

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ალექსანდრე შერმაზანაშვილი

„დერძსიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის
ზედაპირის პლასტიკური ფორმირების პროცესის კვლევა და
სრულყოფა“

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0412

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2021 წელი

საავტორო უფლება © 2021 ალექსანდრე შერმაზანაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ალექსანდრე შერმაზანაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ღერმსიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის ზედაპირის პლასტიკური ფორმირების პროცესის კვლევა და სრულყოფა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტალურგიის და ქიმიური ტექნოლოგიის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ 2021

ხელმძღვანელი, ასოც. პროფ. :

ს. მებონია

რეცენზენტი : _____

რეცენზენტი : _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ალექსანდრე შერმაზანაშვილი

დასახელება: „დერმსიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის
ზედაპირის პლასტიკური ფორმირების პროცესის კვლევა და
სრულყოფა“

ფაკულტეტი : ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის

სადოქტორო პროგრამა: მასალათმცოდნეობა

ხარისხი: ინჟინერიის დოქტორი მასალათმცოდნეობაში

სხდომა ჩატარდა: „ ___ „ _____ 2021 წ

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

რადიალურ-მომჭიმავ დანადგარებზე ნამზადების დამუშავების პროცესები ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში და მეტალურგიაში. რადიალური ჭედვა უზრუნველყოფს ლითონურ ნაკეთობათა მაღალ სიზუსტეს და ძვირადღირებული ლითონების ეკონომიას. რადიალური ჭედვა გამოიყენება მანქანათმშენებლობის ისეთ დარგებში, როგორცაა ავტოტრაქტორთმშენებლობა, გემთმშენებლობა, თვითმფრინავმშენებლობა და მრავალი სხვა. რადიალური ჭედვით ხდება ისეთი დეტალების მიღება, როგორცაა რთული ფორმის ლილვები და ღერძები, შლიციანი მილისები, ასევე ცაცხლსასროლი იარაღის ლულები.

რადიალური ჭედვის მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის პრაქტიკულად უდანაკარგოდ გამოყენებას, ტექნოლოგიური პროცესის სრულ მექანიზაციას და ავტომატიზაციას, შრომატევადობის შემცირებას. ამასთან, რადიალური ჭედვით მიღებულ ნაკეთობებს ახასიათებს ზომების მაღალი სიზუსტე (მე-II, მე-III კლასი) და ზედაპირის მაღალი ხარისხი (მე-IX, მე-X კლასი). გარდა ამისა, რადიალური ჭედვა აუმჯობესებს ლითონის სტრუქტურას და მექანიკურ თვისებებს.

სამეცნიერო ტექნიკური ლიტერატურის და პატენტების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგია და მოწყობილობები მოითხოვს შემდგომ სრულყოფას და მათი გაუმჯობესება ძალზე აქტუალურია.

ლიტერატურის მიმოხილვაში მოყვანილია რადიალურ ჭედვასთან დაკავშირებული ნაშრომების ანალიზი, განხილულია როგორც უცხოელი, ასევე ქართველი მეცნიერების ნაშრომები, რომლებიც ეხება რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიას და მოწყობილობებს.

აქვე შესრულებულია ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის, მათ შორის სპირალური შლიცების ფორმირების არსებული პროცესების ანალიზი და დადგენილია მათი ნაკლოვანებები. განხილულია ხრახნულ-შლიციანი დეტალების მიღება ლითონსაჭრელ ჩარხებზე, მათ შორის ცაცხლსასროლი იარაღის ლულების, შიგა კუთხვილიანი დეტალების მიღება გამოწნევის მეთოდით და რადიალური ჭედვით. დადგენილია, რომ ჭრით დამუშავებით სპირალური შლიცების მიღება მიღების შიგა ზედაპირზე მოითხოვს სპეციალური საწელავი ჩარხების და ძვირად-ღირებული ინსტრუმენტის გამოყენებას და დაკავშირებულია ლითონის მნიშვნელოვან დანაკარგებთან ბურბუშელაზე. ამიტომ რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის, კერძოდ, შიგა კუთხვილიანი დეტალების მიღების ყველაზე პროგრესული მეთოდია ჭედვა რადიალურ-საჭედ მანქანებზე.

დისერტაციის მეორე ნაწილი წარმოდგენილია რამოდენიმე პარაგრაფით. ესენია: „ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალების ანგარიშის მეთოდიკა“, „რადიალური მოჭიმვის ძალების და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა“, „ღერძსიმეტრიული

დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება“, „რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციების შემუშავება“, „აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის შემუშავება.“

ამ ნაწილის პირველ პარაგრაფში შემოთავაზებულია ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალების ანგარიშის მეთოდიკა. მოცემულია ლითონსა და მადეფორმირებელ ინსტრუმენტს შორის საკონტაქტო ზედაპირის სიგანის, დიამეტრის შემცირების და კედლის სისქის მოჭიმვის ზონებში მოქმედი საკონტაქტო წნევების საანგარიშო ფორმულები.

დისერტაციაში შესრულებულია რადიალური მოჭიმვის პროცესში ძალებისა და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა. სპეციალურ ექსპერიმენტულ მოწყობილობაზე საცდელი წნეხის გამოყენებით რადიალური მოჭიმვის სხვადასხვა რეჟიმებზე გაზომილია ცილინდრულ ნიმუშზე მოქმედი ძალები.

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გამოყენებით მიღებულია ფორმულები, რომელთა მეშვეობით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ რადიალური მოჭიმვის ძალები სხვადასხვა ზომის ნიმუშისათვის დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე. ცდების შედეგებზე დაყრდნობით აგებულია მოქმედი ძალის გრაფიკები, რომელთა ანალიზი გვიჩვენებს დეფორმაციის კერაში მოჭიმვის ძალის ცვლილების ხასიათს.

საკოორდინატო ბადის მეთოდის საშუალებით შესრულებულია რადიალური მოჭიმვის პროცესში ლითონის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევა, რის შედეგად დადგინდა, რომ დეფორმაციის პროცესში რადიალური და ღერძული ძაბვების მნიშვნელობები თითქმის ერთმანეთის ტოლია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ლითონი ამ უბანზე იმყოფება „სუფთა ძვრისადმი“ მიახლოებულ დამაბულ მდგომარეობაში, სადაც პლასტიკური დეფორმაცია ინტესიურად მიმდინარეობს.

შესრულებულია დეფორმირებული ნიმუშების მეტალოგრაფიული გამოკვლევები. მიკროსტრუქტურული ანალიზი ჩატარდა მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპ “Neophot-32”-ზე და დადგინდა, რომ რადიალურ მოჭიმვის დროს ადგილი აქვს ლითონის მიკროსტრუქტურის მნიშვნელოვან ცვლილებას.

ამ განყოფილებაში შესწავლილია ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგიური პროცესი, ტექნოლოგიური პარამეტრების და აღჭურვილობის გათვლის მეთოდი.

რადიალურ ჭედვის პროცესის ნორმალური რეჟიმების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია მოქმედი დინამიკური ფაქტორების ზუსტი მნიშვნელობების განსაზღვრა. ამასთან დაკავშირებით დისერტაციაში შესრულებულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის ამძრავის დინამიკური დატვირთვების კვლევა, შედგენილია მანქანის ეკვივალენტური სქემა და დიფერენციალური განტოლებები. დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ჩაწერილია დრეკადი ძალების მომენტების მეშვეობით, რის შემდეგ მიღებულია მისი ამონახსნები, რომელთა ანალიზიდან დადგენილია რადიალურ-საჭედი მანქანის ამძრავის ტრანსმისიაში მოქმედი დრეკადი

ძალების მომენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობის მიღწევის პირობები.

დინამიკური ანალიზის საფუძველზე ასევე დადგენილია მანქანის ამძრავში რეზონანსული რეჟიმების აცილებების პირობები.

სადისერტაციო ნაშრომში არსებული რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზის საფუძველზე შექმნილია სრულყოფილი მოწყობილობა - ოთხსაცემელებიანი სამჭედლო ბლოკი, რომლის ასამოქმედებლად შესაძლებელია ექსცენტრულ-ბარბაცა ან ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენება, რაც საგრძნობლად ამარტივებს სპირა-ლური ღარების მიღების პროცესს მილის შიგა ზედაპირზე.

შემუშავებულია ასევე აირჰიდრავლიკური საჭედი მანქანა, რაზედაც საქპატენტის მიერ გაცემულია პატენტი №P 7153 B (10.12.2020), გ.ბ. №10, 2020. ანალოგებიდან განსხვავებით აირ-ჰიდრავლიკურ საჭედ მანქანაში ნამზადის ჭედვის პროცესის ინტენსივობა და მწარმოებლობა მომატებულია.

დისერტაციაში შემუშავებულია აირ-ჰიდრავლიკური რადიალურ-საჭედი მანქანის პარამეტრების ანგარიშის მეთოდოლოგია, რომლის გამოყენებით შესაძლებელია ვიანგარიშოთ მანქანის პარამეტრები - რესივერში ჰაერის საწყისი და საბოლოო წნევა, ჰაერის საერთო მოცულობა აკუმულატორში, ჰიდროსისტემის ტუმბოს მიწოდება, სიმძლავრე ტუმბოს როტორზე. სადისერტაციო ნაშრომის დასკვნაში გადმოცემულია მიღებული შედეგები.

Abstract

The thesis work – “Research and improvement of the process of plastic shaping of a complex surface configuration of axisymmetric products” dedicated to the investigation of radial-forging process of axisymmetric products with complex configuration of the surface.

Axisymmetric parts, with a complex shape of the inner surface, are widely used in mechanical engineering and metallurgy; for example, pipes with internal steps and an internal conical profile, pipes with large splines or internal cutting. In the production of weapons, there is a great demand for forged tubes, which have spiral rifling on the inner surface. The production of such parts on metal-cutting machines is a time-consuming and expensive process, since cutting is characterized by a low value of the metal utilization factor, which is associated with large metal losses.

The above-mentioned parts can be obtained without much loss by pressure metalworking methods, of which radial forging is particularly effective. This method provides practically rational use of metal, complete mechanization and automation of the technological process, reducing the labor intensity of manufacturing the product. At the same time, the products obtained by radial forging are characterized by high dimensional accuracy (2nd, 3rd class) and high surface quality (9th, 10th class). In addition, radial forging improves the structure and mechanical properties of the metal.

Despite of the conspicuous achievements in this field, according to the scientific technical and patent literature review, the radial forging technology and constructions of its appliances require further improvement and is extremely important task, which leads to the actuality of this thesis.

In literary review, the analysis of the existing processes of forming a complex configuration of the internal surface of axis symmetric products, including spiral slots, is carried out, their positive and negative sides are established. The production of parts with screw slots, including firearms barrels, on metal-cutting machines, as well as by methods of plastic extrusion and radial compression is considered. It is established that the cutting of spiral grooves on the inner surface of pipes requires screw drawing machines, special and expensive tools and is associated with significant losses of metal on chips. Therefore, the most advanced method of obtaining a complex configuration of the inner surface of parts with spiral cutting is radial forging.

The second part of the dissertation is presented in several paragraphs. These include: "A method of determining the forces acting in the process of radial forging of axisymmetric products is proposed", "Experimental study of forces and stresses of radial compression", "Development of the technological process of radial forging of axis symmetric products", "Development of new designs of radial forging machines", "Development of gas-hydraulic radial forging machine".

The thesis includes a method of determining the forces acting in the process of radial forging of axisymmetric products. The calculation formulas for the width of the contact surface between the metal and the deforming tool, as well as the contact

pressures acting in the zones of reduction of the diameter and wall thickness of the workpiece are given.

An experimental study of forces and stresses of radial-forging process on a special experimental device was performed. A formula for analytical calculating the radial forging force by mathematical modeling method was received.

Using the coordinate grid method, the stress - strain state of the metal in the process of radial compression was studied, which showed that the values of the radial and axial stresses are almost equal in the process of deformation. This indicates that the metal in this zone is in a very close to the state of net shift deformation, where plastic deformation develops intensively.

Metallographic studies of deformed samples were carried out. Microstructural analysis was performed using a Neofot-32 metallographic microscope. As a result, it was found that during radial compression, significant changes occur in the structure of the metal.

To ensure the normal operation of the radial forging process, it is very important to accurately determine the values of dynamic factors.

In this regard, in dissertation the dynamic loads of the drive of the radial forging machine are studied, its equivalent scheme and differential equations are compiled. The system of differential equations is written in terms of the moments of elastic forces, after which its solutions are obtained. From the analysis of the solutions, the conditions for achieving the maximum values of the moments of elastic forces in the transmission of the drive of the radial forging machine are obtained.

Based on the dynamic analysis, it is also established that the resonant modes existing in the drive of the radial forging machine must be eliminated by changing the natural frequency of the system. This can be implemented by the designer by changing the structural scheme of the mechanism or by choosing the correct elastic-mass parameters of the system at the initial stage of designing the machine.

Based on analysis of modern radial-forging machines, a new type of radial crimping device was developed – a four-punch forging block. For its drive, it is possible to use an eccentric connecting rod or hydraulic press, the use of which will greatly simplify the process of manufacturing spiral grooves or splines on the inner surface of the tubes.

A new gas-hydraulic radial-forging machine (patent №P 7153 B - 10.12.2020, B.I. №10, 2020) is elaborated.

In the dissertation a method for calculating the main parameters for a gas-hydraulic radial forging machine is developed. This method can be used to calculate the parameters of the machine, including the initial air pressure in the receiver, the air pressure in the receiver after expansion, the total volume of air in the battery, the pump supply of the hydraulic system, the pumping power of the pump rotor.

In the conclusion the obtained results are given.

შინაარსი

შესავალი	11
1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	19
1.1. ლითონების ჭრით დამუშავების პროცესები	20
1.2. შიგა კუთხვილიანი დეტალების მიღება გამოწნევით	25
1.3. რთული ფორმის დეტალების რადიალური ჭედვის პროცესები	27
2. შედეგები და მათი განსჯა.....	35
2.1. ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალების ანგარიშის მეთოდთა	35
2.2. რადიალური მოჭიმვის ძალების და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა.....	44
2.2.1. ძალების გამზომი ხელსაწყოები	44
2.2.2. ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდთა	48
2.2.3. რადიალური მოჭიმვის პრიცესში მოქმედი ძალების კვლევა.....	51
2.2.4. ძაბვების კვლევა ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით	56
2.2.5. რადიალური მოჭიმვის გავლენა ლითონის მიკროსტრუქტურაზე...	62
2.3. რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება	69
2.4. რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციების შემუშავება..	75
2.4.1. მომჭიმავი მანქანების კინემატიკური სქემების ანალიზი	75
2.4.2. რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკური პარამეტრების თეორიული კვლევა	85
2.4.3. ოთხსაცემელიანი სამჭედლო ბლოკის კონსტრუქციის შემუშავება....	101
2.5. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის შემუშავება	104
2.5.1. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის კონსტრუქცია	104
2.5.2. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის ანგარიშის მეთოდთა	107
დასკვნა.....	114
გამოყენებული ლიტერატურა.....	116

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. დინამომეტრის ДОСМ 3 -5 ტექნიკური მახასიათებლები.....	50
ცხრილი 2. ექსპერიმენტის შედეგები.....	52
ცხრილი 3. ექსპერიმენტის პირველი ეტაპის ($\alpha = 4^{\circ}30'$) გეგმა ПФЭ 2 ²	53
ცხრილი 4. ექსპერიმენტის მეორე ეტაპის ($\alpha = 8^{\circ}$) გეგმა ПФЭ 2 ²	54
ცხრილი 5. ელემენტის დეფორმაციები – ნამზადი D20.....	58
ცხრილი 6. ელემენტის დეფორმაციები – ნამზადი D24.....	58
ცხრილი 7. მთავარი დეფორმაციები და ძაბვები - ნამზადი D20.....	61
ცხრილი 8. მთავარი დეფორმაციები და ძაბვები - ნამზადი D24.....	61
ცხრილი 9. ნიმუშების ქიმიური შემადგენლობა.....	65
ცხრილი 10. ნიმუშების მიკროსისალე.....	69

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. პროცესების კლასიფიკაცია.....	19
ნახაზი 2. სპირალური შლიცების მიღება.....	20
ნახაზი 3. გამოწევა სპეციალური სამარჯვით.....	22
ნახაზი 4. კავიანი შპალერი.....	23
ნახაზი 5. რვა-საჭრისიანი თავის კონსტრუქცია.....	25
ნახაზი 6. პუანსონების ფოტოსურათები.....	26
ნახაზი 7. პუანსონის კონსტრუქცია.....	26
ნახაზი 8. ლულის კუთხვილის გამოწევის პროცესის სქემა.....	26
ნახაზი 9. რადიალური ჭედვის სქემა.....	28
ნახაზი 10. რადიალური ჭედვის ინსტრუმენტი	28
ნახაზი 11. რადიალური ჭედვით მიღებული დეტალები.....	28
ნახაზი 12. ძალთა მოქმედების სქემა რადიალური მოჭიმვის დროს.....	36
ნახაზი 13. ნამზადის ზომები ჭედვის შემდეგ (ა) და ჭედვამდე (ბ).....	37
ნახაზი 14. დეფორმაციის კერის სქემა.....	38
ნახაზი 15. სქემა საკონტაქტო ზედაპირის სიგრძის განსაზღვრისთვის.....	39
ნახაზი 16. ნამზადის ერთეული მოჭიმვის საანგარიშო სქემა.....	39
ნახაზი 17. საშუალო საკონტაქტო წნევის განსაზღვრის სქემა.....	40
ნახაზი 18. ხვედრით წნევების განსაზღვრის დიაგრამა.....	41
ნახაზი 19. მოჭიმვის ძალების საანგარიშო სქემა.....	43
ნახაზი 20. ტორსიონის ტიპის ძალის გამზომით აღჭურვილი წნეხი.....	45
ნახაზი 21. ჰიდრავლიკური მესდოზა.....	46
ნახაზი 22. მავთულგადამწოდიანი მესდოზა.....	46
ნახაზი 23. დინამომეტრი 30 კნ დატვირთვაზე.....	47
ნახაზი 24. უნივერსალური ელექტრონული დინამომეტრი ДМУ-Н/Т-КМГ4.....	48
ნახაზი 25. ძალის გადამწოდი.....	48
ნახაზი 26. მოწყობილობა რადიალური მოჭიმვისათვის.....	49
ნახაზი 27. წნეხი MC – 500 (პოზ. 1) და რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა (პოზ. 2).....	50
ნახაზი 28. ძალის გამზომი.....	51

ნახაზი 29. მოჭიმვის ძალის გრაფიკები.....	52
ნახაზი 30. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი: $P = f(d_0, \Delta d)$, როცა $\alpha = 4^{\circ}30'$	55
ნახაზი 31. მოჭიმვის ძალების გრაფიკი: $P = f(d_0, \Delta d)$, როცა $\alpha = 8^{\circ}$	56
ნახაზი 32. საცდელი ნიმუშები	57
ნახაზი 33. ნიმუშები დეფორმაციის შემდეგ	57
ნახაზი 34. ნიმუშის განივკვეთებში მოქმედი ძაბვების გრაფიკები.....	61
ნახაზი 35. სიმტკიცის და პლასტიკურობის ცვლა დეფორმაციის ხარისხის მიხედვით.....	62
ნახაზი 36. მარვლის ფორმის ცვლილება პლასტიკური დეფორმაციის დროს.....	63
ნახაზი 37. ექსპერიმენტული დანადგარი.....	63
ნახაზი 38. საცდელი ნიმუშები.....	64
ნახაზი 39. დეფორმირებული ნიმუშები.....	64
ნახაზი 40. ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი „Q8 Magellan”.....	65
ნახაზი 41. მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპი “Neophot-32”.....	66
ნახაზი 42. ტემპლეტები მიკროშლიფებისათვის.....	66
ნახაზი 43. ნიმუში 1 - ალუმინი A6, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,28$ მმ.....	67
ნახაზი 44. ნიმუში 2 - ალუმინი A6, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,42$ მმ.....	67
ნახაზი 45. ნიმუში 3 - დურალუმინი 16, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,28$ მმ.....	67
ნახაზი 46. მიკროსკოპი “ПМТ-3”.....	68
ნახაზი 47. ნამზადის მიწოდების ზღვრული სიდიდის გრაფიკები.....	70
ნახაზი 48. საცემელის ღარის სიგანის საანგარიშო სქემა.....	73
ნახაზი 49. საცემელის მუშა ნახაზი.....	74
ნახაზი 50. სამართულის მუშა ნახაზი.....	75
ნახაზი 51. როტაციული და რადიალურ-საჭედ მანქანების კლასიფიკაცია.....	76
ნახაზი 52. რგოლური როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა.....	76
ნახაზი 53. დოლიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა.....	77
ნახაზი 54. შპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა.....	78
ნახაზი 55. ორშპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა.....	79

ნახაზი 56. გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა.....	79
ნახაზი 57. ბერკეტული მანქანის სქემა.....	80
ნახაზი 58. „Kiesilring“-ის რადიალურ-საჭედი მანქანა.....	81
ნახაზი 59. ფირმა „Kiesilring“-ის რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა.....	82
ნახაზი 60. ბარბაციანი მანქანა.....	83
ნახაზი 61. ექსცენტრულ-კულისა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა.....	83
ნახაზი 62. ექსცენტრულ-ბარბაცა რადიალურ-საჭედი მანქანის კინემატიკური სქემა.....	87
ნახაზი 63. მანქანის დინამიკური მოდელი.....	88
ნახაზი 64. დრეკადი ლილვის სიხისტის განსაზღვრის სქემა.....	89
ნახაზი 65. რადიალურ-საჭედი მანქანის ამძრავი.....	94
ნახაზი 66. ექსცენტრული ლილვის კუთხური გზის განსაზღვრის სქემა.....	98
ნახაზი 67. წამყვანი შკივი.....	99
ნახაზი 68. შკივ-მქნევარა.....	100
ნახაზი 69. ოთხსაცემელიანი სამჭედლო ბლოკის საამკრეფო ნახაზი -გრძივი ჭრილი.....	102
ნახაზი 70. სამჭედლო ბლოკის საამკრეფო ნახაზი -განივი ჭრილი.....	103
ნახაზი 71. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის სქემა.....	105
ნახაზი 72. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის სამჭედლო ბლოკის სქემა.....	107
ნახაზი 73. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის ჰიდროსისტემის სქემა...	110
ნახაზი 74. რადიალურ-დგუშიანი ტუმბო.....	110
ნახაზი 75. დგუშიანი ჰაერ-ჰიდრავლიკური აკუმულატორი.....	112

მადლიერება

მადლობა მინდა მოვახსენო ხელმძღვანელს სლავა მეზონიას, ფაკულტეტის დეკანს, პროფესორ ნუგზარ წერეთელს, მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის ადმინისტრაციას და თანამშრომლებს, რომლებმაც ხელი შემიწყეს სადისერტაციო ნაშრომის მომზადებაში.

