკოვიცი, კოკსი,  
კლენი და სხვა) ძირითადად გამოდიან პილიგრიმული თავის პრო-  
ფილიდან, რომელსაც პარაბოლის სხვადასხვა განტოლებით გამო-  
სახავენ და შემდეგ გრაფიკულად აგებენ გლინის თხემის პროფილს.  
არ ითვალისწინებენ პლასტიკური დეფორმაციის და წარმოების  
სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პირობებს.

საბჭოთა მკვლევარების შრომებიდან განსაკუთრებით გამოირ-  
ჩევა პროფ. პ. ტ. ემელიანენკოს ფუნდამენტალური შრომები, რო-  
მელშიაც ავტორმა საცემის თხემის პროფილის ანგარიშის დროს  
მხედველობაში მიიღო არა რაიმე განყენებული მოსაზრებანი, არა-  
მედ დეფორმაციის რეალური პირობები. მის მიერ მოცემულ გან-  
ტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$r_x = (r_0 + h_0) - h_0 e, \quad (1+m)c \cdot \theta - \frac{m \cdot c}{\theta_{\alpha}^2} \theta^2 \quad (326)$$

(განტოლება მოცემულია პოლარულ კოორდინატებში)

სადაც  $r_x$  არის თხემის ცვლადი რადიუსი;

$r_0$  — თხემის საწყისი რადიუსი;

$h_0$  — მასრის კედლის სისქე;

მ—ცენტრალური ცვლადი კუთხე, რომელიც იცვლება 0-დან  $\Theta_{\Sigma}$ -მდე;

$\Theta_{\Sigma}$ —წინა კონუსის კუთხე, რად. ( $1_{\text{კაე}} = 57^{\circ} 71' 45''$ );

$$c\text{—ინტეგრირების კოეფიციენტი, ტოლია } c = \frac{1}{\Theta_{\Sigma}} \ln \frac{h_2}{h_0},$$

აქ  $h_2$  მზა მილის კედლის სისქეა;

$m$ —თხემის სიმრუდის განმსაზღვრელი კოეფიციენტი; რომელიც გამოითვლება:

$$m = \frac{r_0 \Theta_{\Sigma} \cdot f}{h_0 \ln \frac{h_0}{h_2}} - 1,$$

აქ  $f$ —ხახუნის კოეფიციენტი,

$r^{\circ}$ —მასრის ტემპერატურა.

გლინის მუშა კონუსის საწყის და საბოლოო რადიუსებს ანგარიშობენ დეფორმაციის ზონის გეომეტრიიდან:

$$r_0 = \frac{D_i}{2} - \rho - h_0,$$

$$r_n = r_0 + h_0 - h_a$$

სადაც  $h_a$ —მილის კედლის სისქეა პილიგრიმული დგანის შემდეგ-  
ცელიკოვმა და იროშნიკოვმა პილიგრიმული თავის-  
ფორმა განსაზღვრეს იმ პირობიდან, რომ დეფორმაციის კერის-  
ნებისმიერ კვეთში გამოკიშვა ტოლია იმ განსახილველი კვეთების  
ფართოა შეფარდებისა, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულ-  
ნი არიან ისე, რომ მათ შორის მოქცეული მოცულობა ტოლია  
მიწოდების მოცულობისა. ამ პირობიდან გამომდინარე ავტორებს  
გამოყავთ დამოკიდებულება:

$$F_x = \frac{F_0}{\frac{\ln \lambda}{s} \cdot x + 1}, \quad (327)$$

სადაც  $F_x$  არის პილიგრიმული თავის განიკვეთის ფართის მიმ-  
დინარე მნიშვნელობა;

$F_0$ —მასრის განიკვეთის საწყისი ფართი;

$\lambda$ —მოცემულ პილიგრიმულ ბიჯის დროს, განსახილველ-  
განიკვეთში გამოკიშვის კოეფიციენტი;

$s$ —მიწოდების სიდიდე.

$x$ —კოორდინატის მიმდინარე მნიშვნელობა.

მართალია აღნიშნულმა ავტორებმა კარგად გადასწყვიტეს დასმული ამოცანა, მაგრამ სამწუხაროდ არ მოგვეცეს ანგარიშის და საცემის თხემის მრუდის აგების მეთოდოლოგია. გარდა ამისა ფორმულის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ის გარემოება, რომ მასში შედის ძნელად განსასაზღვრავი ცვლადი პარამეტრები.

ტეტერინი იგივე შემთხვევისათვის გვაძლევს შემდეგ დამოკიდებულებას.

$$F_p = \frac{F_0}{(\lambda_0 - 1) \frac{x}{l} + 1}, \quad (328)$$

სადაც  $\lambda_0$  არის გამოჭიმვის საერთო კოეფიციენტი;

$l$  — პილიგრიმული თავის სიგრძე;

$x$  — კოორდინატის მიმდინარე მნიშვნელობა, რომელიც იცვლება 0-დან (პილგერთავის დასაწყისში)  $l$  მდე (მის ბოლოს);

$E_0$  — მასრის განივკვეთის ფართი.

შეტაცების პირობების დასაკმაყოფილებლად და სასურველი რეჟიმის შესანარჩუნებლად, ავტორი მოგვიწოდებს გლინის წინა საცემის თხემის პროფილი ავაგოთ რაც შეიძლება „მრუდი“ ხოლო გლინის მეორე ნაწილი ავაგოთ მოცემული მოჭიმვის რეჟიმის მიხედვით.

საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ დგანის ძირითადი მაჩვენებლების გაზრდის მხრივ უპირატესობა ეკუთვნის „წვეტიან“ კონუსებს, ხოლო უკეთესი შეტაცების პირობებს იძლევა „ბლაგვი“ კონუსი.

რაც შეეხება ბესკლუბენკოს, იაკოვლევის და როზენბაუმის შრომებს, ისინი ხასიათდებიან რიგი არსებითი ნაკლოვანებებით, რომელთა კრიტიკასაც შევხვდებით პროფ. პ. ტ. ემელანენკოს სხვადასხვა შრომებში.

საცემის თხემის პროფილის დადგენის შესახებ ყველაზე ახალ შრომად უნდა ჩაითვალოს დნეპროპეტროვსკის მიწების საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის გამოკვლევები.

აღნიშნული ინსტიტუტის (ВНИИ) მიერ 1949—1951 წლებში კუბიშიშევის სახ. მილსაგლინავ ქარხანაში ჩატარებული კვლევითი სამუშაოების თანახმად, პილიგრიმული გლინის საცემის თხემის რადიუსი გამოითვლება:

$$R_x = \frac{\left(L - \sqrt{\frac{F_0}{\pi} - r^2}\right) \left(\sqrt{\frac{F_0}{\pi} + r^2} + r\right)^{\frac{2(L+r)}{L}} \left(\sqrt{\frac{F_0}{\pi} + r^2} - r\right)^{\frac{2(L-r)}{L}}}{\frac{2\theta_x(L^2 - r^2) \ln \mu_\varepsilon}{L} \cdot \left(\sqrt{\frac{F_0}{\pi} - \frac{x}{c} + r^2} + r\right)^{\frac{2(L+r)}{L}} \cdot \left(\sqrt{\frac{F_0}{\pi} + r^2} - r\right)^{\frac{2(L-r)}{L}}} \quad (329)$$

სადაც  $R_x$  არის გლინის თხემის ცვლადი რადიუსი;

$L$ —გლინის ღერძებს შორის მანძილი;

$F_0$ —მასრის განივკვეთის ფართი;

$r$ —სამართულის (დორნის) რადიუსი;

$\theta_x$ —წინა კონუსის ცვლადი რადიუსი;

$\mu_\varepsilon$ —გამოქიმვის ჯამური კოეფიციენტი;

$l$ —დეფორმაციის კერის სიგრძე.