მადლობელი ვარ მეტალურგიის ინსტიტუტოს თანამშრომლების მიერ, რომლებმაც თავს ხელსაწყობის საშუალებით მომეხმარენ საექსპერემენტო ნიმუშების გამოყვლევაში და შედეგების ახსნაში.

შესავალი

თემის აქტუალობა. მანქანათმშენებლობაში და მეტალურგიაში ფართოდ გამოიყენება ღერძსიმეტრიული დეტალები, რომელთა შიგა ზედაპირს აქვს რთული ფორმა; მაგალითად, მილისები შიგა საფეხურებით და შიგა კონუსური პროფილით, შლიცებიანი ან დაკუთხვილი მილისები. საიარალო წარმოებაში დიდია მოთხოვნა ნაჭედ მილებზე, რომლებსაც შიგა ზედაპირზე აქვს სპირალური დაკუთხვა.

ასეთი დეტალების დამზადება ლითონსაჭრელ ჩარხებზე შრომატევადი და ძვირადღირებული პროცესია, ვინიდან ჭრით დამუშავებას ახასიათებს ლითონის გამოყენების კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობა, რაც დაკავშირებულია ლითონის დიდ დანაკარგებთან.

აღნიშნული დეტალების უდანაკარგოდ მიღება შესაძლებელია ლითონების ლითონების წნევით დამუშავების მეთოდებით, რისთვისაც განსაკუთრებით ეფექტურია რადიალური ჭედვა. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის პრაქტიკულად უდანაკარგოდ გამოყენებას, ტექნოლოგიური პროცესის სრულ მექანიზაციას და ავტომატიზაციას, შრომატევადობის შემცირებას. ამასთან, რადიალური ჭედვით მიღებულ ნაკეთობებს ახასიათებს ზომების მაღალი სიზუსტე (მე-II, მე-III კლასი) და ზედაპირის მაღალი ხარისხი (მე-IX, მე-X კლასი). გარდა ამისა, რადიალური მოჭიმვა აუმჯობესებს ლითონის სტრუქტურას და მექანიკურ თვისებებს.

რადიალური მოჭიმვის პროცესი და მოწყობილობა, როგორც ეს გამომდინარეობს ლიტერატურის ანალიზიდან მოითხოვს შემდგომ სრულყოფას, რისთვისაც საჭიროა მისი კვლევა, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია რადიალური მოჭიმვის პროცესის დამუშავებისა და რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუირებისათვის.

ვინაიდან რადიალურ-საჭედი მანქანები რთული და ძვირადღირებული დანადგარებია, ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ახალი ტიპის აირ-ჰიდრავლიკური მანქანის დამუშავება წარმოადგენს უაღრესად აქტუალურ ამოცანას, რომლის გადაწყვეტა უზრუნველყოფს:

1. მაღალი სიზუსტის დეტალების, კერძოდ, საიარალო ლულების რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის ფორმირებას მინიმალური დანაკარგებით;
2. ლითონის უფრო ეფექტიან გამოყენებას;
3. ჭედვის პროცესის სრულ მექანიზაციას და ავტომატიზაციას.

კვლევის მიზანი. კვლევის მიზანს წარმოადგენს ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის ზედაპირის რადიალური ჭედვის პროცესის და მანქანების არსებული მდგომარეობის მეცნიერული ანალიზი და მათი განვითარების ტექნიკური ღონისძიებების შემუშავება. აქედან გამომდინარე განისაზღვრება კვლევის ძირითადი ამოცანები:

1. ღერძიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალების ანგარიშის მეთოდის შემუშავება;
2. რადიალური მოჭიმვის ძალების და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა რადიალური ჭედვის პროცესში ლითონის დეფორმაციის რეჟიმის სათანადო შერჩევისათვის და ხარისხიანი პროდუქციის მიღებისათვის;
3. რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკური პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის შემუშავება დეტალების ზუსტი გაანგარიშებისათვის;
4. რადიალურ-საჭედი მანქანების არსებული კონსტრუქციების ანალიზი და აირ-ჰიდრავლიკური მანქანის ახალი კონსტრუქციის შემუშავება;
5. აირ-ჰიდრავლიკური რადიალურ-საჭედი მანქანის კონსტრუქციული პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის შემუშავება.

თემის შესწავლის მდგომარეობა. რადიალური ჭედვის პროცესი და მოწყობილობა შესწავლილია უცხოელი და ქართველი მეცნიერების მიერ. უცხოელი მეცნიერებიდან აღსანიშნავია მ. სტოროჟევის, ე. პოპოვის, ი. ოხრიმენკოს, ჰ. ალბერტის, ა. კენდალის, ი. რადიუჩენკოს, ვ. ლიუბინის, ვ. ტიურინის, ვ. ლაზორკინის, ი. პოსპელოვის, ხ. ფლახოვსკის შრომები. ასევე მნიშვნელოვანია ქართველი მეცნიერების ა. ნოზამის, რ. ადამიას, ჯ. ლომსაძის, მ. მიქაუტაძის, თ. ჩხაიძის და სხვა მეცნიერების შრომები. ზემოთ ნახსენები მეცნიერების ნაშრომებში განხილულია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური და ენერგომალოვანი პარამეტრების ანგარიშის

საკითხები. აღსანიშნავია, რომ ამ მიმართულებით მუშაობა გააქტიურდა საქართველოში, კერძოდ, რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტში და საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, მიუხედავ ზემოთ აღნიშნულისა, ეს პრობლემა მოითხოვს შემდგომ შესწავლას.

კვლევის ობიექტი. ჩემი ნაშრომის კვლევა ეხება რადიალური მოჭიმვის მეთოდით რთული ფორმის დეტალების ზედაპირის პლასტიკური ფორმირების პროცესებს და მანქანებს, ამ მანქანების დინამიკას, აღნიშნული დეტალების მიღების ტექნოლოგიური პროცესს და მოწყობილობას.

კვლევის მეთოდოლოგია. დისერტაციაში ექსპერიმენტული კვლევისათვის გამოყენებული იყო მომჭიმავი ხელსაწყო, რომლის მეშვეობით დავადგინეთ დეფორმაციის კონკრეტულ რეჟიმებზე ნიმუშებზე მოქმედი ძალები და ძაბვები. ძალების გაზოვვა ხდებოდა ДОСМ 3 -5 ტიპის ეტალონური დინამომეტრით, ხოლო ძაბვების განსაზღვრისათვის გამოყენებული იყო საკოორდინატო ბადეების მეთოდი. ცდების შედეგები დამუშავებული იყო ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით, რამაც მნიშვნელოვნად შეამცირა ცდების რაოდენობა და საშუალება მოგვცა მიგველო ზუსტი შედეგები. ექსპერიმენტები ჩატარდა გამოსაკვლევი ფაქტორების მხოლოდ ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე.

მეტალოგრაფიული კვლევები ჩატარდა მიკროსტრუქტურული ანალიზის მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპ “Neophot-32”- ის საშუალებით x100 გადიდებით, ქიმიური ანალიზი - „BRUKER“ - ის ფირმის ვაკუუმური ოპტიკით აღჭურვილ ოპტიკურ-ემისიურ სპექტრომეტრზე „Q8 Magellan”.

მეცნიერული სიახლე. რადიალური მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალებისა და ძაბვების კვლევა და მათემატიკური მოდელირება; მეტალოგრაფიული კვლევების შედეგად რადიალური მიჭიმვის გავლენის შესწავლა ლითონის მიკროსტრუქტურაზე; დერძიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის ზედაპირის პლასტიკური ფორმირების პროცესის ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმების და მუშა ინსტრუმენტის ხელსაყრელი ფორმის გამოთვლა; მომჭიმავი მოწყობილობის დინამიკის შესწავლა; აირ-

ჰიდრაულიკური მანქანის სრულყოფილი კონსტრუქციის და მისი ძირითადი პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის შემუშავება.

დისერტაციის მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ნაშრომში განხილულია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიის და მოწყობილობის სრულყოფის გზები. დისერტაციაში მიღებული შედეგები წარმოადგენს რადიალური ჭედვის თეორიის და ტექნოლოგიის საკითხების რაციონალურ გადაწყვეტას და ის ხელს შეუწყობს მათი შემდგომ განვითარებას.

სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა. სადისერტაციო ნაშრომის შედეგების გამოყენება შეიძლება რთული ფორმის დეტალების დამზადების ტექნოლოგიის და დანადგარების შემდგომი სრულყოფისათვის. დისერტაციის შედეგების გამოყენება მნიშვნელოვანია ჩვენი ქვეყნის მანქანათმშენებელ ქარხნების მუშაობის გაუმჯობესებისათვის. ამით კი შესაძლებელი იქნება აღნიშნული ქარხნების განვითარება, რაც გადამწყვეტია ქვეყნის ეკონომიკური წინსვლისათვის.

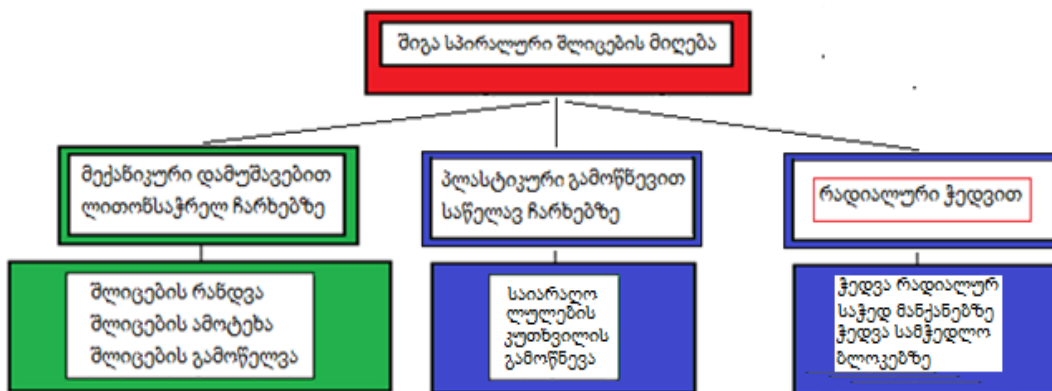
1. ლიტერატურის მიმოხილვა

სადისერტაციო ნაშრომში განაალიზებულია შრომები, რომლებშიც განხილულია რთული ფორმის ნაკეთობების მიღების პროცესები და მათი განვითარების მიმართულებები. ნაშრომი ძირითადად ორიენტირებულია მანქანათმშენებლობის და მეტალურგიის საწარმოებზე, სადაც მასალების მექანიკურ დამუშავებას უჭირავს მთავარი როლი. ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია იმ საკითხებზე, რომელთა გადაწყვეტა დაეხმარება ამ დარგების სპეციალისტებს საკუთარ შეხედულებებთან შეაჯერონ ნაშრომში ჩამოყალიბებული პრობლემების შინაარსი.

ქვემოთ მოცემულია სადისერტაციო ნაშრომის საკითხებთან დაკავშირებული სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის მიმოხილვა. ლითონების მექანიკური დამუშავების პროცესების, მათ შორის რადიალური ჭედვის თეორიისა და ტექნოლოგიის საკითხების შესწავლის საქმეში მნიშვნელოვანი წვლილი შეტანილი აქვთ ცნობილ მეცნიერებს - ნ. ზორევს, ა. როზენბერგს, გ. გრანოვსკის, მ. სტოროჟევს, ე. პოპოვს, ა. კენდალს, ი. პოსპელოვს, ი. რადიუჩენკოს, ვ. ლიუბვინს და სხვა მეცნიერს.

აღსანიშნავია ქართველი მეცნიერების თ. ლოლაძის, ა ნოზაძის, რ. ადამიას, მ. მიქაუტაძის, ჯ. ლომსაძის, თ. ჩხაიძის შრომები, სადაც შეწავლილია ლითონების მექანიკური დამუშავების, მათ შორის რადიალური ჭედვის, პროცესების თეორიული და პრაქტიკული მხარე.

სპირალური შლიცები მიიღება როგორც ჭრით დამუშავებით, ასევე რადიალური ჭედვით. ნახ. 1-ზე მოცემულია ამპროცესების კლასიფიკაცია.



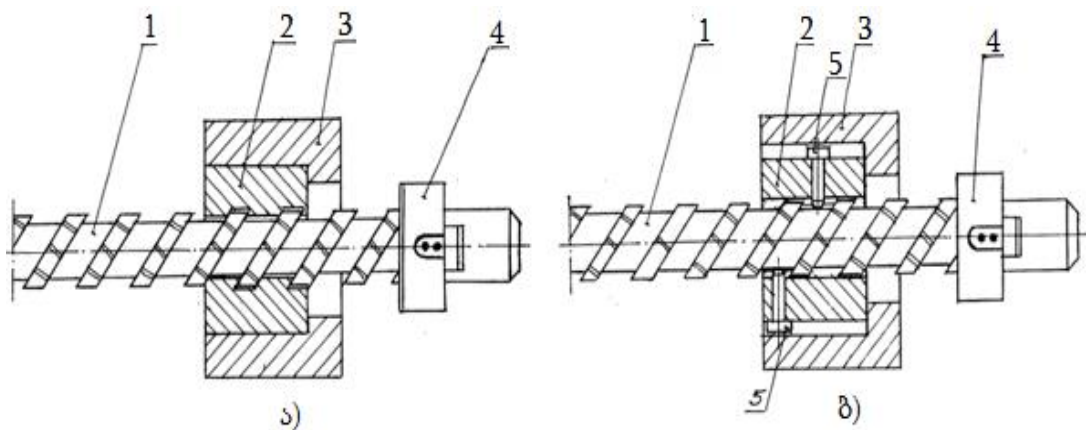
ნახ. 1. პროცესების კლასიფიკაცია

1. 1. ლითონების ჭრით დამუშავების პროცესები

რთული კონფიგურაციის ზედაპირის მქონე ნაკეთობების მექანიკური დამუშავების პროცესებთან დაკავშირებული თანამედროვე ნაშრომებიდან აღსანიშნავია ვ.ს. გუბანოვის და ი.ნ. სელეზნევის წიგნი, რომელშიც განხილულია ევოლვენტური პროფილის შლიცების მექანიკური დამუშავების ტექნიკურად რთული ამოცანები, რომელთა ამოხსნისათვის ნაშრომში შემოთავაზებულია ხვედრითი ენერგოტევადობის მინიმიზაციის კრიტერიუმი [1].

წიგნში განხილულია ევოლვენტური პროფილის შლიციანი ნახვრეტების დამუშავებისათვის განკუთვნილი საწელავი ინსტრუმენტი. ავტორების აზრით, ამ კრიტერიუმის საფუძველზე ოპტიმიზებული ლითონსაჭრელი ინსტრუმენტი გამოირჩევა უნიკალური ეფექტურობით არსებულ ინსტრუმენტთან შედარებით. ამავე ნაშრომში ახლებურადაა გადაწყვეტილი ევოლვენტური პროფილის მიღების ტექნოლოგიური პრობლემები და მოცემულია ლითონსაჭრელი საწელავი ინსტრუმენტის პროექტირების გაუმჯობესებული მეთოდიკა.

წიგნში მოყვანილია შლიცების მიღების სქემები (ნახ. 2).



ნახ. 2. სპირალური შლიცების მიღება

ა – საკოპირე ქანჩის საშუალებით; ბ - საკოპირე თითების გამოყენებით:

1. საწელავი; 2. საკოპირე ქანჩი; 3. სამარჯვეში; 4. ჩარხის შპინდელის ვაზნაში; 5. საკოპირე თითები

განსაკუთრებული ადგილი უკავია ა. ტუკტანოვის სახელმძღვანელოს რომელშიც არწერილია რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე

დეტალების მექანიკური დამუშავების, მათ შორის პლასტიკური დეფორმირების პროცესები [2].

ავტორი დეტალურად განიხილავს საიარაღო ლულების სპირალური დაკუთხვის მიღებას მექანიკური დამუშავებით ლითონსაჭრელ ჩარხებზე. წიგნში დაწვრილებითაა მოცემული სპირალური დაკუთხვის სპეციალური ინსტრუმენტი და ჩარხის კონსტრუქცია.

კონკრეტულად, ჩამოყალიბებულია ლულების სპირალური დაკუთხვის ინსტრუმენტის რაციონალური პარამეტრების შერჩევის მეთოდიკა, ტექნოლოგიური პროცესის დაგეგმარების და ჭრის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენის საფუძვლები, რაც უზრუნველყოფს ნაკეთობის ხარისხის ამაღლებას და ლითონსაჭრელი ჩარხის მწარმოებლობის გაზრდას. სახელმძღვანელოში დიდი ყურადღება ექცევა საიარაღო ლულების სპირალური დაკუთხვის მიღებას პლასტიკური დეფორმირების მეთოდებით.

აღსანიშნავია სპირალური დაკუთხვის მიღების ელექტროქიმიური პროცესი, რომელიც მოყვანილია წიგნში. აქ განხილულია მილის შიგა ზედაპირზე სპირალური დაკუთხვის ელექტროქიმიური ხერხის სქემა მოძრავი კათოდის გამოყენებით, მოცემულია ელექტროქიმიური დამუშავების კათოდების კონსტრუქციები როგორც გლუვი არხისათვის, ასევე არხზე დაკუთხვის მიღებისათვის, დეტალურად აღწერილია მილის არხის ელექტროქიმიური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის რეჟიმები, რას საშუალებას იძლევა მინიმალური დანახარჯებით დაგვეგმოს ტექნო-ლოგიური პროცესი.

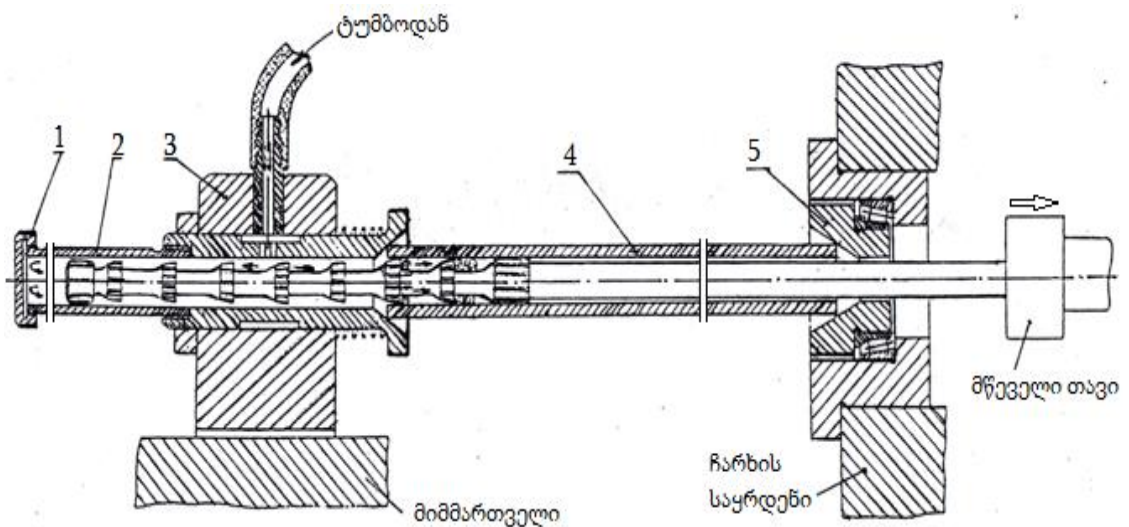
ი. პოტაპოვის ნაშრომში შემოთავაზებულია ღერძსიმეტრიული დეტალების მიღების ახალი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლის სპეციფიკურობა გამოიხატება ნამზადის სიღრუვის მისაღებად სპეციალური შემავსებლით ამოვსებული მილისებრი ღეროს გამოყენებაში, რამაც შეამცირა სხმულის შიგა ზედაპირზე ბზარების გაჩენის შესაძლებლობა [3].