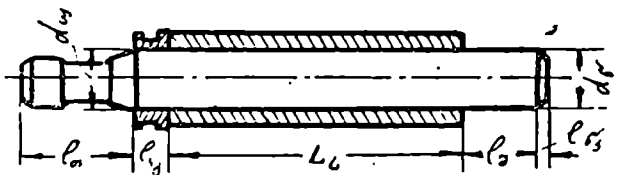
როგორც მოყვანილ გამოსახულებიდან ჩანს  $R_x$  წარმოადგენს წინა კონუსის კუთხისა და მასრისა და მილის განივკვეთის ფართობის ფუნქციას.

ამემად მილსაგლინავ ქარხნებში, სადაც პილგერდანადგარი არის, ძირითადად გამოიყენება პ. ტ. ემელიანენკოს და ВНИИ-ის მეთოდით დაკალიბრება.

გარდა ამისა ზოგიერთ ქარხნებში კვლავ შენარჩუნებულია ფირძული დაკალიბრება.

#### 4. პილიგრიშული დგანის სამართულის (დორნის) დაკალიბრება

იმისათვის, რომ შესაძლებელი იყოს გლინვის დამთავრების შემდეგ სამართულის გამოძრობა მილიდან მას ამზადებენ კონუსურს.



ნახ. 326.

(ნახ. 326). სამართულის დაკალიბრების დროს აუცილებელია განისაზღვროს სამი ძირითადი ზომა:

სამართულის წინა ნაწილის დიამეტრი  $d_3$ ;

სამართულის უკანა ნაწილის დიამეტრი  $d_0$ ;

სამართულის სიგრძე  $L_0$ .

სამართულის ანგარიშს იწყებენ მისი საშუალო დიამეტრის დადგენით, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს გლინვის თერმიული პირობიდან გამომდინარე (მატეევისა და ვატკინის მიხედვით):

$$d_{საშ}(1 + \alpha t_c) = d_2(1 + \alpha t_2), \quad (330)$$

სადაც  $t_c$  არის ღორნის ტემპერატურა, გრად;

$t_2$  — მილის ტემპერატურა, გრად;

$d_2$  — მილის შიგა დიამეტრი, მმ.

(330) გამოსახულებიდან

$$d_{საშ} = d_2 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_c}. \quad (331)$$

თუ მივიღებთ  $t_2 \approx 1000^\circ$  და  $t_c \approx 500^\circ$ , მაშინ

$$d_{საშ} = 1,005 d_2.$$

ღორნის კონუსურობას ჩვეულებრივად იღებენ  $1 \div 2$  მმ. დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება მცირე დიამეტრის ღორნას.

$$d_{\nabla} = d_{საშ} - (0,5 \div 1,0) \text{ მმ};$$

$$d_{\nabla} = d_{საშ} + (0,5 \div 1,0) \text{ მმ}.$$

სამართულის სიგრძის ( $L_s$ ) ანგარიშისას მხედველობაში იღებენ შემდეგ ზომებს: მასრის მაქსიმალურ სიგრძეს ( $L_{მას}$ ); სამართულის რგოლის სიგრძეს ( $L_{რგ}$ ); შეკეპებისათვის საჭირო ნაწილს ( $l_2$ ); წინა კონუსის სიგრძე ( $l_{\nabla}$ ) დაბოლოს, სამართულის თავის სიგრძეს ( $l_0$ ). საბოლოოდ:

$$L_s = L_{მას} + l_{რგ} + l_2 + l_{\nabla} + l_0$$

$l_2$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$l_2 = 1,2 \left[ \left( \frac{r_0 + r_n}{2} \right) \theta_{\nabla} + r_n \theta_j \right]. \quad (332)$$

სამართულის თავის დანიშნულებაა ჩამაგრება მიმწოდებელი აპარატის საკეტში, მისი სიგრძე და აკრთვე რგოლის ზომები აიღება კონსტრუქციულად.

წინა კონუსური ნაწილის სიგრძეს იღებენ  $30 \div 50$  მმ.