გ. სკუდრინის წიგნში მოცემულია შლიციანი შეერთებების ანგარიშის მეთოდიკა და დამზადების ტექნოლოგია, განზოგადოებულია შლიციანი

შეერთებების ხანგამძლეობის ამაღლებისათვის ჩატარებული კვლევების შედეგები. ამავე წიგნში განხილულია შლიციანი შეერთებების სახეობები, მათი გამოყენების სფეროები, შლიცების გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა დეტალების დატვირთულობაზე, გეომეტრიული და ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების გავლენა შეერთების ცვეთამდეგობაზე. ძალზე მნიშვნელოვანია წიგნში მოყვანილი სპეციალური სახეობების შლიცების ანგარიშის მეთოდიკა. განხილულია შლიცების მექანიკური დამუშავებით მიღების ტექნოლოგიური პროცესი. ცალკე პარაგრაფადაა გამოყოფილი შლიციანი ნახვრეტების დამუშავების საკითხები [4].

სპირალურშლიციანი ნახვრეტების მქონე ნაკეთობების მექანიკური დამუშავების პროცესი, ინსტრუმენტი და მოწყობილობა საფუძვლიანად არის განხილული ა. დრაჩუკის მონოგრაფიაში [5].

მონოგრაფიაში აღნიშნულია, რომ დეტალების შიგა ზედაპირზე შლიცების გამოწევა შესაძლებელია აგრეთვე ჩვეულებრივ საწელავ ჩარხზე, თუ ეს ჩარხი აღჭურვილია სპეციალური სამარჯვით ღრმა ბურღვისათვის. ასეთი სამარჯვის სქემა მოცემულია ნახ. 3-ზე.



ნახ. 3. გამოწევა სპეციალური სამარჯვით

სამარჯვის უკანა ვეგი 3 დგას ჩარხის მიმმართველებზე და მას აქვს გადაადგილების საშუალება გარკვეულ მანძილზე, იმის მიხედვით, თუ რა სიგრძისაა ნამზადი 4. მბრუნავი საყრდენი 5 ჩაყენებულია ჩარხის საყრდენ ლუნეტში. თალფაქი 1 განკუთვნილია მილის 2-ის დახურვისათ-

ვის; ამიტომ გამაცივებელი სითხე მიემართება მხოლოდ საწელავისაკენ და გადის ნამზადის ნახვრეტში.

მონოგრაფიაში თეორიულად და ექსპერიმენტულად დადგენილია ჭრის ძალების მნიშვნელობები ხრახნულშლიციანი ნახვრეტების გამოწელების პროცესში, მოცემულია ექსპერიმენტული აღჭურვილობის და გამზომი ხელსაწყოების ტექნიკური მახასიათებლები. მოყვანილია ხრახნულშლიციანი ნახვრეტების გამოწელების დროს ჭრის ძალაზე სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები.

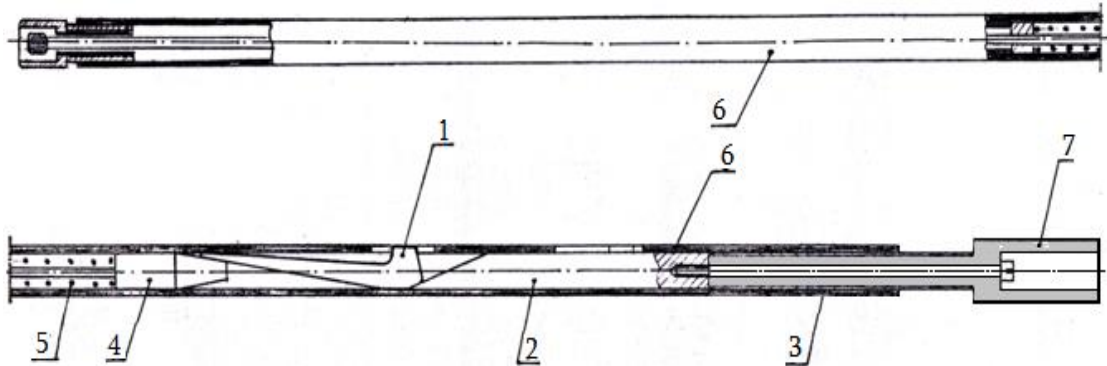
პ. კაცევის წიგნში აღწერილია ხრახნული შლიცების გამოწელების პროცესები ერთ ან ერთდროულად რამოდენიმე დეტალზე. განხილულია ხრახნული შლიცების გამოწელების კინემატიკა გამოწელების პროცესების სხვადასხვა ვარიანტისათვის ინსტრუმენტის ან დასამუშავებელი დეტალის იძულებითი ბრუნვით ან თვებრუნვით, სახელდობრ, საკოპირე თითის ან გორგოლაჭის გამოყენებით, საწელავი ჩარხის საწევ თავში ჩამონტაჟებული სპეციალური მექანიზმით, საკოპირე სახაზავის საშუალებით. მოცემულია ინსტრუმენტის ან დასამუშავებელი დეტალის თვებრუნვის მოწყობილობები სპეციალური ბურთულიანი საყრდენი საცელავის ვაზნასთვის ან დეტალისათვის, საკოპირე ხრახნი და ქანჩი, რომელიც პლანეტარული გადაცემის კბილანებითაა დაკავშირებული დეტალების ვაზნებთან [6].

წიგნში მოცემულია მაკრატლის ტიპის კილოების საწელავი ინსტრუმენტის ანგარიშის მეტოდიკა. აღწერილია ცეცხლსასროლო იარაღის 12,7 კალიბრის ლულის არხისა და სპირალური ღარების საწელავი ჩარხის კონსტრუქცია, ასევე ლულების საწელავი ინსტრუმენტი.

ინტერესს წარმოადგენს მ. არეფიევის და ლ. კარპოვის მონოგრაფია, რომელშიც განხილულია რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირიის მქონე დეტალების ჭრით დამუშავების, ასევე პლასტიკური ფორმირების პროცესები [7].

ავტორები განიხილავენ საიარაღო ლულების არხის დამუშავებას ღრმა ბურღვის ჩარხებზე და სპირალური დაკუთხვის მიღებას მექანიკური

რანდვით სპეციალურ ლითონსაჭრელ ჩარხებზე. წიგნში მოცემულია სპირალური დაკუთხვის ინსტრუმენტი რანდვისათვის, ე. წ. შპალერი (ნახ. 4), ასევე შესაბამისი ჩარხების კონსტრუქციები.



ნახ. 4. კავიანი შპალერი

1. საჭრისი; 2. სოლი; 3. სოლის გადაადგილების მექანიზმი; 4. კონუსი; 5. ზამბარა; 6. საწვეარი; 7. ბუნიკი

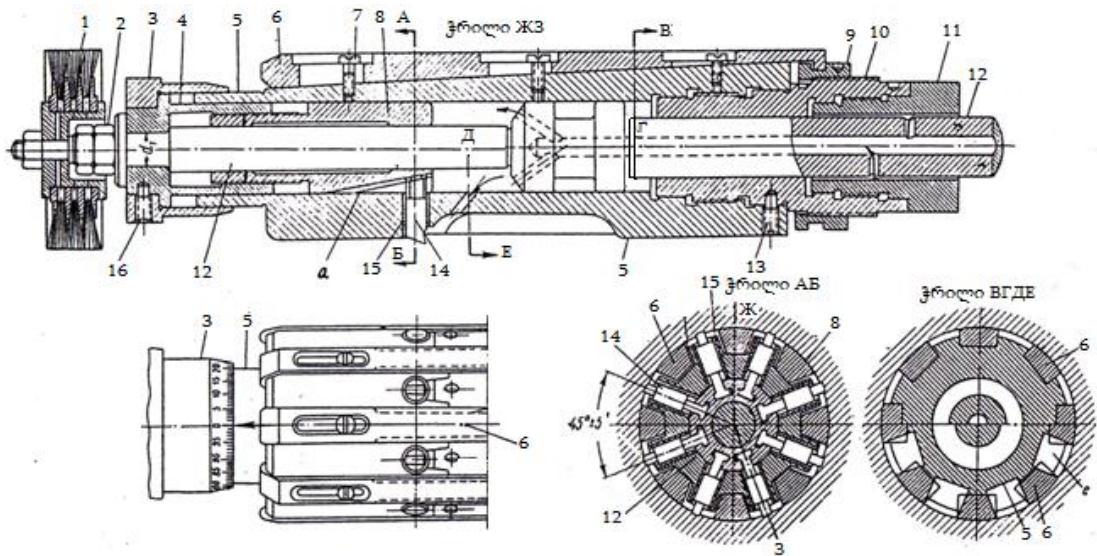
ერთკავიანი შპალერი რანდავს ერთ სპირალურ ღარს, რის შემდეგ ლულა შემობრუნდება გარკვეულ კუთხეზე შემდგომი ღარის დამუშავებისათვის. როდესაც საჭრისიანი კავი გაივლის ყველა ღარს, ხდება საჭრისის მიწოდება რადიალური მიმართულებით გარკვეულ სიდიდეზე, რომელიც განისაზღვრება მოსახსნელი ბურბუშელის სისქით და დამუშავების ციკლი მეორდება მანამ, სანამ მთლიანი ნამატი არ იქნება მოხსნილი.

მ. არეფივის და ლ. კარპოვის მონოგრაფიაში ასევე მოცემულია ლულების სპირალური დაკუთხვის ზემოთ აღნიშნული ინსტრუმენტის რაციონალური პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის, მითითებულია ჭრის ოპტიმალური რეჟიმები მაღალი ხარისხის ნაკეთობის მიღებისათვის.

ა. ტაპტუნის წიგნში განხილულია ლულების არხის აგებულება და მისი პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის [10].

აქ მოცემულია მრავალსაჭრისიანი ინსტრუმენტები ღერძისმეტრიულ ნაკეთობებზე რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მიღებისათვის, კერძოდ ოთხ, რვა და თექვსმეტსაჭრისიანი თავის კონსტრუქციები. აღწერილია სპეციალური ჩარხები საარტილერიო ლულების დაკუთხვისათვის.

ნახ. 5-ზე წარმოდგენილია რვა-საჭრისიანი თავის კონსტრუქცია.



ნახ. 5. რვა-საჭრისიანი თავის კონსტრუქცია

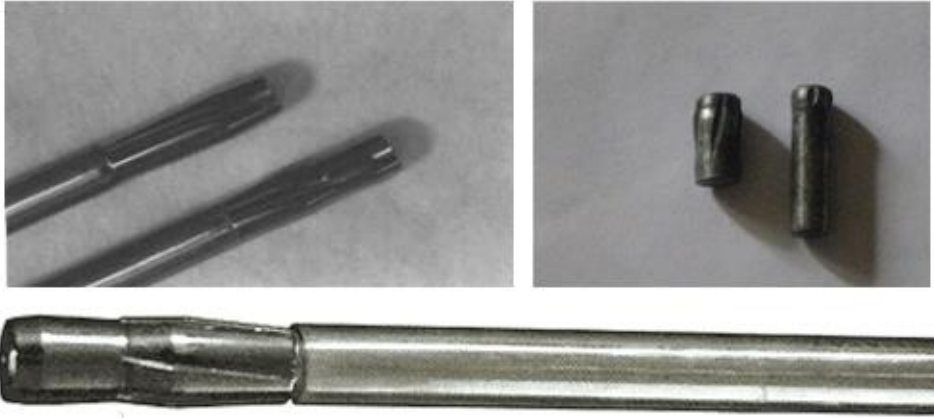
ამ კონსტრუქციაში შედის ჯაგრისი 1, ქანჩი 2, რგოლი 3, მილისა 4, თავის კორპუსი 5, საგლუვი 6, ხრახნი 7, სოლი 8, ქანჩი 9, მილისა 10, ჭოკი 11, სამართული (საწევარი) 12, ხრახნი-ფიქსატორი 13, საჭრისები 14, საცვლელი მილისა 15, ხრახნი-ფიქსატორი 16.

საჭრისების რადიალური მიწოდება ბურბუმელის სისქეზე ხდება ყოველი მუშა სვლის შემდეგ სამართულის 12 გადაადგილებით. გამაცივებელი სითხე საჭრისებს მიეწოდება რგოლური ღრეხოს ჭოკსა და სამართულს შორის გავლით. გამაცივებელი სითხე საჭრისებს მიეწოდება რგოლური ღრეხოს ჭოკსა და სამართულს შორის გავლით.

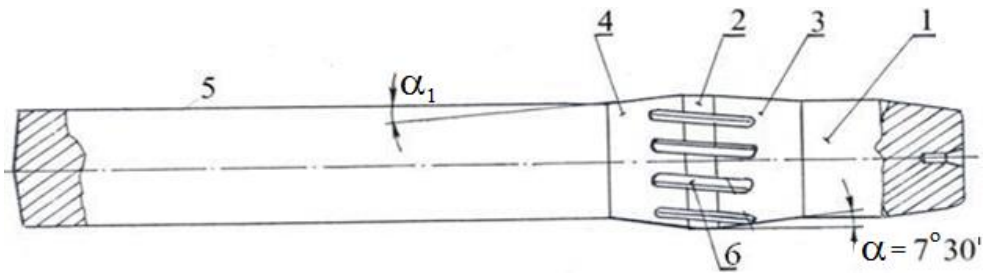
1. 2. შიგა კუთხვილიანი დეტალების მიღება გამოწნევით

კუთხვილის გამოწნევის მეთოდი ფართოდ გამოიყენებოდა წვრილ-კალიბრიანი ლულების მიღებისათვის მე-2 მსოფლიო ომის დროს. ლულებზე კუთხვილის გამოწნევის მეთოდი აღწერილია მ. არეფიევის და ლ. კარპოვის მონოგრაფიაში [7].

კუთხვილის გამოწნევა ხდება სპეციალური ინსტრუმენტით - პუანსონით (ნახ. 6,7). ლულის კუთხვილის გამოწნევის პროცესის სქემა მოცემულია ნახ. 8ა-ზე, ხოლო ნახ. 8 ბ-ზე ნაჩვენებია ლულის განივი ჭრილი არხის ზომების მითითებით.



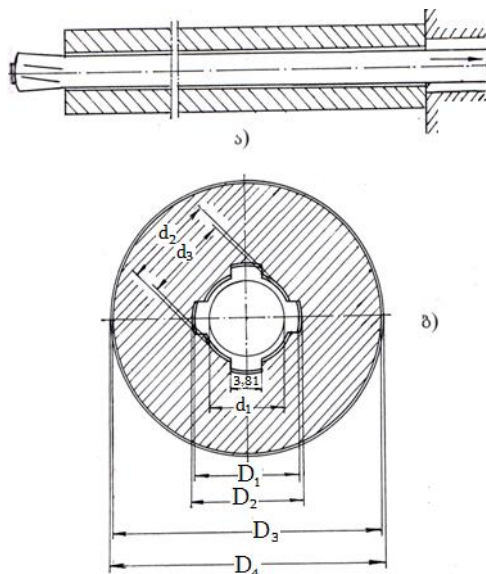
ნახ. 6. პუნსონების ფოტოსურათები



ნახ. 7. პუნსონის კონსტრუქცია

1. პუნსონის თავი; 2. ცილინდრული სარტყელი; 3. წინა კონუსი; 4. უკანა კონუსი; 5. ღერო; 6. შვერილები

ამ ნახაზზე მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: d_1 – ლულის არხის დიამეტრი გამოწნევამდე; d_2 – არხის დიამეტრი გამოწნევის შემდეგ; d_3 – პუნსონის მინიმალური დიამეტრი; D_1 – ლულის კუთხვილის გარე დიამეტრი; D_2 – პუნსონის მაქსიმალური დიამეტრი; D_3 – ლულის გარე დიამეტრი გამოწნევამდე; D_4 – ლულის გარე დიამეტრი გამოწნევის შემდეგ.



ნახ. 8. ლულის კუთხვილის გამოწნევის პროცესის სქემა

მაშასადამე გამოწნევის დროს ლულის არხი ლებულობს რადიალურ დეფორმაციას, რაც დამოკიდებულია ლითონის ხარისხზე, ლულის დიამეტრზე, მისი შიგა დიამეტრის მდგომარეობაზე.

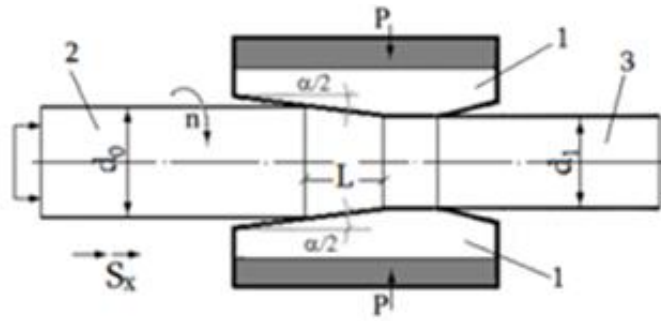
გამოწნევის ძალის მნიშვნელობა დამოკიდებულია არა მარტო დეფორმაციის სიდიდეზე, არამედ პუნსონის ფორმაზე. კალიბრის გაზრდა იწვევს გამოწნევის ძალის ზრდას. მაგალითად, 23 მმ-ს დიამეტრის ლულის არხისათვის დეფორმაციის ძალა შეადგენს 22-23 ტონას.

მონოგრაფიაში ასევე განხილულია ლულების სპირალური დაკუთხვის პლასტიკური გამოწნევის ოპერაციაზე მოქმედი სხვადასხვა ტექნოლოგიური ფაქტორის გავლენის ხერხები, რაც უზრუნველყოფს ლითონის დეფორმაციული შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას და წვრილ-მარცვლოვანი სტრუქტურის მიღების. მოყვანილია მეთოდოლოგია მილის შიგა ზედაპირზე სპირალური ღარების პლასტიკური ფორმირების პროცესის რაციონალური რეჟიმის დადგენისათვის და ინსტრუმენტის - პუნსონის ოპტიმალური პარამეტრების დეფორმაციის შერჩევისათვის.

მონოგრაფიაში მოყვანილია ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც ასახავენ ტექნოლოგიური ფაქტორების გავლენას წვევის ძალაზე სპირალური დაკუთხვის პლასტიკური ფორმირების პროცესში, კერძოდ, ლულის მასალის სისალის გავლენას მის დეფორმაციაზე და წვევის ძალაზე, ლულის შიგა და გარე დიამეტრების ცვლილების გავლენას წვევის ძალაზე, შემზეთი მასალის თვისებების გავლენას წვევის ძალაზე.

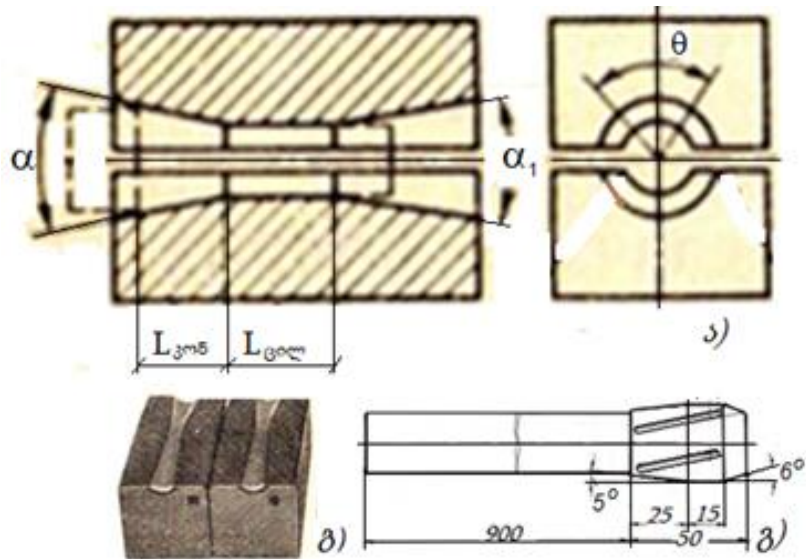
1. 3. რთული ფორმის დეტალების რადიალური ჭედვის პროცესები

სპირალური ღარების მიღება დეტალებზე ამჟამად ძირითადად ხდება რადიალური ჭედვით (ნახ. 9,10), რითაც უზრუნველყოფილი იქნება ზომების მაღალი სიზუსტე და სუფთა ზედაპირი. ამასთან მიღწეული იქნება ძვირადღირებული ლითონის ეკონომია და მაღალი მექანიკური თვისებები.