##### 5. მიღების ცხლად მაკალიბრებელი და გამასწორებელი ღვანების გლინების დაკალიბრება

მაკალიბრებელი ღვანის დანიშნულებას წარმოადგებს მილის გარე დიამეტრას დაზუსტება და მისი დაყვანა დასაშვებ ფარგ-

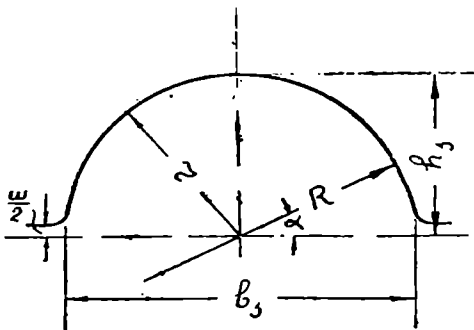
ლებში. ი. ი. ნიკოლაევსკის მონაცემებით მაკალიბრებელი დგანის გლინის (ნახ. 327) იდეალური დიამეტრი იანგარიშება:

$$D_i = D_{\text{max}} + (250 \div 300) \text{ მმ.} \quad (333)$$

გლინის კასრის სიგრძე:

$$L_0 = D_{\text{max}} + (100 \div 150) \text{ მმ} \quad (334)$$

ზუსტი პროფილის მისაღებად ჩვეულებრივ იყენებენ მრგვალ



ნახ. 327 დამაკალიბრებელი გლინის კალიბრის აგების სქემა.

კალიბრს გამშვებით. კალიბრის სიმაღლეს (ზის დიამეტრს) იღებენ კხელ მდგომარეობაში მილის დიამეტრის ტოლს, ე. ი.

$$2r = D_3 (1 + \alpha_1), \quad (335)$$

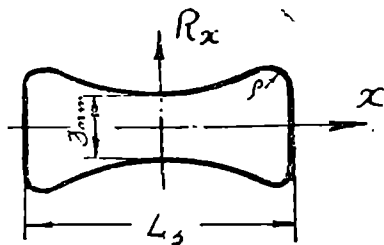
სადაც  $t_1$  არის კალიბრების ტემპერატურა ( $900-1000^\circ$ ),  $\alpha$ —თერმული გაფართოების კოეფიციენტი.

კალიბრის სიგანე იქნება:

$$b_j = D_3 (1 + \alpha_1) + \Delta D_j, \quad (336)$$

სადაც  $\Delta D_j$  არის მაკალიბრებელ დგანზე დიამეტრის მიხედვით ჯამური მოკიშვა მმ, იგი შეიძლება გამოითვალოს ემპირიული ფორმულით:

$$\Delta D_j = \frac{1000}{D_3} - 1,0 \text{ მმ,} \quad (337)$$



ნახ. 328. გლინი მილების ცხლად გასწორებისათვის.



გვეცოდინება რა კალიბრის სიმაღლე, მისი დიამეტრი და სივანე, გავიგებთ გაშვების კუთხეს:

$$\cos \alpha_0 = \frac{2r}{b_j},$$

ანუ

$$\alpha_0 = \arccos \frac{2r}{b_j}.$$

მაკალიბრებელი დგანის შემდეგ მიღები მიეწოდებიან ჰიპერბოლოიდალურ გლინებიან გამასწორებელ დგანს, სადაც წარმოებს მილის ოვეალურობის შემცირება. ამ დგანის გლინები განლაგებულნი არიან გლინეის ღერძის მიმართ დახრილად. ჰიპერბოლოიდური გლინის გაბარიტული ზომებია; მისი მინიმალური დიამეტრი ( $D_{\min}$ ) და კასრის სიგრძე ( $L_j$ ) (ნახ. 328), რომლებიც განისაზღვრებიან:

$$D_{\min} = D_{\max} + (100 \div 200) \text{ მმ} \quad (338)$$

$$L_k = (4,5 \div 6,0) D_{\min}. \quad (339)$$

გლინის პროფილის რადიუსს ანგარიშობენ პ. ტ. ემელიანენკოს ფორმულით:

$$R_z = 0,5 [V(D_{\min} + D_{\max})^2 + x^2 \sin^2 \alpha_{\min} - D_{\min}], \quad (340)$$

სადაც  $D_{\min}$  არის საგლინავ სორტამენტიდან მინიმალური მილის დიამეტრი, მმ;

$x$ —მანძილი გლინის ცენტრიდან, მმ;

$\alpha_{\min}$ —გლინების დახრის კუთხე მინიმალურ დიამეტრის გასწორებისას, გრად (ჩვეულებრივად იღებენ  $8-10^\circ$ ).