ნახ. 9. რადიალური ჭედვის სქემა

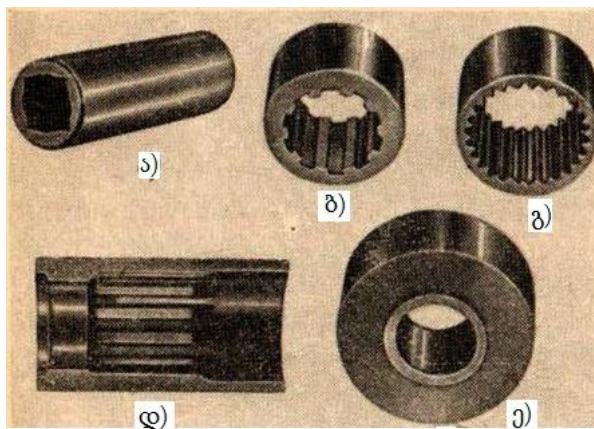
1.საცემელები; 2. ნამზადი; 3. ნაჭედი



ნახ. 10. რადიალური ჭედვის ინსტრუმენტი

ა,ბ - საცემელები; გ - სამართული

ნახ.11-ზე მოგვყავს სპეციფიკური დეტალების ესკიზები, რომლებიც რადიალური ჭედვითაა მიღებული.



ნახ. 11. რადიალური ჭედვით მიღებული დეტალები

ა - ოსცილატორის კორპუსი; ბ, გ - შლიციანი ქუროები; დ - კარდანის ლილვის შლიცები; ე - მიტკეცილი ნაკეთობა

უმუალოდ შიგა შლიცების ჭედვასთან დაკავშირებით საინტერესოა ი. რადიუჩენკოს მონოგრაფია [9].

აქ განხილულია სხვადასხვა სპეციალური საკითხი, რომელიც ეხება ღერძსიმეტრიული, მათ შორის შლიციანი, დეტალების რადიალური ჭედვის პროცესის ტექნოლოგიასა და მოწყობილობას.

მონოგრაფიაში მოცემულია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევის მეთოდოლოგია და მისი ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება, საცემელებს შორის მანძილის რეგულირების მექანიზმის გათვალისწინების აუცილებლობა მანქანის კონსტრუქციაში, მანქანის სიხისტის გაზრდა, ნამზადის მიმწოდებელი მექანიზმის რაციონალური სქემის შერჩევა, მანქანის პროგრამული მართვა [10].

ე. სავინოვის ნაშრომში განხილულია რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენების შესაძლებლობები, აღწერილია ავსტრიული წარმოების მანქანები გლუვი წნელების და საფეხურებიანი ნამზადების დამზადებისათვის, ბალონების, ტურბინის ნიჩბების მიღებისათვის [11].

ავტორი ამ ნაშრომში აღწერს ახალი ტიპის მანქანებს, რომლებიც აღჭურვილია სამართულების გადაადგილების მექანიზმით. მანქანების გამოშვება დაიწყო ავსტრიაში (ფირმა “GFM”) და გავრცელებულია აშშ-ში, ბრიტანეთში, ჩინეთში.

ინტერესს წარმოადგენს ვ. როსტოვსჩიკოვის შრომა, რომელშიც განხილულია მილესებრი ნაჭედების ცხელ მდგომარეობაში რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგია და მოწყობილობა; ნაჩვენებია, რომ ცხელი რადიალური მოჭიმვის უპირატესობა უფრო სრულად ვლინდება მაღალი წნევის სქელკედლიანი ფოლადის მილების, ცილინდრული და კონუსური ფორმის ნახვრეტის მქონე დეტალების დამუშავების დროს [12].

აღნიშნულია, რომ ზემოთ ჩამოთვლილი ნაკეთობების ხარისხობრივი მაჩვენებლების ამაღლება შესაძლებელია სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით, როგორცაა ცხლადსაცივებელი მოკლე სამართულები, რომლებ-ბითაც უნდა აღჭურვილ იქნას რადიალურ-საჭედი მანქანები.

ნაშრომში შესრულებულია მიღების ნაჭედების მიღების ტექნოლოგიური სქემების კლასიფიკაცია, რომელიც რაციონალური ტექნოლოგიური სქემის შერჩევის საშუალებას იძლევა. ამ ტექნოლოგიური სქემების რეალიზაციისათვის მოცემულია რადიალურ-საჭედი მანქანების აღჭურვილობის ტიპები. აღწერილია ახალი ტექნოლოგიური კომპლექსი, რომელიც შეიცავს რგოლურ მეთოდურ ღუმელს, პროგრამირებული მართვის რადიალურ-საჭედ მანქანას და მექანიზაციისათვის საჭირო მოწყობილობას ზუსტი ზომების რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე ღერძსიმეტრიული დეტალების დამზადებისათვის.

ვ. ლიუბვინის მონოგრაფიაში განხილულია როტაციული მოჭიმვით დეტალების დამუშავების პროცები, კონკრეტულად როტაციული მოჭიმვის პროცესის თეორია, ლითონის დეფორმაცია მოჭიმვის დროს, როტაციული მანქანების სქემები და მუშაობის რეჟიმები [13].

წიგნში მოცემულია როტაციული მანქანების ინსტრუმენტის – საცემელების, მატრიცების, სამართულების არსებული კონსტრუქციების აღწერა, მათი ანგარიშის მეთოდები. განხილულია როტაციული ჭედვის პროცესის კინემატიკა და დინამიკა, როტაციული ჭედვის პროცესის ტექნოლოგია, ამ პროცესის შესაძლებლობანი. წიგნი სასარგებლოა ინჟინრებისათვისა და სტუდენტებისათვის.

წინა საუკუნის 90–იან წლებში მთელ რიგ ქვეყნებში, მათ შორის უკრაინაში, ესპანეთში, ჩინეთში შეიქმნა ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკები. ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკების გამოყენებით ჰიდრავლიკურ პრესებზე ხდება რადიალური ჭედვის ოპერაციების შესრულება.

ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკების კონსტრუქციები განხილულია ა. ვოლოდინის ნაშრომში [14].

აქ ნაჩვენებია, თუ როგორ ხდება ბლოკის ელემენტების ურთიერთქმედება ლითონის დეფორმირების დროს. დადგენილია, რომ ოთხსაცემლიან სამჭედლო ბლოკში, დეფორმაციის სქემას გააჩნია მსგავსობა რადიალური ჭედვის მანქანებში განხორციელებულ დეფორმაციის

სქემასთან, რაც იძლევა საშუალებას მოვახდინოთ ძნელად-დეფორმირებადი და დაბალპლასტიკური ლითონების და შენადნობების დამუშავება. მაგრამ არის განსხვავებაც ოთხსაცემლიან სამჭედლო ბლოკში საცემელები რადიალური მოძრაობის გარდა (მხედველობაშია გვერდითი საცემელები) ასრულებენ აგრეთვე გადაადგილებას ტანგენციური მიმართულებით, რის შედეგად ნამზადის განივკვეთში წარმოიქმნება ძვრის დამატებითი დეფორმაციები. ამის გამო ხდება ლითონის უფრო ღრმა დამუშავება და არსებული დეფექტების აღმოფხვრა, რაც ხელს უწყობს ნაკეთობების ხარისხის ამაღლებას.

ი. ლიტკინის სტატიაში ნაჩვენებია, რომ ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკები შეგვიძლია გამოვიყენოთ არა მხოლოდ მთლიანია ნაჭედებისათვის, არამედ ღრუ დეტალების მისაღებად, მათ შორის თხელკედლიანი მილებისათვის. ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკებზე სპეციალური სამართულების საშუალებით შესაძლებელია მილების, მათ შორის ლულეების დამზადება [15].

ქართულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში ცნობილია შრომები, რომლებშიც განხილულია რთული კონფიგურაციის ზედაპირის მქონე ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესები.

ამ მიმართულებით გამორჩეულია მ. მიქაუტაძეს ნაშრომები, რომლებშიც გაანალიზებულია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესები და მოწყობილობები, მათ შორის გორგოლაჭიანი მატრიცებში, მილების ბოლოებზე შლიცების მიღება.

ამასთან დაკავშირებით, პროფესორ მ. მიქაუტაძეს სადისერტაციო ნაშრომში შესწავლილია საადიდვო მილნამზადების ბოლოების ცივად დასმის ოპერაციები რედუცირებით როგორც ხისტ, ასევე გორგოლაჭიანი მატრიცებში [16].

ნაშრომში შესრულებულია თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევები, რომლებიც მიმართულია მილნამზადების ბოლოების ცივად დასმის პროცესების კინემატიკური და ძალოვანი პარამეტრების შესწავლაზე.

ნაშრომში დადგენილია მილნამზადების რადიალური მოჭედვის პროცესის შემდგომი განვითარების პერსპექტივები რთული კონფიგურაციის ზედაპირის მქონე ნაკეთობების მიღების თვალსაზრისით. დამუშავებულია ახალი კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედი მანქანა, თეორიულად შესწავლილია მისი დინამიკა, მიღებულია ფორმულები ძალების განსაზღვრისათვის მანქანის დეტალებში.

რთული კონფიგურაციის ზედაპირის მქონე ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესების კვლევის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია პროფესორ თ. ჩხაიძის სადისერტაციო ნაშრომი. ეს ნაშრომი ეძღვნება შლიციანი პროფილის ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესებს სამუშაოში განხილულია საზეინკლო ინსტრუმენტების, მათ შორის ჯვარედინა სახრახნისების რადიალური მოჭიმვით პლასტიკური ფორმირება. დისერტაციაში რადიალური ჭედვის პროცესის დეფორმაციის კერის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლისათვის გამოყენებულია საკოორდინატო ბადის მეთოდი. ძალის გაზომვა ხდებოდა ზუსტი მესდოზით, ხოლო გაზომვის მონაცემები იწერებოდა ოსცილოგრაფზე [17].

ს. მებონიას დისერტაციაში განხილულია რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები [18].

ავტორის მიერ შემუშავებულია სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები, რომლებიც გამოირჩევა საიმედო მუშაობით, რაც განპირობებულია მანქანის რაციონალური სქემით. დისერტაციაში ასევე შემოთავაზებულია რადიალურ-საჭედი მანქანა, რომელსაც აქვს ექსცენტრულ-კულისური ამძრავი, რაც საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ საცემელების დარტყმების რიცხვი ერთ წუთში. ეს საშუალებას გვაძლევს განვხორციელოთ ძნელად დეფორმირებადი და ლეგირებული ფოლადების დამუშავება.

კ. უშვერიძის დისერტაცია ეძღვნება შესრულებულია მილნამზადების მოჭედვის კვლევას. ავტორის მიერ – შესწავლილია დეფორმაციის კერის

პარამეტრები, დაბვები და ძალები, შექმნილია ახალი კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედი მანქანა [19].

რ. ადამიას სტატიებში მიღებულია დარტყმითი ურთიერთქმედების ძალების განსაზღვრის მეთოდები - დარტყმის ძალის განსაზღვრის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის და ძალის განსაზღვრის ენერგეტიკული მეთოდი. მიღებულია ინსტრუმენტზე მოქმედი დარტყმითი ძალების გაანგარიშების ფორმულები. დადგენილია, რომ ძალოვანი ფუნქციის და დარტყმის მაქსიმალური ძალის მიახლოებითი ამოხსნა შესაძლებელია ენერგეტიკული მეთოდით, რომელიც მინიმალური ძალისხმევით საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ ძალის ზედა ზღვრული მნიშვნელობა [20,21].

კ. უშვერიძის სტატია ეხება დარტყმითი ძალების ექსპერიმენტულ კვლევას მიღების მომჭედ მანქანაში. ექსპერიმენტში გამოყენებულია ტენზომეტრის მეთოდი და ჩაწერილია დარტყმითი დატვირთვების ოსცილოგრამები. მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით მიღებულია დარტყმითი ძალების დამოკიდებულების ფორმულები რადიალური ჭედვის პარამეტრებთან [22].

მ. მიქაუტაძის სტატიებში მოცემულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დაპროექტებული სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანების (ხელმძღვანელი მ. მიქაუტაძე) კონსტრუქციები და ტექნიკური მახასიათებლები. მანქანები დანერგილი იყო რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის მილამდიდავ საამქროში [23-25].

ს. მებონიას სტატიებში შემოთავაზებულია ელექტრო-მაგნიტური რადიალურ-საჭედი მანქანა, საჭედამდიდავი დგანი, რადიალური ჭედვის ოთხსაცემელებიანი დანადგარი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მაღალი სიზუსტის ნაკეთობები; ორბარბაციანი რადიალური საჭედი მანქანა ზომიერდელი ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების მისაღებად, რგოლური ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა (ავტორების მიერ ამ მანქანაზე მიღებულია პატენტი).

ავტორის მიერ შემუშავებულია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტი და აღჭურვილობა.

ს. მებონიას მიერ გაკეთებულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი და მანქანების ეფექტურობის შედარება კონსტრუქციების სხვადასხვა ვარიანტებისათვის [26-35].

ს. მებონიას, მ. მიქაუტაძის და რ. ადამიას სტატიებში შემოთავაზებულია რადიალურ-საჭედი მანქანები, რომლებიც განკუთვნილია საფეხურებიანი ლილვებისა და ღერძების ჭედვისათვის [36-39].

თ. ნატრიაშვილის სტატიებში განხილულია რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენების სფეროები. განხილულია ცეცხლსასროლი იარაღის ლულების, რადიალურ-საჭედი მანქანები. მოცემულია რადიალურ-საჭედ მანქანებში დარტყმითი ძალების საანგარიშო ფორმულები [40,43].

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალების ანგარიშის მეთოდისა

რადიალური მოჭიმვის დროს ლითონი გადაადგილდება ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის მიმართ, რის გამოც მათ შორის წარმოიქმნება ხახუნის ძალები. ხახუნის ძალების მნიშვნელობა დამოკიდებულია ინსტრუმენტის და ნამზადის ზედაპირის მდგომარეობაზე, დასამუშავებელი მასალის ქიმიურ შემადგენლობაზე, დეფორმაციის ტემპერატურაზე, დეფორმაციის სიჩქარეზე და დატვირთვის ხასიათზე (სტატიკური, ვიბრაციული, დარტყმითი).

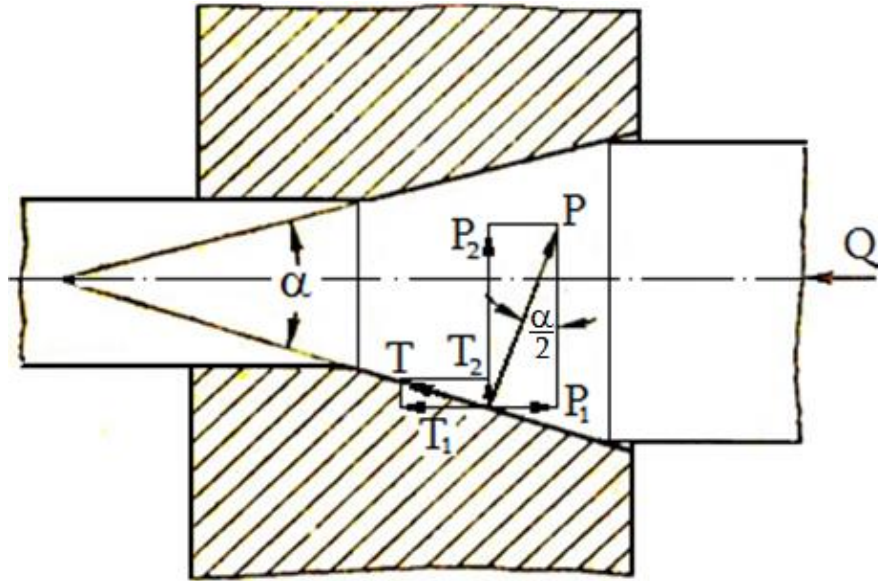
ხახუნის ძალების შემცირებება ამცირებს რადიალურ-საჭედი მანქანის დატვირთულობას, რისთვისაც იყენებენ სხვადასხვა სახის შემზეთავ ნივთიერებებს. რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციის სპეციფიკურობის გამო, შეზეთვა მუშა ზონაში უნდა მიეწოდებოდეს მანქანის დეტალების შემზეთი ნივთიერებებთან შერეულ მდგომარეობაში, ვინაიდან სხვაგვარად შემზეთავის ცირკულაცია შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე, რადიალურ-საჭედი მანქანებში დეტალების და მუშა ზონის შეზეთვა ხდება ერთიდამავე შეზეთვის დანადგარიდან.

აღსანიშნავია, რომ თუ ინსტრუმენტის ზედაპირი პოლირებულია და შეზეთვა ხდება სამანქანო ზეთით, ხახუნის კოეფიციენტი ცივი დეფორმაციის დროს არ აღემატება $0,1 - 0,15$.

იმისათვის, რომ რადიალური მოჭიმვის დროს, ლითონმა იდინოს დეფორმაციის კერაში ვიწრო უბნისაკენ (ნახ. 12) აუცილებელია ნამზადის შეტაცების პირობის უზრუნველყოფა.

რადიალური მოჭიმვის დროს ძალთა მოქმედების სქემის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როცა ძალა $P_1 > T_1$ -ზე მოჭიმვის პროცესი შეუძლებელია, მაგრამ თუ $P_1 < T_1$, მაშინ ნამზადი ხახუნის ძალებით შეიზიდება დეფორმაციის კერაში და ნამზადის მიჭიმვას ადგილი ექნება, ხოლო როცა $P_1 = T_1$, შეიმჩნევა წონასწორული მდგომარეობა. ასეთ შემთხვევაში

საკმარისია მწირე მიწოლა ნამზადზე (Q ძალით) და მოჭიმვის პროცესი დაიწყება.



ნახ. 12. ძალთა მოქმედების სქემა რადიალური მოჭიმვის დროს

ძალთა მოქმედების სქემიდან გამომდინარეობს, რომ $P_1 = P \sin \frac{\alpha}{2}$, $T_1 = T \cos \frac{\alpha}{2}$. გარდა ამისა ხახუნის ძალა $T = \mu P$. ე.ი. შეტაცების პირობა ასეთნაირად ჩაიწერება: $P \sin \frac{\alpha}{2} < \mu P \cos \frac{\alpha}{2}$ საიდანაც ვღებულობთ: $\tan \frac{\alpha}{2} < \mu$.

მაშასადამე, იმისათვის, რომ რადიალური მოჭიმვის დროს, ლითონმა იდინოს დეფორმაციის კერაში ვიწრო უბნისაკენ აუცილებელია, რომ დეფორმაციის ზონის კუთხის ნახევრის ტანგენსი ნაკლები იყოს ხახუნის კოეფიციენტზე.

შეტაცების პროცესის გაუმჯობესებისათვის გამოიყენება დეფორმაციის ზონაში ნამზადის იძულებითი მიწოდება Q ძალით (იხ. ნახ. 12). Q ძალა გავლენას ახდენს ნამზადის შეტაცების პირობაზე არა მხოლოდ დასაწყისში, არამედ დამყარებული პროცესის დროსაც.

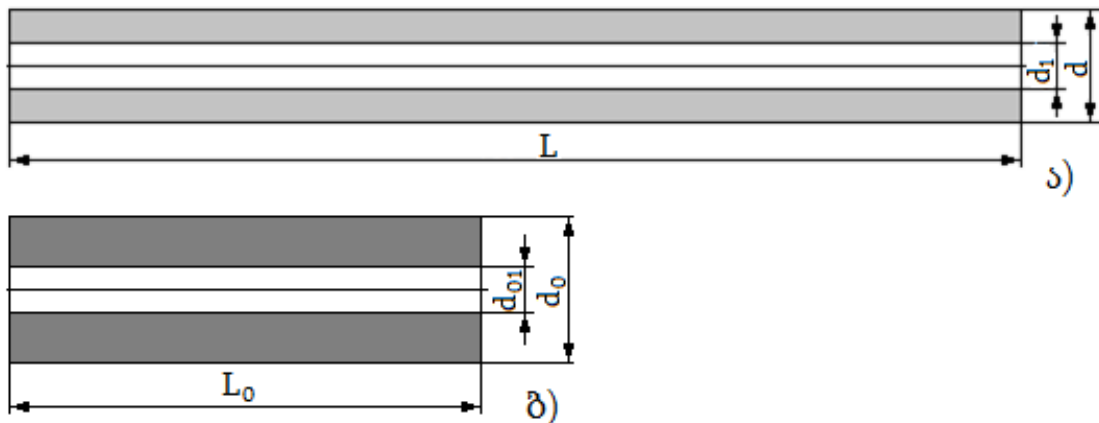
შეტაცების პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დატვირთვის ტიპი. ასე მაგალითად, ვიბრაციული დატვირთვის შემთხვევაში ხახუნის კოეფიციენტი რამდენიმეჯერ მცირდება - ფოლადისათვის 6-ჯერ, სპილენძისათვის 5-ჯერ, დიურალუმინისათვის 6 ან 7-ჯერ, რაც, ცხადია, ხელს უწყობს ლითონის შეტაცებას.