პროფილის მრუდი ტორსთან ულღდება რადიუსით:

$$\rho = (2 \div 3) D_{\max}. \quad (341)$$

ნებისმიერი დიამეტრის მქონე მილის გასწორებისას გლინების დახრის საჭირო კუთხეს ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$\sin \alpha = \sin \alpha_{\min} \sqrt{\frac{D_{\min} + D_0}{D_{\min} + D_{\min}}}. \quad (342)$$

## ლიტერატურა

1. Губкин С. И., Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947.
2. Павлов И. М., Теория прокатки, Металлургиздат, 1947.
3. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, том II, Томск, изд. „Красное знамя“, 1941.
4. Бахтинов Б. П. и Штернов М. М., Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
5. Смирнов В. С., Поперечная прокатка, Машгиз, 1948.
6. Чижигов Ю. М., Прокатное производство, Металлургиздат, 1952.
7. Тарновский И. Я., Формоизменение при пластической обработке металлов, Металлургиздат, 1954.
8. Тафель В., Прокатка и калибровка, ГТИ, 1930.
9. Целиков А. И., Прокатные станы, Металлургиздат, 1946.
10. Виноградов А. П. и Виноградов Г. А., Калибровка прокатных валков Металлургиздат, 1950.
11. Матвеев Ю. М. и Ваткин Я. Л., Калибровка валков и инструмента трубных станов, Металлургиздат, 1951.
12. Емельяненко П. Т., Теория кривой и пилигримовой прокатки, Металлургиздат, 1949.
13. Гуревич Д. Я., Основы прокатного производства, Металлургиздат, 1956.
14. Полухин П. И., Прокатка и калибровка двутавровых балок, Металлургиздат, 1956.
15. Павлов И. М., Галлай Я. С., Астахов И. Г., Руководство к учебному лабораторному практикуму по прокатке, Металлургиздат, 1957.
16. Материалы по теории практики, часть I и III, Металлургиздат, 1934.
17. Павлов И. М., Современные проблемы прокатки: „Проблемы металлургии“, изд. АН СССР, 1953.
18. Литовченко Н. В., Применение высоких обжатий на блюмингах, Металлургиздат, 1956.
19. Данилов Ф. А., Глейберг А. З., Балакин В. Г., Производство стальных труб горячей прокатки, Металлургиздат, 1954.
20. Королев А. А., Николаевский Г. М., Механическое оборудование прокатных цехов, Металлургиздат, 1953.

21. Ужик Г. В., Сопротивление отрыву и прочность металлов, изд. АН СССР, 1950.
22. Зибель Э., Обработка металлов в пластическом состоянии ОНТИ, Metallurgizdat, 1934.
23. Торка И. Ф Д И, 1888.
24. Фомичев И. А., Процесс прошивки в дисковом прошивном стане. спец. вып. Сталь № 12, 1940.
25. Фомичев И. А., Деформация металла в станах кривой вальцовки, Сталь № 11, 1936.
26. Гедеванншвили Г. К. и Оклей Л. Н., Механизм вскрытия полости при прошивке трубной заготовки, Труды Ин-та Металла и Горного дела АН ГССР, т. V, 1953.
27. Нозадзе А. Д., Кандидатская диссертация, 1955.
28. Жез Л., Калибровка валков, перев. с франц. Техника и производство, 1929.
29. Кирхберг Э., Калибровка прокатных валков, перев. с нем. Дomez, 1929.
30. Логинов Г. В., Законы калибровки черновых фасонных профилей, Труды МИС, сб. XVI, 1940.
31. Тарновский И. Я., О неравномерной деформации полосы при прокатке, Сталь № 5, 1941.
32. Гедеванншвили Г. К. и Нозадзе А. Д., Влияние ширины заготовки на истечение металла в разрезных калибрах, Труды Ин-та Metallургии АН СССР, т. X, 1960.
33. Соколов Л. Д., К вопросу о неравномерности деформации при прокатке, Сталь № 6, 1946.
34. Заруев В. М., К вопросу о неравномерной деформации, Сталь № 9, 1947.
35. Тягунов В. А., Рациональная калибровка листовых станов, Metallurgizdat, 1944.
36. Лисочкин А. Ф., Поперечная прокатка, Сталь № 6, 1946.
37. Дубровский И. В., Матлахов Д. И., Расположение оправки и образование плен на трубах, Сталь № 7, 1947.
38. Емельяненко П. Т., Пильгерстаны X, ОНТИ, 1937.
39. Обработка металлов давлением (сборник статей) II, III и IV выпуск.
40. Тарновский И. Я. и др. Деформация металла при прокатке. Metallurgizdat, 1956.
41. Павлов И. М., Равновесие сил при прокате с уширением, Сталь № 1, 1947.
42. Оклей Л. Н. и Ломсадзе Д. М., Исследование напряженно-деформированного состояния при боковой осадке цилиндра. Сообщения АН ГССР, т. XXII, № 3, 1959.
43. Ломсадзе Д. М., Исследование деформации при поперечной прокатке и ковке. Труды ГПИ им. Ленина, № 3 (64), 1959.
44. Оклей Л. Н., Ломсадзе Д. М., Деформации и напряжения при поперечной ковке. Известия вузов. Черная металлургия. № 3, 1960.

## შინაარსი

წინასიტყვაობა	3
შესავალ	5

### პირველი განყოფილება

#### ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის საფუძვლები (ლომსაძე ჯ. მ.)

<b>პ ი რ ვ ე ლ ი. ლითონების პლასტიკური დეფორმაციის არხი და ბუნება</b>	8
§ 1. ლითონთა აგებულება	8
§ 2. დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაცია	12
§ 3. მონოკრისტალის პლასტიკური დეფორმაცია	21
§ 4. პოლიკრისტალური სხეულების პლასტიკური დეფორმაცია	30
§ 5. ტემპერატურისა და დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა პოლიკრისტალური სხეულების პლასტიკურ დეფორმაციაზე	35
§ 6. პლასტიკური დეფორმაციის გავლენა ლითონის სტრუქტურაზე და თვისებებზე	45
<b>მ ა ვ ი მ ე რ ე. ძალოვანი პირობები ლითონების წნევით დამუშავების პროცესში</b>	50
§ 1. ძალა და ძაბვა	50
§ 2. მთავარი ძაბვები და მათი სქემები	53
§ 3. მთავარი დეფორმაციები და მათი სქემები	74
§ 4. გარეგანი ხახუნი	79
§ 5. დეფორმაციის პროცესში გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის ძირითადი მეთოდები	87
<b>მ ა ვ ი მ ე ს ა მ ე. პლასტიკური დეფორმაციის ძირითადი კანონები</b>	92
§ 1. მხები ძაბვების კანონი	92
§ 2. მოცულობის მუდმივობის კანონი	94
§ 3. დრეკადი დეფორმაციის თანაარსებობის კანონი	96
§ 4. მინიმალური წინააღმდეგობის კანონები	98
§ 5. დეფორმაციის მექანიკურ სქემისაგან სხეულის ფორმაცვლილების პოტენციალური ენერჯიის დამოუკიდებლობის კანონი	100
§ 6. მსგავსების კანონი	105
§ 7. დამატებითი ძაბვების კანონი	108