ხახუნთან ერთად ვიბრაციული ანუ პულსაციური დატვირთვის დროს მცირდება ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა. ეს ხდება ლითონის ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილების შედეგად (იცვლება შინაგანი ხახუნი, ხდება ტემპერატურის ამაღლება და ა.შ.).

მამსადაამე, პულსაციური დატვირთვის დროს, რომელიც დამახასიათებელია რადიალურ-საჭედი მანქანებისათვის შესაძლებელია მანქანის დატვირ-თულობის მნიშვნელოვანი შემცირება.

დერმსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის პროცესში დეფორმაციის კერაში მყოფი ნამზადის ნაწილი განიცდის პლასტიკურ დეფორმირებას.

დერმსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის ძალის ანგარიშის დროს პირველ რიგში, ნაჭედის ზომებიდან გამომდინარე, უნდა განისაზღვროს საწყისი ნამზადის ზომები. ნამზადის ზომები ჭედვის შემდეგ და ჭედვამდე მოცემულია ნახ. 13-ზე.



ნახ. 13. ნამზადის ზომები ჭედვის შემდეგ (ა) და ჭედვამდე (ბ)

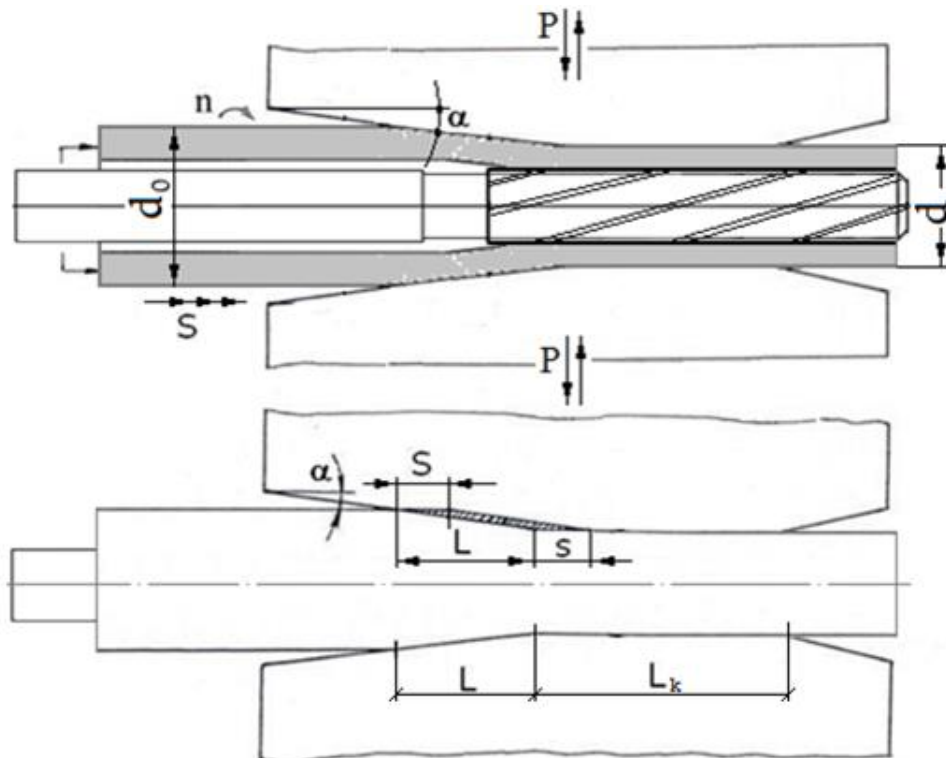
ნაჭედის განივი კვეთის ფართი უდრის: $F = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4}$, სადაც d_1, d არის ნაჭედის შიგა და გარე დიამეტრები. ხოლო ნამზადის განივი კვეთის ფართი შეგვიძლია ასე გამოვსახოთ: $F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} - \frac{\pi d_{01}^2}{4}$, სადაც d_{01}, d_0 არის ნამზადის შიგა და გარე დიამეტრები.

გამოჭიმვის კოეფიციენტის μ გათვალისწინებით ნაჭედის და ნამზადის განივი კვეთის ფართობი დაკავშირებულია შემდეგი ტოლობით: $F_0 = \mu F$, რომლის გარდაქმნის შემდეგ ვიღებთ ასეთ განტოლებას:

$$\frac{\pi}{4} \cdot (d_0^2 - d_{01}^2) = \mu \cdot \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2),$$

საიდანაც ნამზადის გარე დიამეტრი უდრის: $d_0 = \sqrt{d_{01}^2 + \mu(d^2 - d_1^2)}$.

შემდეგ ვანგარიშობთ საკონტაქტო ფართს ნამზადსა და ინსტრუმენტს შორის, რისთვისაც მივმართავთ დეფორმაციის კერის სქემას (ნახ. 14).



ნახ. 14. დეფორმაციის კერის სქემა

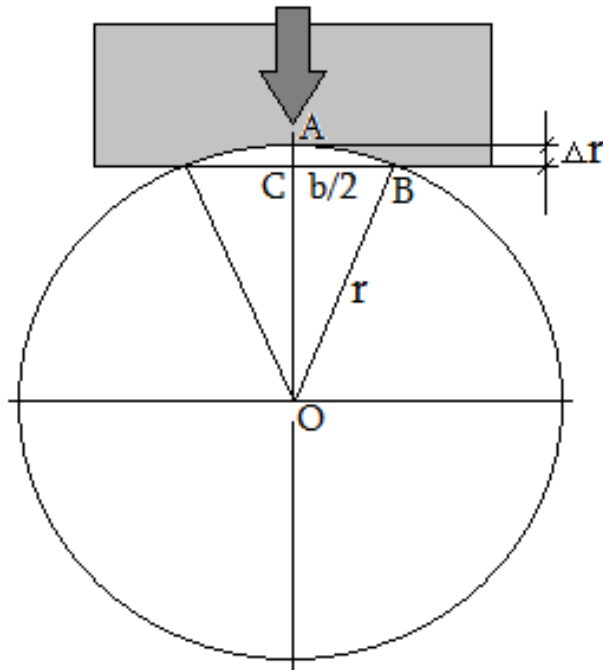
ამ სქემის თანახმად დეფორმაციის კერის სიგრძე უდრის [44]:

$$L = \frac{d_0 - d}{2 \operatorname{tg} \alpha} + S$$

სადაც d_0 არის ნამზადის საწყისი დიამეტრი; d_1 – ნაჭედის დიამეტრი; S – ნამზადის გრძივი მიწოდება; $S = \frac{60v}{N}$, აქ v – მანიპულატორის სიჩქარე;

N – საცემელების რხევის სიხშირე.

საკონტაქტო ზედაპირის სიგანე შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ნახ. 15-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



ნახ. 15. სქემა საკონტაქტო ზედაპირის სიგანის განსაზღვრისათვის

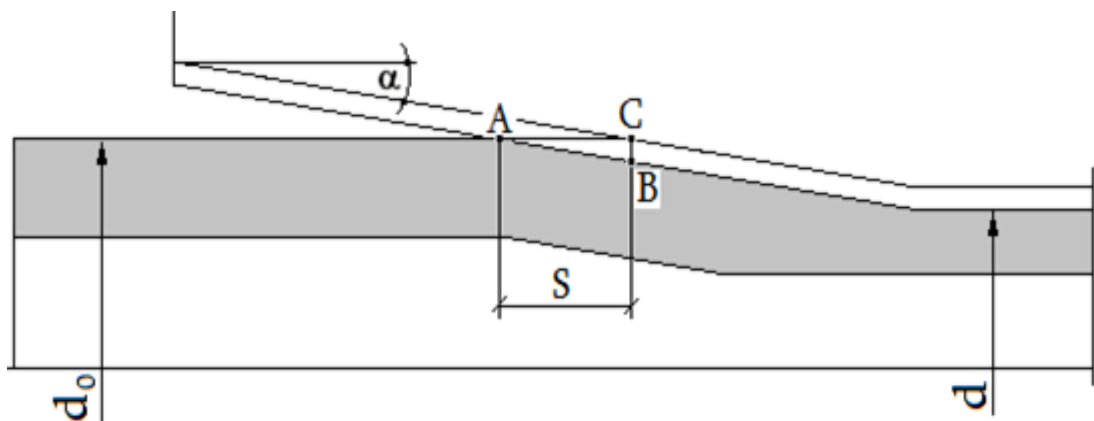
სამკუთხედიდან OBC ვიღებთ, რომ:

$$b/2 = \sqrt{r^2 - (r - \Delta r)^2} = \sqrt{r^2 - (r^2 - 2r \cdot \Delta r + \Delta r^2)} \approx \sqrt{2r \cdot \Delta r} \text{ ანუ } b = 2\sqrt{2r \cdot \Delta r},$$

სადაც r არის ნამზადის რადიუსი; Δr – ერთეული მოჭიმვა.

ნამზადის ერთეული მოჭიმვა Δr უნდა ვიანგარიშოთ ნახ. 16-ზე მოცემული სქემის მიხედვით. ამ სქემის თანახმად ნამზადის ერთეული მოჭიმვა იქნება:

$$\Delta r = S \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

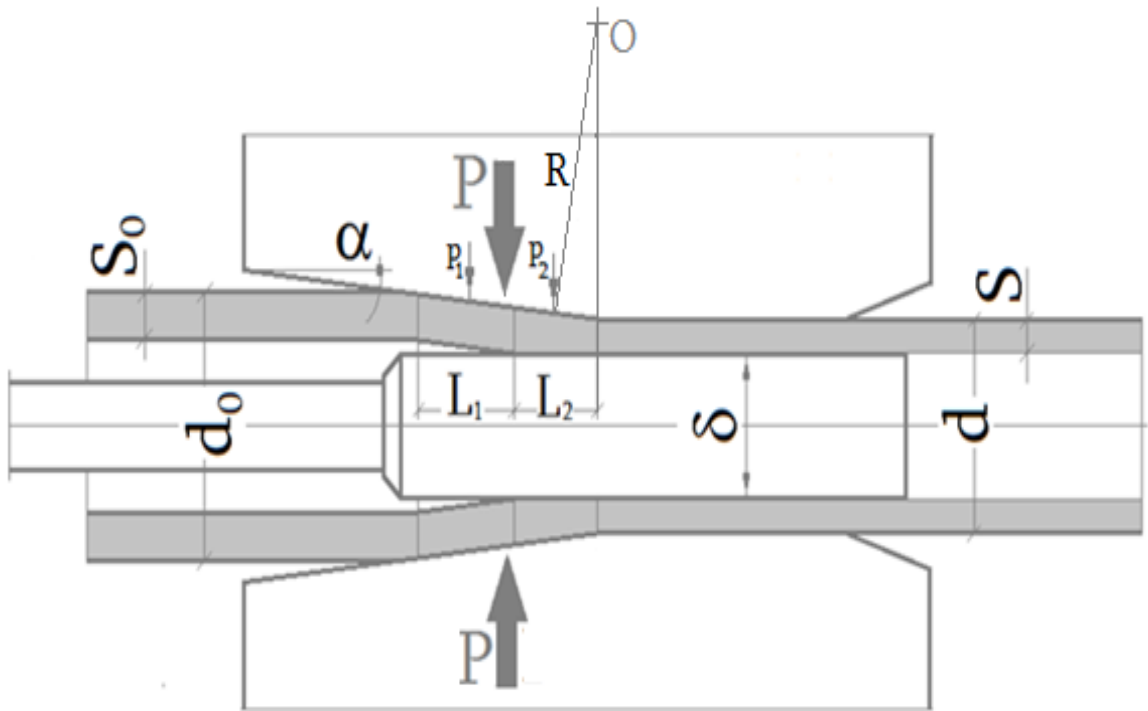


ნახ. 16. ნამზადის ერთეული მოჭიმვის საანგარიშო სქემა

მაშინ საკონტაქტო ზედაპირის ფართი უდრის:

$$F = Lb = 2 \cdot \left(\frac{d_0 - d}{2 \operatorname{tg} \alpha} + S \right) \cdot \sqrt{2r \cdot \Delta r}.$$

საშუალო საკონტაქტო წნევა განვსაზღვრავთ ნახ. 17-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



ნახ. 17. საშუალო საკონტაქტო წნევის განვსაზღვრის სქემა

ამ სქემის თანახმად საშუალო საკონტაქტო წნევა უდრის: $\bar{p} = \frac{p_1 + p_2}{2}$. წნევა დიამეტრის შემცირების ზონაში, მიახლოებით, შეგვიძლია ვიანგრიოთ ცნობილი ფორმულით მილების გლინვის თეორიიდან:

$$\bar{p}_1 = \eta \sigma_{faqt} \frac{2S_0}{\bar{d}},$$

სადაც η არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარეგანი ზონების გავლენას საშუალო ხვედრით წნევაზე და უდრის:

$$\eta = 1 + 0,9 \frac{\bar{d}}{l_1} \sqrt{\frac{S_0}{\bar{d}}};$$

σ_{faqt} არის ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის წინააღმდეგობა; ის მოყვანილია საცნობერო ლიტერატურაში ცხრილების ან გრაფიკების სახით, საიდანაც შეგვიძლია დავადგინოთ მისი რიცხვითი მნიშვნელობა.

S_0 – მილის კედლის საწყისი სისქე;

\bar{d} – მილის საშუალო დიამეტრი, რომელიც უდრის: $\bar{d} = \frac{d_0 + d_1}{2}$;

l_1 – დიამეტრის შემცირების ზონის სიგრძე.

საშუალო საკონტაქტო წნევა p_2 მოჭიმვის ზონაში შეგვიძლია განვსაზღვროთ ა. ი. ცელიკოვის მეთოდით, რომლის თანახმად აღნიშნული სიდიდე მიიღება ნახ. 18-ზე მოცემული დიაგრამის გამოყენებით. ამისათვის განვსაზღვრავთ ε და δ სიდიდეებს, რისთვისაც მივმართავთ ნახ. 16-ზე მოცემულ სქემას, რომლის მიხედვით ფარდობითი მოჭიმვა:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S},$$

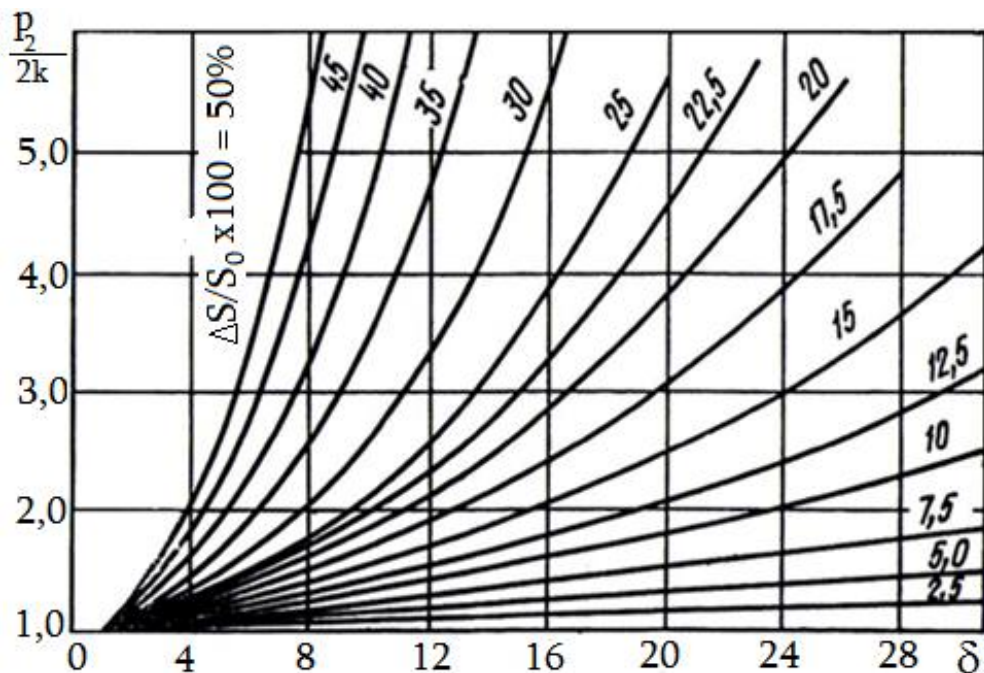
სადაც ΔS არის მილის კედლის აბსოლუტური მოჭიმვა ანუ $\Delta S = S_0 - S_1$.

პარამეტრი δ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით: $\delta = 2f \sqrt{\frac{R}{\Delta S}}$,

სადაც f არის ხახუნის კოეფიციენტი;

R - მონაკვეთის სიგრძე კედლის მოჭიმვის ზონის შუა წერტილიდან O წერტილამდე; O წერტილი კედლის მოჭიმვის ზონის

შუა და ბოლო წერტილების გადაკვეთაზე.



ნახ. 18. ხვედრით წნევების განსაზღვრის დიაგრამა

ამის შემდეგ ε და δ სიდიდეების მიხედვით დიაგრამიდან აიღება $P_2/2k$ თანაფარდობის მნიშვნელობა, საიდანაც ვიღებთ p_2 საკონტაქტო წნევას, იმის გათვალისწინებით, რომ $2k = 1,15\sigma_{\text{ფაქტ}}$. ცივი დეფორმაციის შემთხვევაში $\sigma_{\text{ფაქტ}} = \bar{\sigma}_s$, აქ $\bar{\sigma}_s$ არის ლითონის დენადობის საშუალო ზღვარი. ცივი დეფორმაციის დროს განმტკიცებული ლითონის დენადობის ზღვარი ხარისხიანი ფოლადებისათვის შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ფორმულა-ლით [45]: $\sigma_s = \sigma_{s0} + 2,4\varepsilon^{0,64}$, სადაც ε არის ნამზადის ფარდობითი დეფორმაცია: $\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\%$. დენადობის ზღვრის საშუალო მნიშვნელობა იქნება:

$$\bar{\sigma}_s = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_s}{2}.$$

ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის წინააღმდეგობის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ შემდეგი ემპირიული ფორმულებით:

ფოლადი 10 - $\sigma_{0,2} = 30 + 2,95\varepsilon^{0,64}$; $\sigma_B = 57 + 2,78\varepsilon^{0,62}$;

ფოლადი 45 - $\sigma_{0,2} = 35 + 8,66\varepsilon^{0,48}$; $\sigma_B = 58,5 + 1,44\varepsilon^{0,83}$;

ფოლადი 65 Г - $\sigma_{0,2} = 40 + 17\varepsilon^{0,35}$; $\sigma_B = 78 + 1,9\varepsilon^{0,93}$;

ფოლადი V9 A - $\sigma_{0,2} = 30 + 12,7\varepsilon^{0,41}$; $\sigma_B = 60 + 1,5\varepsilon^{0,8}$;

ფოლადი 30 XГCA - $\sigma_{0,2} = 47,5 + 8,6\varepsilon^{0,45}$; $\sigma_B = 64 + 3,4\varepsilon^{0,61}$.

ზემოთმოყვანილი სიდიდეების განსაზღვრის შემდეგ გამოვთვლით დეფორმაციის ძალას: $P = p_1F_1 + p_2F_2$.

დეფორმაციის ძალის ანგარიშის მაგალითი (ნამზადი D24)

საწყისი მონაცემები:

- დიამეტრი დეფორმაციამდე $d_0 = 24$ მმ;
- დიამეტრი დეფორმაციის შემდეგ $d_1 = 16$ მმ;
- ნამზადის საწყისი კედლის სისქე $S_0 = 6$ მმ;
- ნამზადის საბოლოო კედლის სისქე $S_1 = 5$ მმ;

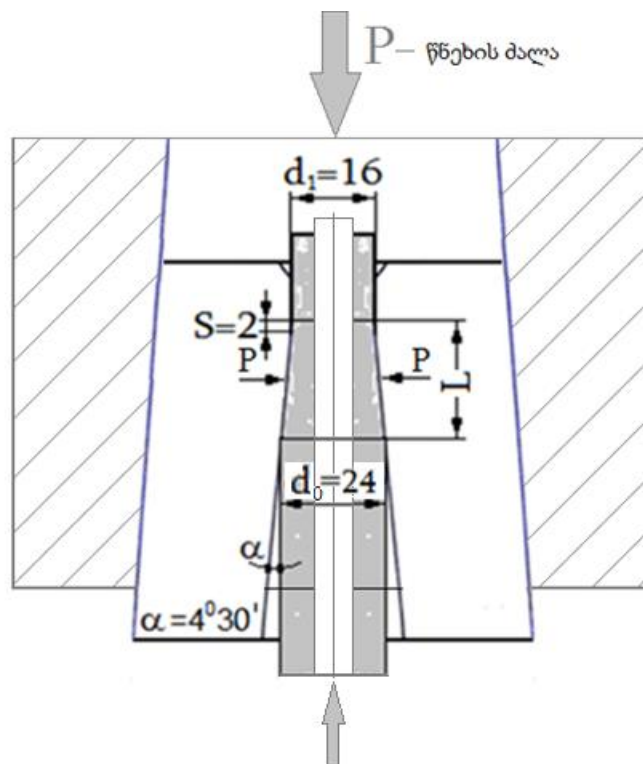
- ინსტრუმენტის კუთხე $\alpha = 4^{\circ}30'$; $\operatorname{tg}\alpha = 0,0787$;
- ნამზადის მიწოდება $S = 2$ მმ;

მოჭიმვის ძალის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ-ზე 19.