## ვეორე განყოფილება

### გლინვის თეორიის საფუძვლები (ნოზაძე ა. დ.)

თ ა ვ ი მ ე ო თ ხ ე . გლინვის პროცესის არსი	
§ 1. დეფორმაციის კერა და მისი პარამეტრები	111
§ 2. დეფორმაციის კერის ფორმის დახასიათება	113
§ 3. დეფორმაციის ძირითადი კოეფიციენტები და მათ შორის კავშირი	114
§ 4. დეფორმაციის ხაზობრივი და ფარდობითი სიდიდეები	116
§ 5. გადაადგილებული მოცულობა	117
§ 6. დეფორმაციის სიჩქარე	123
თ ა ვ ი მ ე ხ უ თ ე . გლინების მიერ ლითონის შეტაცება (ლომსაძე ჯ. მ.)	125
§ 1. გლინების მიერ ლითონის შეტაცებისას მოქმედი ძალები	125
§ 2. შეტაცების პირობები	126
§ 3. დამოკიდებულება შეტაცების კუთხესა, გლინების ღიაშებრსა და ხაზობრივ მოქიშვას შორის	130
§ 4. სხვადასხვა ფოქტორების გავლენა შეტაცების ზღვრულ პირობებზე	130
§ 5. ხახუნის კარბი ძალების შესახებ	135
თ ა ვ ი მ ე ე ქ ე ს ე . ლითონის გაფართოება გლინვის დროს (ნოზაძე ა. დ.)	140
§ 1. გაფართოების საკითხის შესწავლის მდგომარეობა და მისი პრაქტიკული მნიშვნელობა	140
§ 2. მოქიშვის გავლენა გაფართოებაზე	142
§ 3. გლინების ღიაშებრის გავლენა გაფართოებაზე	146
§ 4. ზოლის სიგანის გავლენა გაფართოებაზე	147
§ 5. გლინვის სიჩქარის გავლენა გაფართოებაზე	148
§ 6. ტემპერატურის გავლენა გაფართოებაზე	149
§ 7. გარეგანი ხახუნის კოეფიციენტის გავლენა გაფართოებაზე	150
§ 8. ლითონის შედგენილობის გავლენა გაფართოებაზე	151
§ 9. გატარებათა რიცხვის გავლენა გაფართოებაზე	152
§ 10. გაფართოების განაწილება ზოლის სიგანეზე	152
§ 11. გაფართოების სქემა ი. მ. პავლოვის მიხედვით	155
თ ა ვ ი მ ე შ ე ი დ ე . ლითონის წინსწრება და ჩამორჩენა გლინვის დროს (ნოზაძე ა. დ.)	156
§ 1. მოვლენის არსი	156
§ 2. წინსწრების და ჩამორჩენის საანგარიშო ფორმულები	159
§ 3. კრიტიკული კვეთის მდებარეობის განსაზღვრა გაფართოების გათვალისწინებით	163
§ 4. მიკერის ზონა	164
§ 5. სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა წინსწრებაზე	168
თ ა ვ ი მ ე რ ვ ე . ლითონის წნევა გლინებზე (ლომსაძე ჯ. მ.)	171
§ 1. ლითონსა და გლინებს შორის საკონტაქტო ფართის განსაზღვრა	171
§ 2. კუთრი წნევა	176
§ 3. გლინვის პროცესში კუთრი წნევის განაწილება შეტაცების რკალზე	182

§ 4. კუთრი წნევის განაწილების ექსპერიმენტული გამოკვლევა	192
§ 5. გლინვის პროცესში ლითონის საშუალო კუთრი წნევა	193
§ 6. გლინებზე ლითონის წნევის განმსაზღვრელი ხელსაწყოები	197
§ 7. გლინებზე ლითონის დასაშვები წნევა	202
<b>თ ა ვ ი მ ე ე ს რ ე. ენერგიის ხარჯი გლინვის დროს (ლომსაძე ჯ. მ.)</b>	<b>205</b>
§ 1. დეფორმაციის მუშაობა	205
§ 2. მუშაობის ხარჯის განსაზღვრა ცდის მონაცემის მიხედვით	209
§ 3. გლინვისათვის საპირო მომენტები	210
§ 4. გლინვის მომენტის განსაზღვრა გლინებზე წნევის მიხედვით	212
§ 5. გლინვის მომენტის განსაზღვრა მუშაობის ხარჯის მიხედვით	214
§ 6. სტატიკური დატვირთვის დიაგრამები	214
§ 7. მქნევარას გავლენა ამძრავის დატვირთვაზე	215
§ 8. ამძრავის დატვირთვა მუშაობის რევერსიული რეჟიმის დროს	220
§ 9. გლინვის მაქსიმალური მომენტის განსაზღვრა ამძრავის მიხედვით	222
<b>თ ა ვ ი მ ე ა თ ე დეფორმაციის უთანაბრობა გლინვის დროს (ნოზაძე ა. დ.)</b>	<b>223</b>
<b>თ ა ვ ი მ ე თ ე რ თ მ ე ტ ე. მიღების გლინვის თეორიის საფუძვლები (ლომსაძე ჯ. მ.)</b>	<b>227</b>
§ 1. განივი და ირიბი გლინვა	227
§ 2. სიღრუვის წარმოქმნის ზოგიერთი თეორიების მოკლე მიმოხილვა	227
§ 3. განღრუების პროცესის კინემატიკა	239
§ 4. ლითონის წნევა გლინებზე	242
§ 5. ღრუ სხეულის ანუ მასრის მრგვალ კალიბრში გლინვის თეორიის ძირითადი საკითხები	247

## მისამხე განყოფილება

### გლინების დაკალიბრება

<b>თ ა ვ ი მ ე თ ო რ მ ე ტ ე. გლინების დაკალიბრების საფუძვლები (ნოზაძე ა. დ.)</b>	<b>259</b>
§ 1. კალიბრების დანიშნულება	259
§ 2. კალიბრის სახეები	260
§ 3. გლინებშიორისი ღრეჩო და კალიბრის დახრილობა	265
§ 4. კალიბრის ნეიტრალური ხაზი	268
§ 5. კალიბრის მომრგვალების რადიუსები	269
§ 6. ზედა და ქვედა წნევა	270
§ 7. კალიბრების განაწილება გლინებზე	272
§ 8. გლინების მუშა დიამეტრი	273
§ 9. კალიბრების გამოხაზვის წესი გლინებში	275
§ 10. მოკიშვა კალიბრებში და მათი განაწილება გატარებათა მიხედვით	275
§ 11. პირდაპირი და გვერდითი მოკიშვა	283
§ 12. დეფორმაციის კერძო და საერთო კოეფიციენტები	284
§ 13. გაფართოება კალიბრებში	286

§ 14. სასუფთაო კალიბრების ზომების დადგენა	290
§ 15. დაშვებები გლინვის დროს	291
§ 16. სხმულების ფორმა და ზომები	292
<b>თ ა ე ი მ ე ე ა მ ე ტ ე . ნახევარპროდუქციის საგლინავი დგანების გლი-</b>	
<b>ნების დაკალიბრება (ნ ო ზ ა ძ ე ა. დ.)</b>	<b>295</b>
§ 1. ბლუმინგის გლინებების დაკალიბრება	295
§ 2. მომჭიმავი ტრიო-დგანების მოსამზადებელი ვალების გლინების დაკალიბრება	<b>313</b>
§ 3. უწყვეტი მოსამზადებელი გლინების დაკალიბრება	330
<b>თ ა ე ი მ ე თ ო თ ხ მ ე ტ ე . შუა პროდუქციის საგლინავი დგანების გლი-</b>	
<b>ნების დაკალიბრება (ნ ო ზ ა ძ ე ა. დ.)</b>	<b>335</b>
§ 1. მარტევი პროფილების დაკალიბრება	335
§ 2. ფასონური პროფილების დაკალიბრება	351
§ 3. ფურცლების დაკალიბრება	383
<b>თ ა ე ი მ ე თ ხ უ თ მ ე ტ ე . ძირითადი მილსაგლინავი დანადგარების ინს-</b>	
<b>ტრუმენტის დაკალიბრება (ლ ო მ ს ა ძ ე ჯ. მ.)</b>	<b>389</b>
§ 1. ავტომატდგანიანი დანადგარის ინსტრუმენტის დაკალიბრება	390
§ 2. დანადგარის ინსტრუმენტის დაკალიბრება პილიგრიმული დგანით	411