1) დეფორმაციის კერის სიგრძე უდრის: $L = \frac{d_0 - d_1}{2 \operatorname{tg}\alpha} + S = \frac{24 - 16}{2 \cdot 0,0787} + 2 = 52,83$ მმ.

- მოჭიმვის ზონის სიგრძე უდრის: $l_2 = \frac{4S}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{6 - 5}{0,0787} = 12,7$ მმ.

- დიამეტრის შემცირების ზონის სიგრძე: $l_1 = L - l_2 = 52,83 - 12,7 = 40,13$ მმ.



ნახ. 19. მოჭიმვის ძალის საანგარიშო სქემა

2) საკონტაქტო ზედაპირის ფართი უდრის:

$$F = \pi \frac{d_0 + d_1}{2} \cdot L = 3,14 \cdot \frac{24 + 16}{2} \cdot 52,83 = 3318 \text{ მმ}^2.$$

- საკონტაქტო ფართობი დიამეტრის შემცირების ზონაში უდრის:

$$F_1 = \pi \frac{d_0 + d_1}{2} \cdot l_1 = 3,14 \cdot \frac{24 + 16}{2} \cdot 12,7 = 798 \text{ მმ}^2.$$

- საკონტაქტო ფართობი მოჭიმვის ზონაში უდრის:

$$F_2 = F - F_1 = 3318 - 798 = 2520 \text{ მმ}^2.$$

3) საშუალო საკონტაქტო წნევა უდრის: $\bar{p} = \frac{P_1 + P_2}{2}$.

4) კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარეგანი ზონების გავლენას საშუალო ხვედრით წნევაზე და უდრის:

$$\eta = 1 + 0,9 \frac{\bar{d}}{l_1} \sqrt{\frac{S_0}{\bar{d}}};$$

- საშუალო დიამეტრი: $\bar{d} = \frac{d_0 + d}{2} = \frac{24 + 16}{2} = 20 \text{ მმ};$

- დიამეტრის შემცირების ზონის სიგრძე $l_1 = 40,13 \text{ მმ};$

მაშინ კოეფიციენტი $\eta = 1 + 0,9 \frac{20}{40,13} \sqrt{\frac{6}{20}} = 1 + 0,25 = 1,25.$

5) წნევა დიამეტრის შემცირების ზონაში უდრის:

$$\bar{p}_1 = \eta \sigma_{\text{ვ.ძბ}} \frac{2S_0}{d} = 1,25 \cdot 5 \cdot \frac{2 \cdot 6}{20} = 3,75 \text{ კგ/მმ}^2.$$

6) მილის კედლის სისქის ფარდობითი მოჭიმვა:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100\% = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100\% = \frac{6 - 5}{6} \cdot 100\% = 16,65\%;$$

7) პარამეტრი δ უდრის: $\delta = 2f \sqrt{\frac{R}{\Delta S}}; \quad R = \frac{0,5l_2}{\text{tg}\alpha} = \frac{0,5 \cdot 12,7}{0,0787} = 80,7 \text{ მმ};$

მაშინ პარამეტრი $\delta = 2 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{80,7}{1}} = 3,59.$

8) როცა $\varepsilon = 16,66\%$ და $\delta = 3,59$ დიაგრამიდან ვიღებთ $\frac{p_2}{2k} = 1,4.$ ვინაიდან

$2k = 1,15\sigma_{\text{ვ.ძბ}} = 1,15 \cdot 5 = 5,75$ საკონტაქტო წნევა მოჭიმვის ზონაში იქნება:

$$p_2 = 1,4 \cdot 2k = 1,4 \cdot 5,75 = 8,05 \text{ კგ/მმ}^2.$$

9) განვსაზღვროთ დეფორმაციის ძალა:

$$P = p_1 F_1 + p_2 F_2 = 3,75 \cdot 798 + 8,05 \cdot 2520 = 2993 + 20286 = 23279 \text{ კგ}.$$

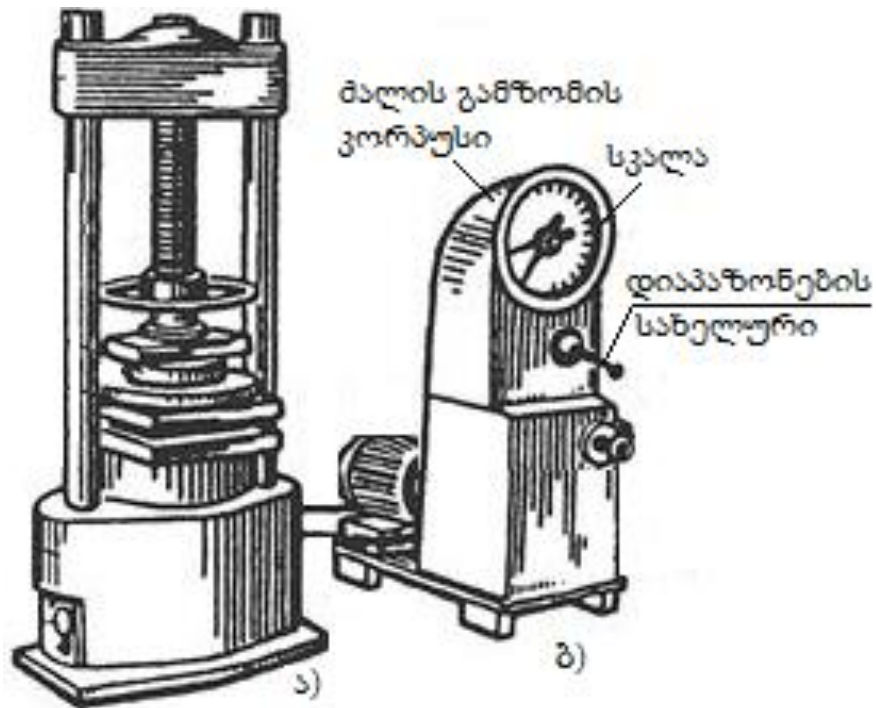
ანალოგიურად, მიიღება მოჭიმვის ძალების მნიშვნელობები დეფორმაციის კერის პარამეტრების სხვადასხვა სიდიდეებზე.

2.2. რადიალური მოჭიმვის ძალების და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა

2.2.1. ძალების გამზომი ხელსაწყოები

საცდელი წნეხები აღჭურვილია სხვადასხვა ტიპის ძალის გამზომი ხელსაწყოებით. ფართოდაა გავრცელებული ჰიდრავლიკური ტიპის ძალის

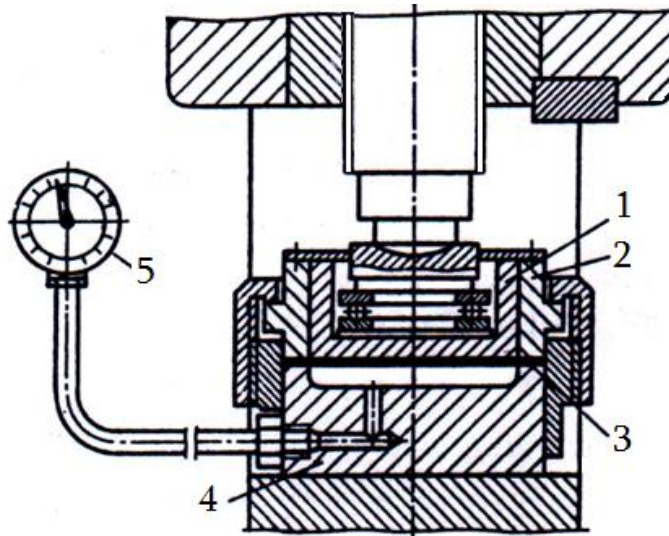
გამზომი ხელსაწყოები, რომლებიც გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და საკმარისი სიზუსტით. აღნიშნული გამზომი ხელსაწყოები, როგორც წესი, ჩართულია უშუალოდ წნეხის კომნსტრუქციაში. ნახ. 20-ზე წარმოდგენილია ჰიდრაულიკური წნეხი, რომელიც აღჭურვილია ტორსიონის ტიპის ძალის გამზომი მოწყობილობით.



ნახ. 20. ტორსიონის ტიპის ძალის გამზომით აღჭურვილი წნეხი

წნეხი შედგება ორი აგრეგატისგან: საკუთრივ წნეხისაგან (ა) და ძალოვანი დანადგარისაგან (ბ). ძალის გამზომი მოწყობილობა მოთავსებულია ძალოვანი დანადგარის ზედა ნაწილში. ტორსიონული ძალის გამზომი დაკავშირებულია წნეხის ჰიდროსისტემასთან ორი საზომი ჰიდრაულიკური ცილინდრის მეშვეობით, რომლებიც, საჭიროების დროს, მონაცვლეობით ჩაერთვებიან მუშაობაში. საზომი ჰიდროცილინდრების აქვს დგუმებს განსხვავებული ფართი, რაც საშუალებას გვაძლევს ერთი და იმავე სკალაზე ავიღოთ ანათვლები სხვადასხვა დიაპაზონში - 200 და 500 კნ. დიაპაზონების დაყენება ხდება სპეციალური სახელურით.

ძალების გაზომვისათვის ფართოდ გამოიყენება ჰიდრაულიკური მესდოზები (ნახ. 21) [45, 46].

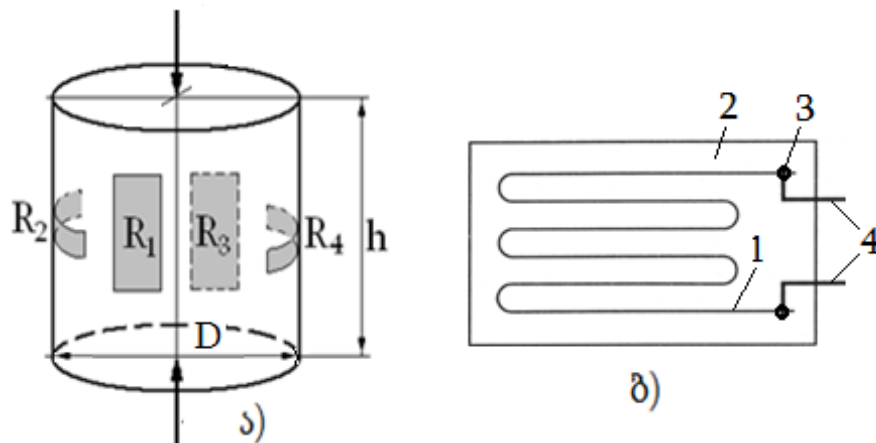


ნახ. 21. ჰიდრავლიკური მესდოზა:

1. დგუში; 2. ცილინდრის ფუძე; 3. მემბრანა; 4. ცილინდრი; 5. მანომეტრი

ჰიდრავლიკური მესდოზა კონსტრუქციით მარტივია და მოქმედებაში საიმედო. ის გამოყენება ძალების გასაზომად ლითონების წნევით დამუშავების მანქანებში.

ძალების გასაზომად ფართოდ გამოიყენება მავთულგადამწოდინი მესდოზები [47-49] (ნახ. 22).



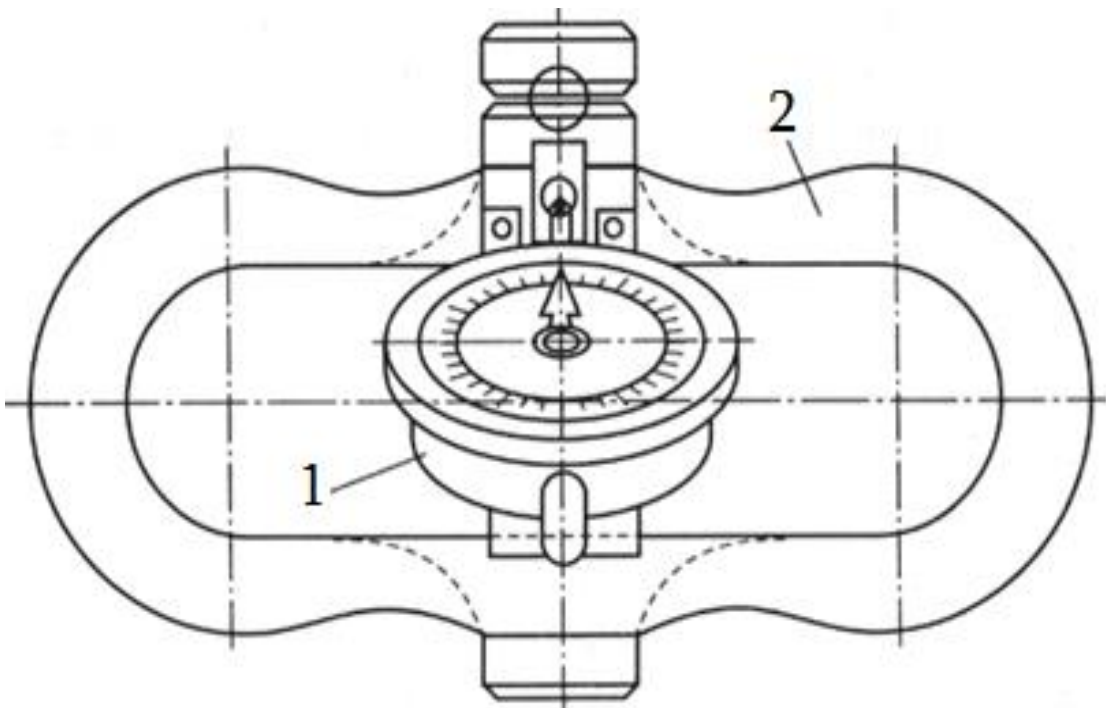
ნახ. 22. ტენზომეტრიული მესდოზა

- ა - ცილინდრული ღერო; ბ - ტენზოგადამწოდი
(1. გამტარი; 2. პლასტმასის ფუძე; 3. კლემები; 4. წვეროები)

ტენზომეტრიული მესდოზა შეიცავს დრეკად ღეროს, რომელზე დაწეპებულია მავთულგადამწოდები. მავთულგადამწოდების შეერთებულია ელექტრული ბოგირის ან ნახევარბოგირის სქემით.

ძალით დატვირთვის დროს მესდოზის დრეკადი ღერო განიცდის დეფორმაციას, შესაბამისად დეფორმირდება მავთულგადამწოდები, რაც გამოიწვევს ელექტრული ბოგირის დისბალანსს და ელექტრული სიგნალის გაჩენას. ეს სიგნალი ფიქსირდება ოსცილოგრაფის მიერ. ზოგ შემთხვევაში სიგნალის რეგისტრირება ხდება მილიამპერმეტრით.

ძალების გაზომვა ხშირად ხდება მექანიკური დინამომეტრებით (ნახ. 23). მექანიკურ დინამომეტრებში, რომლებშიც დრეკადი ელემენტი მცირე დეფორმაციებს ღებულობს, ძალების გაზომვისათვა და რეგისტრაცია ხდება საათის ტიპის ინდიკატორებით, რომელთა სკალის დანაყოფების სხვაობა 0,01 მმ-ს შეადგენს. ინდიკატორებით აღჭურვილი დინამომეტრები, რომელთა ჩვენების ცდომილება 0,5%-ს არ აღემატება, მიეკუთვნება ეტალონურ საზომ ხელსაწყოებს და გამოიყენება საცდელი მანქანების და წნეხების შესამოწმებლად.



ნახ. 23. დინამომეტრი 30 კნ დატვირთვაზე:

1. საათის ტიპის ინდიკატორი; 2. დრეკადი ელემენტი

ამჟამად, სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს ელექტრონული დინამომეტრები. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ელექტრონული

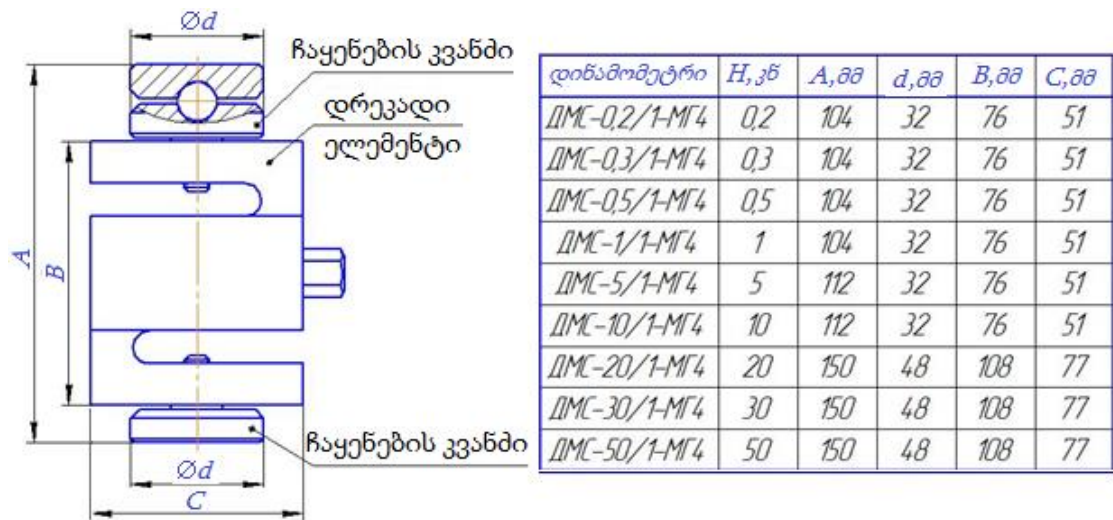
დინამომეტრი ДМУ-Н/Т-КМГ4, რომელიც განკუთვნილია სტატიკური და ნელად ცვალებადი ძალების გაზომვისათვის (ნახ. 24).



ნახ. 24. უნივერსალური ელექტრონული დინამომეტრი ДМУ-Н/Т-КМГ4

ა - დინამომეტრი; ბ - გაჭიმვის დრეკადი ელემენტი; გ - კუმვის დრეკადი ელემენტი

დინამომეტრი ДМУ-Н/Т-КМГ4 შედგება ელექტრონული ბლოკისგან, ძალის გადამწოდისგან (ნახ. 25) და ჩაყენების კვანძის ორი კომპლექტისაგან (ძალის შემყვა-ნი ელემენტები) - ერთი კვანძი კუმზვაზე და მეორე გაჭიმვაზეა გათვალისწინებული.



ნახ. 25. ძალის გადამწოდი

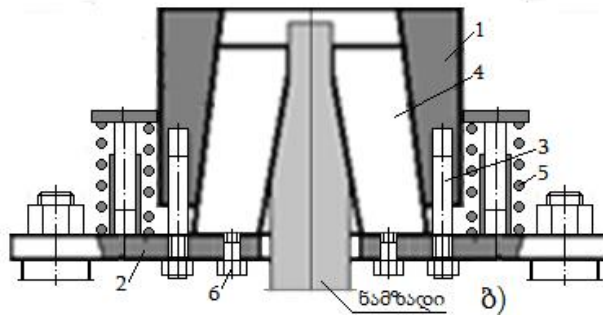
2.2.2. ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა

რადიალური მოჭიმვის პროცესში დეფორმაციის კერაში მოქმედი ძალოვანი ფაქტორების - ძალებისა და ძაბვების ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა ლაბორატორიულ წნეხზე MC - 500 რადიალური მოჭიმვის სპეციალური მოწყობილობის გამოყენებით (ნახ. 26), რომელმაც საშუალება

მოგვცა დაგვედგინა ტყვიის ნაზადების დატვირთვები და ნამზადების შიგნით აღმრული ძაბვები [50-52].



ა)



ბ)

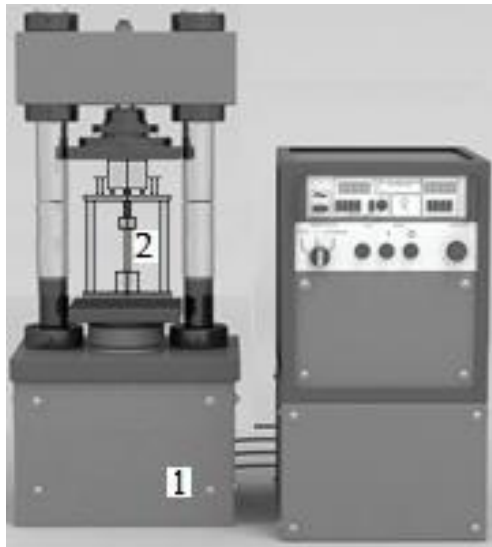
ნახ. 26. მოწყობილობა რადიალური მოჭიმვისათვის

ა - მოჭიმვის ბლოკი; ბ - მოჭიმვის ბლოკის სქემა

მოწყობილობის მთავარი კვანძი - მოჭიმვის ბლოკი შეიცავს დამწოლ მილისას 1, რომელიც გადაადგილდება ფილაზე 2 დამაგრებულ ორ მიმართველ შტიფტზე 3. დამწოლი მილისა 1 შეუღლებულია მომჭერებთან 4 (ასეთი მომჭერი ოთხი ცალია). მომჭერების გვერდითი გამონაჩარხებში ჩაწყობილია ზამზარები (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის), რომლებიც უზრუნველყოფენ მომჭერების კონტაქტს დამწოლ მილისასთან. დამწოლი მილისა 1 დაყრდნობილია ზამზარებზე 5. ჭანჭიკების 6 დანიშნულებაა მომჭერის დაკავება ღერძული მიმართულებით.

საცდელი ნიმუშის რადიალური მოჭიმვა ხდება ასეთნაირად. როცა ჩაირთვება წნეხი, მისი ყვინთა გადაადგილებს დამწოლ მილისას 1, რომელიც აწევს მომჭერებს 4 და მიუახლოვებს მათ ერთმანეთთან, რის გამო ლითონის ხდება ლითონის ერთეული მოჭიმვა. ეს პროცესი პერიოდულად მეორდება მანამ სანამ არ დამთავრდება ლითონით დეფორმაციის კერის შევსება.

ექსპერიმენტული დანადგარი - საცდელი წნეხი და რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა წარმოდგენილია ნახ. 27-ზე.



ნახ. 27. წნეხი MC – 500 (პოზ. 1)
და რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა (პოზ. 2)

წნეხს აქვს ჰიდრავლიკური ძალის გამზომი მოწყობილობა და შეუძლია გაზომვა 20 -200 კნ და 50 – 500 კნ დიაპაზონი.

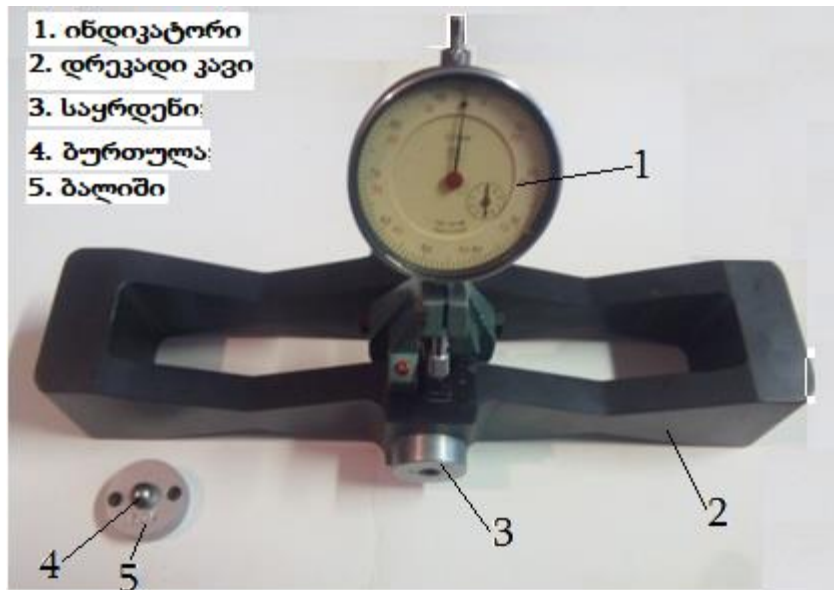
წნეხის ტექნიკური მახასიათებლები:

- მაქსიმალური დატვირთვა: 500 კნ;
- მუშა ცილინდრის დეგუმის სვლა: 70 მმ;
- მანძილი კოლონებს შორის, მმ: 340 მმ;
- ზეთის რეკომენდირებული მარკა: MC-20;
- დანადგარის წონა; 660 კგ;
- ელექტროძრავას სიმძლავრე: 1,5 კვტ.

უფრო ზუსტი გაზომვისათვის ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ ДОСМ 3 -5 ტიპის დინამომეტრი (ნახ. 28). დინამომეტრის ტექნიკური მახასიათებლები და ძირითადი პარამეტრები მოცემულია ქვემოთ.

ცხრილი 1. დინამომეტრის ДОСМ 3 -5 ტექნიკური მახასიათებლები

№	პარამეტრი	მნიშვნელობა
1	დატვირთვა, კგ	500 - 5000
2	სკალის დანაყოფი, კგ	7,5
3	ჩვენების სხვაობა შებრუნებულ დატვირთვებაზე, %	0,8
4	მგრძნობიარება,%	0,02
5	ზომები, მმ	280 x165 x116
6	მასა, კგ	4



ნახ. 28. ძალის გამზომი

ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობის ინსტრუმენტზე მოქმედი ძალებისა და საცდელი ნიმუშის შინაგანი ძაბვების მნიშვნელობები და მათი განაწილების კანონზომიერებები.

2.2.3. რადიალური მოჭიმვის პრიცესში მოქმედი ძალების კვლევა

ექსპერიმენტებისათვის გამოყენებულ იქნა ტყვიისაგან დამზადებული საცდელი ნიმუშები (სიმტკიცე 12 – 13 მპა - გაჭიმვა, ხოლო - 50 მპა - კუმშვა) ზომებით: D20; 24 მმ; L=100 მმ.

ცდები ჩატარდა მოჭიმვის შემდეგ რეჟიმებზე:

1. მთლიანი დიამეტრალური მოჭიმვა D20 მმ ნიმუშისათვის – 4 მმ; D24 მმ ნიმუშისათვის – 8 მმ;

2. ერთეული დიამეტრალური მოჭიმვა ორივე ნიმუშისათვის:

$$\max \Delta d = 0,314 \text{ მმ}, \quad \min \Delta d = 0,208 \text{ მმ} \text{ (როცა } \alpha = 4^{\circ}30')$$

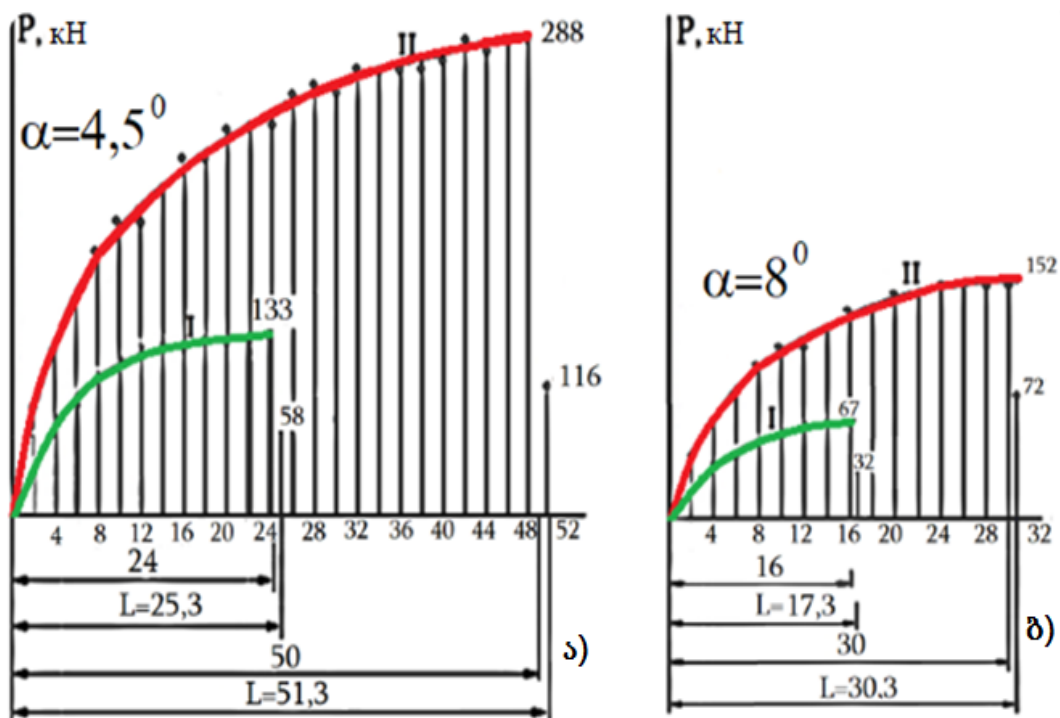
$$\max \Delta d = 0,557 \text{ მმ}, \quad \min \Delta d = 0,370 \text{ მმ} \text{ (როცა } \alpha = 8^{\circ}).$$

ექსპერიმენტების ყოველივე სერია შედგებოდა გამოცდების ოთხი ჯგუფისაგან. პირველი სერიის დროს ინსტრუმენტის მუშა კუთხე შეადგენდა $\alpha = 4^{\circ}30'$, მეორე სერიის დროს - $\alpha = 8^{\circ}$. ნიმუშების მიწოდება დეფორმაციის კერაში შეადგენდა 2 მმ-ს. ცდების შემდეგ ფიქსირდებოდა

ძალის მნიშვნელობა. ექსპერიმენტის საბოლოო შედეგები მოყვანილია ცხრილში 2, ხოლო ძალის გრაფიკები მოცემულია ნახ.39

ცხრილი 2. ექსპერიმენტის შედეგები

№	d_0	d_1	S	Δr	$\Delta d = 2\Delta r$	α	$P_{\text{ფეხ}}$ დაფორმაციის ძალა
	*10 ³	*10 ³	*10 ³	*10 ³	*10 ³		
	მ	მ	მ	მ	მ	გრად	ნ
1	20	16	2	0,157	0,314	4,5	133750
2	20	16	1,3	0,104	0,208	4,5	58750
3	24	16	2	0,157	0,314	4,5	288750
4	24	16	1,3	0,104	0,208	4,5	116250
5	20	16	2	0,278	0,557	8,0	67150
6	20	16	1,3	0,185	0,370	8,0	32150
7	24	16	2	0,278	0,557	8,0	152140
8	24	16	1,3	0,185	0,370	8,0	72140



ნახ. 29. მოჭიმვის ძალის გრაფიკები:

ა - ($\alpha = 4^\circ 30'$): I - ნიმუში D20; II - D24; ბ - ($\alpha = 8^\circ$): I - ნიმუში D20; II - D24

ძალის გრაფიკების ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ დეფორმაციის კერაში რადიალური ძალა ჯერ სწრაფად იზრდება, შემდეგ კი თანდათან აღწევს დაყმარებული დამყარებულ მნიშვნელობას. ნამზადის დიამეტრი და დიამეტრის მოჭიმვა ერთნაირ ზემოქმედებას ახდენს ძალაზე.

რაც შეეხება მესამე ფაქტორის გავლენას რადიალური მოჭიმვის ძალაზე, მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა კუთხის გაზრდამ ($\alpha = 4^{\circ}36' \rightarrow \alpha = 8^{\circ}$) გამოიწვია დეფორმაციის ძალის 2-ჯერ შემცირება D20 ნიმუშისათვის და 1,9-ჯერ D24 ნიმუშის შემთხვევაში.

ექსპერიმენტის შედეგები დამუშავდა მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით. გამოყენებული იყო გეგმა $\Pi\Phi\Xi 2^2$, როდესაც d_0 და Δd ღებულობდა მინიმალურ და მაქსიმალურ მნიშვნელობას [53,54]. ამ შემთხვევაში საკმარისი იყო ცდების ორი სერიის ($\alpha = 4^{\circ}30'$ და $\alpha = 8^{\circ}$) ჩატარება, ხოლო თითოეულ სერიაში მონაწილეობდა ცდების ოთხი ჯგუფი. გამოსაკვლევ ფაქტორებად აღებული იყო ექსტრემალური მნიშვნელობები.

მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს რეგრესიის განტოლებას, რომელიც შეიცავს წრფივ წევრებს:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2,$$

სადაც b_0, b_1, b_2 მუდმივი კოეფიციენტებია; x_1, x_2 – კოდირებული ცვლადები;

x_1 – ნიმუშის დიამეტრის ცვლადი, მმ; $x_1 = \frac{d_0 - 22}{2}$; $d_0 = 20 \div 24$ მმ;

x_2 – დიამეტრის მოჭიმვის ცვლადი, მმ; $x_2 = \frac{\Delta d - 0,261}{0,053}$;

$\Delta d = 0,208 \div 0,314$ მმ.

ექსპერიმენტის პირველი ეტაპის ($\alpha = 4^{\circ}30'$) გეგმა $\Pi\Phi\Xi 2^2$ მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. ექსპერიმენტის პირველი ეტაპის ($\alpha = 4^{\circ}30'$) გეგმა $\Pi\Phi\Xi 2^2$

№	ფაქტორების აბსოლუტური მნიშვნელობა		ფაქტორების კოდური აღნიშვნა			დაფორმაციის ძალა, $P_{ფეხ}, ნ$
	$*10^3 d_0, მ$	$*10^3 \Delta d, მ$	x_0	x_1	x_2	y
1	20	0,314	+	-	+	133750
2	20	0,208	+	-	-	58750
3	24	0,314	+	+	+	288750
4	24	0,208	+	+	-	116250

ექსპერიმენტის გეგმით გათვალისწინებულია:

1) ინფორმაციული მატრიცის გაანგარიშება: $[M] = [X^T] \times [X]$;

$$[M] = \begin{bmatrix} +1+1+1+1 \\ -1-1+1+1 \\ +1-1+1-1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} +1-1+1 \\ +1-1-1 \\ +1+1+1 \\ +1+1-1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 400 \\ 040 \\ 004 \end{bmatrix} = 4 \times \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix};$$

2) კორელაციული მატრიცის შედგენა: $[C] = [M^{-1}] = \frac{1}{4} \times \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix}$;

3) კოეფიციენტების მატრიცის განსაზღვრა:

$$[B] = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = [C] \times [X^T] \times [Y] = \frac{1}{4} \times \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} +1+1+1+1 \\ -1-1+1+1 \\ +1-1+1-1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 13375 \\ 5875 \\ 28875 \\ 11625 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14938 \\ 5312 \\ 6188 \end{bmatrix};$$

4) მათემატიკური მოდელის განტოლების შედგენა:

$$y = 14938 + 5312x_1 + 6188x_2.$$

ექსპერიმენტის მეორე ეტაპის ($\alpha = 8^0$) გეგმა $\Pi\Phi\Xi 2^2$ მოცემულია ცხრილში 4.

ცხრილი 4. ექსპერიმენტის მეორე ეტაპის ($\alpha = 8^0$) გეგმა $\Pi\Phi\Xi 2^2$

№	ფაქტორების აბსოლუტური მნიშვნელობა		ფაქტორების კოდური აღნიშვნა			დაფორმაციის ძალა, $P_{def}, \text{ნ}$
	$*10^3 d_0, \text{m}$	$*10^3 \Delta d, \text{m}$	x_0	x_1	x_2	y
1	20	0,557	+	-	+	67150
2	20	0,370	+	-	-	32150
3	24	0,557	+	+	+	152140
4	24	0,370	+	+	-	72140

ამ შემთხვევაშიც იმავე მათემატიკური ოპერაციების გამოყენებით მიიღება მათემატიკური მოდელის განტოლება ექსპერიმენტის მეორე ეტაპისათვის: $y = 8090 + 3125x_1 + 2875x_2$.

მიღებული განტოლებებით შესაძლებელია ფაქტორების სხვსდასხვა მნიშვნელობების შემთხვევაში მოჭიმვის ძალების განსაზღვრა. მაგალითად, $d_0 = 23$ დიამეტრის ნიმუშისათვის დიამეტრის მოჭიმვის 0,285 მმ-ზე,

ფაქტორების კოდირებული მნიშვნელობები იქნება:

$$x_1 = \frac{d_0 - 22}{2} = \frac{23 - 22}{2} = 0,5; \quad x_2 = \frac{\Delta d - 0,261}{0,053} = \frac{0,285 - 0,261}{0,053} = 0,012.$$

მოჭიმვის ძალები კი ფაქტორების ამ მნიშვნელობებზე იქნება:

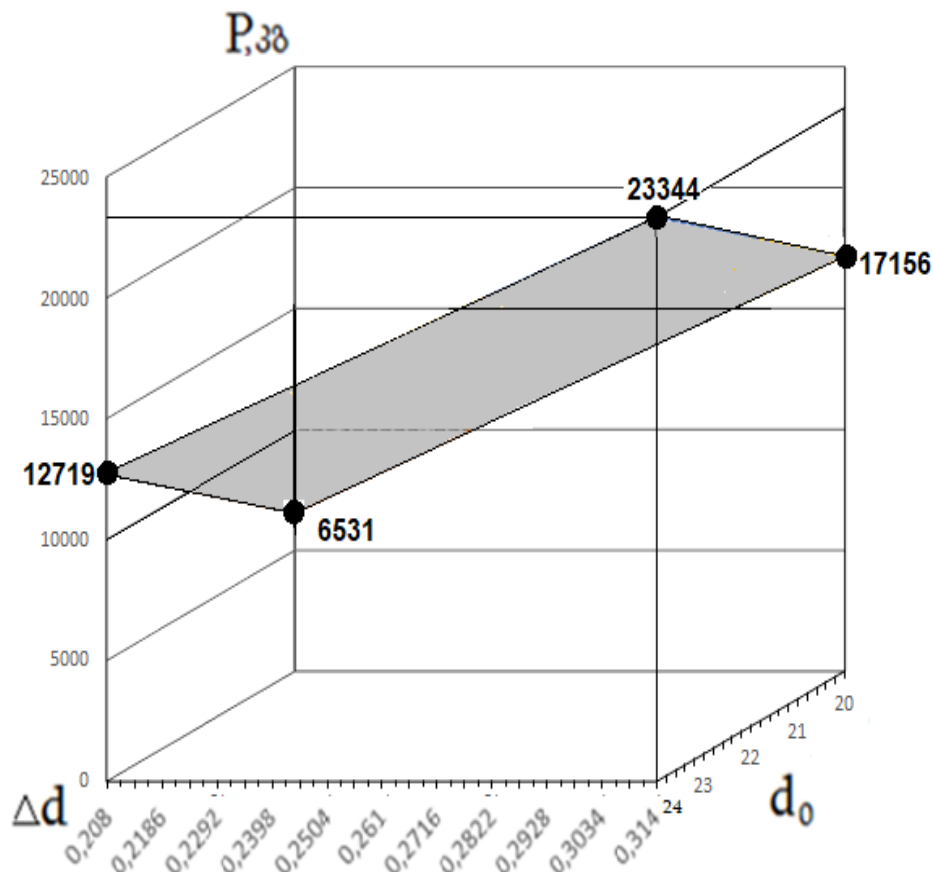
ექსპერიმენტის პირველ ეტაპზე

$$y = 14938 + 5312 \cdot 0,5 + 6188 \cdot 0,012 = 14938 + 2656 + 74 = 17578 \text{კგ.}$$

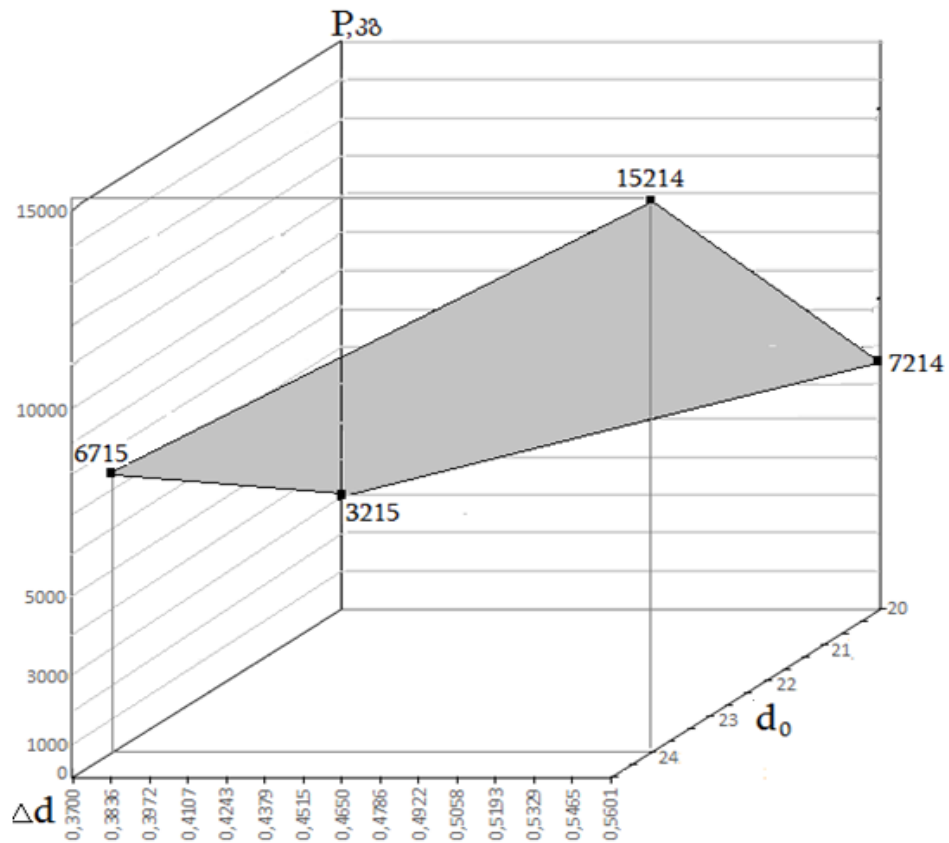
ექსპერიმენტის მეორე ეტაპზე

$$y = 8090 + 3125 \cdot 0,5 + 2875 \cdot 0,012 = 8090 + 1563 + 34 = 9687 \text{კგ.}$$

ამ განტოლებების საფუძველზე აგებულია რადიალური მოჭიმვის ძალების გრაფიკები სამგანზომილებიან საკოორდინატო სისტემაში, რომლებიც წარმოდგენილია 29 და 30 ნახაზებზე.



ნახ. 30 მოჭიმვის ძალების გრაფიკი: $P = f(d_0, \Delta d)$, როცა $\alpha = 4^{\circ}30'$



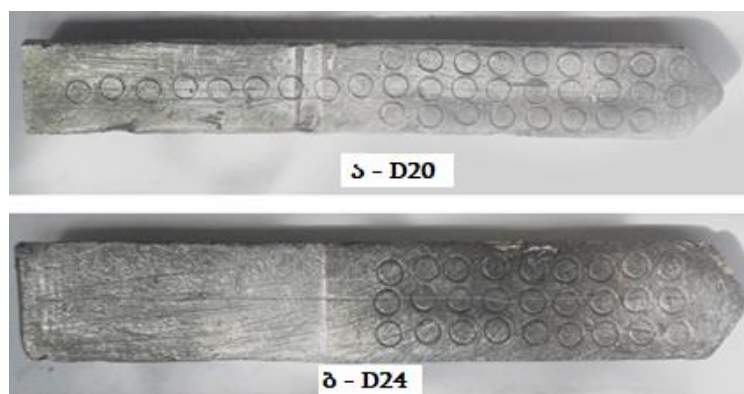
ნახ. 31. მოჭიმვის ძალების გრაფიკი: $P = f(d_0, \Delta d)$, როცა $\alpha = 8^\circ$

მიღებული განტოლებებით და გრაფიკებით შესაძლებელია მოჭიმვის ძალების განსაზღვრა ფაქტორების სხვსდასხვა მნიშვნელობებისათვის.

2.2.4. ძაბვების კვლევა ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით

საცდელი მანქანის MC – 500 გამოყენებით, რომელიც აღჭურვილი იყო ზემოთ აღწერილი რადიალურ მომჭიმი მოწყობილობით, ლაბორატორიულ პირობებში შევისწავლეთ ლითონის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა დეფორმაციის კერაში რადიალური მოჭიმვის დროს. ამისათვის გამოვიყენეთ ორი ნაწილისგან შედგენილი თყვიის ცილინდრული ნიმუშები, რომელთა ერთ-ერთი ნახევრის ღერძულ სიბრტყეში დატანილი იყო წრიული ანაბეჭდები საკოორდინატო ბადე [55,56].

საცდელი ნიმუშები ნაჩვენებია ნახ. 31-ზე. ნიმუშების მასალა არის ტყვია, რომლის სიმტკიცე გაჭიმვაზე 12 – 13 მპა, კუმშვაზე (შეზღუდულ პირობებში) - 50 მპა. ნიმუშების ზომები ასეთია: დიამეტრი - 20; 24 მმ; სიგრძე - 0,1 მ; წრიული ანაბეჭდების დიამეტრი - 5 მმ.

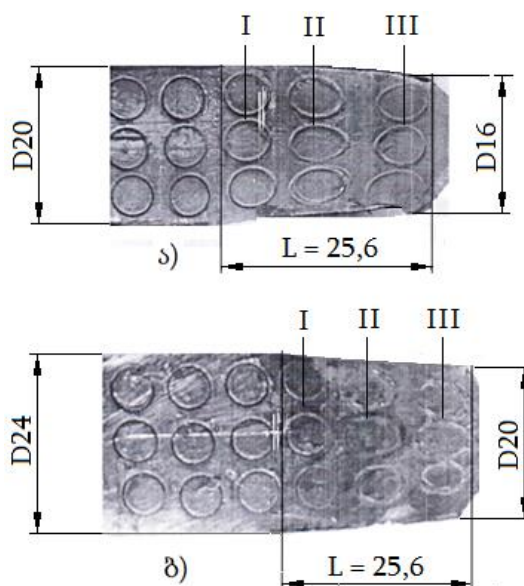


ნახ. 32. საცდელი ნიმუშები

ცდები ჩატარდა დეფორმაციის შემდეგ რეჟიმებზე:

1. საერთო მოჭიმვა ორივე ნიმუშისათვის – 0,004 მ(4 მმ);
2. ერთეული მოჭიმვა ორივე ნიმუშისათვის: $\Delta d = 0,000314$ მ (0,314მმ);
3. მიწოდება დეფორმაციის კერაში - 0,002 მ(2მმ).

ნიმუშების დეფორმაციის შედეგად საკოორდინატო ბადე განიცდის ფორმისა და ზომების ცვლილებას, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 32-ზე.



ნახ. 33. ნიმუშები დეფორმაციის შემდეგ

ელემენტარული სფეროები, რომელთა რადიუსია $r = 0,005$ მ (5მმ) დეფორმაციის შემდეგ გარდაიქმნება ელიფსოიდებად. პლასტიკურობის თეორიიდან ცნობილია, რომ ელიფსოიდების ნახევარღერძების შეფარდება საწყისი სფეროების რადიუსებთან წარმოადგენს შესაბამისი მთავარი დეფორმაციის მნიშვნელობას. დეფორმაცია ელიფსოიდის მთავარი

ღერძის გასწვრივ იქნება $\varepsilon_1 = \ln \frac{a}{r}$, ხოლო დეფორმაცია მეორე ღერძის

გასწვრივ უდრის: $\varepsilon_2 = \ln \frac{b}{r}$, ამ ფორმულებში a და b არის

ელიფსოიდების ნახევარღერძების მნიშვნელობები ნამზადის ღერძული და რადიალური მიმართულებით. დეფორმაციის მესამე კომპონენტი მოიძებნება მოცულობის მუდმივობის პირობიდან, რასაც ადგილი აქვს პლასტიკური დეფორმაციის დროს: $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$; დეფორმაციის საძიებელი კომპონენტი $-\varepsilon_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

მოჭიმვის შემდეგ ვზომავდით ელიფსოიდების ნახევარღერძების ზომებს ორი მთავარი ღერძის მიმართულებით და ვანგარიშობდით მესამე დეფორმაციის სიდიდეს. შედეგები შეტანილია ცხრილებში .4 და 5.

ცხრილი 5. ელემენტის დეფორმაციები – ნამზადი D20

კვეთის №	ელემენტის ზომები და დეფორმაციები – ნამზადი D20				
	ღერძული მიმართულებით		რადიალური მიმართულებით		ტანგენციური მიმართულებით
	$10^3 a$ მ.	$\varepsilon_1, \%$	$10^3 b$ მ.	$\varepsilon_2, \%$	$\varepsilon_3,$
საშუალო მნიშვნელობები					
0	5,00	0,0	5,00	0,0	0,0
1	5,34	6,8	4,68	-6,4	-0,4
2	5,48	9,6	4,54	-9,2	-0,4
3	5,64	12,8	4,46	-12,2	-0,6

ცხრილი 6. ელემენტის დეფორმაციები – ნამზადი D24

კვეთის №	ელემენტის ზომები და დეფორმაციები – ნამზადი D24				
	ღერძული მიმართულებით		რადიალური მიმართულებით		ტანგენციური მიმართულებით
	$10^3 a$ მ.	$\varepsilon_1, \%$	$10^3 b$ მ.	$\varepsilon_2, \%$	$\varepsilon_3,$
საშუალო მნიშვნელობები					
0	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00
1	5,26	5,2	4,76	-4,8	-0,4
2	5,39	7,8	4,62	-7,6	-0,2
3	5,54	10,8	4,48	-10,4	-0,4

დეფორმაციების მოცემული მნიშვნელობების მიხედვით განსაზღვრული იყო ელემენტში მოქმედი ძაბვების მნიშვნელობები. ვინაიდან დეფორმაციების მნიშვნელობები არ აღემატება მცირე პლასტიკურ დეფორმაციებს, ამიტომ შემდგომ ანგარიშს ვაწარმოებდით გ. გენკის თეორიაზე დაყრდნობით. ამ თეორიის შესაბამისად დადგენილია კავშირი პლასტიკური დეფორ-

მაციების ექვს კომპონენტსა და ძაბვების ექვს კომპონენტს შორის, რომელიც მათემატიკურად ასე გამოისახება [57-60]:

$$Xx = K\Delta + \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_{xx} - \frac{\varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}}{2} \right];$$

$$Yy = K\Delta + \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_{yy} - \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz}}{2} \right];$$

$$Zz = K\Delta + \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_{zz} - \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} \right];$$

$$Xy = \frac{1}{2\varphi} \times \varepsilon_{yz}; \quad Yz = \frac{1}{2\varphi} \times \varepsilon_{xy}; \quad Xz = \frac{1}{2\varphi} \times \varepsilon_{xz},$$

სადაც Xx, Yy, Zz, Xy, Yz, Xz არის ძაბვების კომპონენტები;

$\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xz}$ - დეფორმაციების კომპონენტებია;

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz};$$

φ - ცვლადი სიდიდე, რომელიც დაკავშირებულია ძვრის მოდულთან და ელემენტის კოორდინატებზეა დამოკიდებული;

K - სიდიდე, რომელიც მასალას ახასიათებს (პლასტიკურობის მუდმივა).

მოცულობის მუდმივობის კანონიდან გამომდინარე:

$$\Delta = 0, \text{ მაშინ } K\Delta = 0.$$

გარდა ამისა, ვინაიდან შერჩეული საკოორდინატო სისტემა მთავარია, შეგვიძლია მივიღოთ, რომ:

$$Xx = \sigma_1; \quad Yy = \sigma_2; \quad Zz = \sigma_3$$

$$Xy = Yz = Xz = 0;$$

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_1; \quad \varepsilon_{yy} = \varepsilon_2; \quad \varepsilon_{zz} = \varepsilon_3$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{xz} = 0$$

ამის შედეგად გვრჩება სამი განტოლება ოთხი უცნობით, რომელთაგან სამი ძაბვის კომპონენტია და მეოთხე - ცვლადი φ სიდიდეა, რომელიც კოორდინატების ფუნქციაა და დეფორმაციის ყოველივე მომენტისათვის მოითხოვს განსაზღვრას [61,62]:

$$\sigma_1 = \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_1 - \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_3}{2} \right]; \quad \sigma_2 = \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_2 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \right]; \quad \sigma_3 = \frac{2}{3\varphi} \left[\varepsilon_3 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \right]; \quad 1$$

მეოთხე განტოლებად ვიყენებთ გ. მიზესის პლასტიკურობის პირობას:

$$(Xx - Yy)^2 + (Yy - Zz)^2 + (Zz - Xx)^2 + 6(Xy^2 + Yz^2 + Zx^2) = 8K^2 \quad 2$$

სადაც K არის მასალის პლასტიკურობის მუდმივა.

მოცემულ შემთხვევაში (მთავარ საკოორდინატო სისტემაში) ეს პირობა ასე ჩაიწერება:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad 3$$

მაშასადამე, თუ ცნობილია დეფორმაციების კომპონენტები ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$), ძაბვების კომპონენტები ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) ადვილად მოიძებნება.

მაგალითისათვის, განვიხილოთ ანგარიში ცხრილის 2.3.5 კონკრეტული მონაცემებისათვის (კვეთი №1, ზედა განაპირა შრე). ტყვიის ნიმუშისათვის

შეგვიძლია მივიღოთ: $\sigma_s = 20$ მპა (2 კგ/მმ²); $k = 10$ მპა(1კგ/მმ²).

ფორმულაში 1 ჩავსვათ მონაცემები: $\varepsilon_1 = 6,8$; $\varepsilon_2 = -6,4$; $\varepsilon_3 = -0,4$.

$$\sigma_1 = \frac{2}{3\phi} \left[6,8 - \frac{-6,4 - 0,4}{2} \right] = \frac{1}{\phi} \times 6,73;$$

$$\sigma_2 = \frac{2}{3\phi} \left[-6,4 - \frac{6,8 - 0,4}{2} \right] = -\frac{1}{\phi} \times 6,34;$$

$$\sigma_3 = \frac{2}{3\phi} \left[-0,4 - \frac{6,8 - 6,4}{2} \right] = \frac{1}{\phi} \times 0,33.$$

ϕ - ს განსაზღვრისათვის ძაბვების ეს მნიშვნელობები ჩავსვათ პლასტიკურობის პირობაში:

$$\frac{1}{\phi^2} \times \{ [6,73 - (-6,34)]^2 + [(-6,34) - (-0,4)]^2 + [(-0,4 - 6,73)]^2 \} = 8$$

საიდანაც ვღებულობთ: $\phi = 5,63$.

მაშინ ძაბვების მნიშვნელობები იქნება:

$$\sigma_1 = 11,9 \text{ მპა. (1,19 კგ/მმ}^2\text{); } \sigma_2 = -11,2 \text{ მპა (-1,12 კგ/მმ}^2\text{);}$$

$$\sigma_3 = 0,68 \text{ მპა. (0,068 } \approx 0,07 \text{ კგ/მმ}^2\text{.)}$$

ანალოგიური გამოთვლების შედეგად, მოჭიმვის დანარჩენ სტადიებზე, მივიღებთ ძაბვების შემდეგ მნიშვნელობებს (ცხრილი 7, 8):

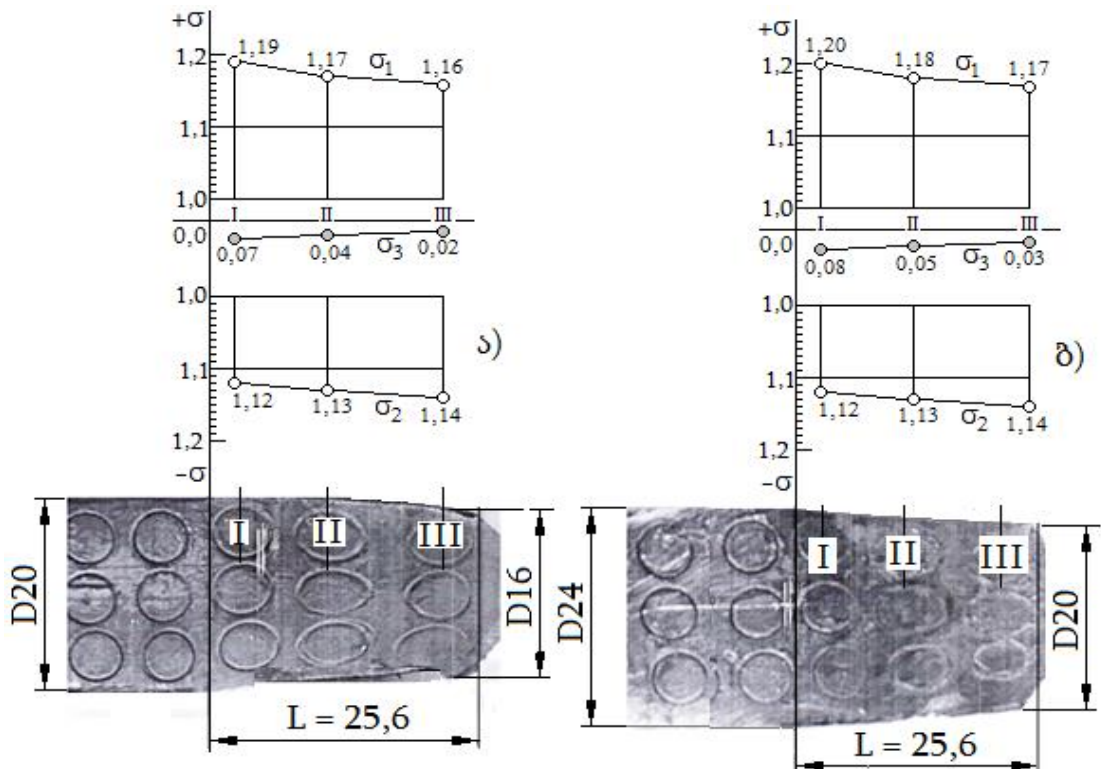
ცხრილი 7. მთავარი დეფორმაციები და ძაბვები - ნაშაღი D20

ნაშაღი D20						
კვეთის №	მთავარი დეფორმაციები, %			მთავარი ძაბვები, მპა		
	ϵ_1	$-\epsilon_2$	ϵ_3	σ_1	$-\sigma_2$	$-\sigma_3$
საშუალო მნიშვნელობები						
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	6,8	6,4	-0,4	11,9	11,2	0,7
2	9,6	9,2	-0,4	11,7	11,3	00,4
3	12,8	12,2	-0,6	11,6	11,4	00,2

ცხრილი 8. მთავარი დეფორმაციები და ძაბვები - ნაშაღი D24

ნაშაღი D24						
კვეთის №	მთავარი დეფორმაციები, %			მთავარი ძაბვები, მპა		
	ϵ_1	$-\epsilon_2$	ϵ_3	σ_1	$-\sigma_2$	$-\sigma_3$
საშუალო მნიშვნელობები						
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	5,2	4,8	-0,4	12,0	11,2	00,8
2	7,8	7,6	-0,4	1,18	11,3	00,5
3	10,8	10,4	-0,4	1,17	11,4	00,3

ცხრილების 7 და 8 მონაცემების მიხედვით აგებულია ძაბვების გრაფიკები, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ. 2.2.14-ზე.



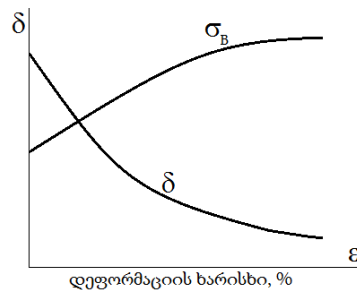
ნახ. 34. ნიმუშის განივკვეთებში მოქმედი ძაბვების გრაფიკები
 ა - D 0,02 მ; ბ - D 0,024 მ; ($\Delta d = 0,004$ მ; $\Delta d_1 = 0,000314$ მ; $\alpha = 4^{\circ}30'$)

როგორც გვიჩვენებს ექსპერიმენტი, რადიალური მოჭიმვის პროცესში დეფორმაციის კერაში ლითონი იმყოფება რთულ დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაში. დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების პროცესში σ_1 და σ_3 ძაბვების აბსოლუტური მნიშვნელობა მცირდება (კვეთები № 1,2,3), ხოლო σ_2 ძაბვის იზრდება. დეფორმაციის პროცესში რადიალური და ღერძული ძაბვების მნიშვნელობები თითქმის ერთმანეთის ტოლია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ლითონი ამ უბანზე იმყოფება სუფთა ძვრისადმი მიახლოებულ დამაბულ მდგომარეობაში, სადაც პლასტიკური დეფორმაცია ინტესიურად მიმდინარეობს.

2.2.5. რადიალური მოჭიმვის გავლენა ლითონის მიკროსტრუქტურაზე

პლასტიკური დეფორმაცია იწვევს ლითონის მიკროსტრუქტურისა და მექანიკური თვისებების ცვლილებას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვან ცვლილებებს ლითონში ადგილი აქვს ცივი პლასტიკური დეფორმაციის დროს, როდესაც იზრდება ლითონის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის მაჩვენებლები დრეკადობის, პროპორციულობის, დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრები, მატულობს აგრეთვე სისალე. ამასთან ხდება პლასტიკურობის მაჩვენებლების ფარდობითი წაგრძელების, ფარდობითი შევიწროვების და დარტყმითი სიბლანტის შემცირება [63-65].

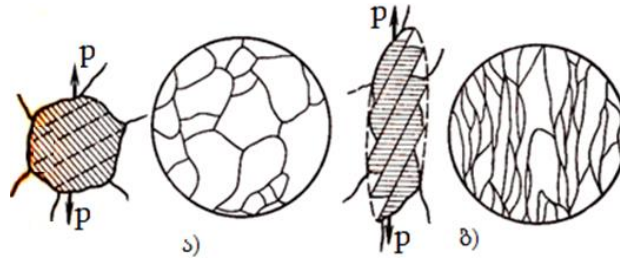
ზემოთ აღნიშნული მაჩვენებლების ცვლილება მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია დეფორმაციის ხარისხი, რაც ასახულია ნახ. 35-ზე.



ნახ. 35. სიმტკიცის და პლასტიკურობის ცვლა დეფორმაციის ხარისხის მიხედვით

ლითონის მექანიკური თვისების, კონკრეტულად, სიმტკიცის მაჩვენებლის, ცვლა ძირითადად აიხსნება მისი კრისტალური გისოსის

დამახინჯებით, რასაც ადგილი აქვს პლასტიკური დეფორმაციის პრპცესში. ამ დროს ხდება მრცვლების დეფორმაცია, წარმოიქმნება დამატებითი წინააღმდეგობები დისლოკაციების მოძრაობისათვის, იზრდება ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა. პლასტიკური დეფორმაცია მიკროსტრუქტურას აძლევს გარკვეულ ორიენტაციას, წარმოიქმნება ტექსტურა (ნახ. 35).

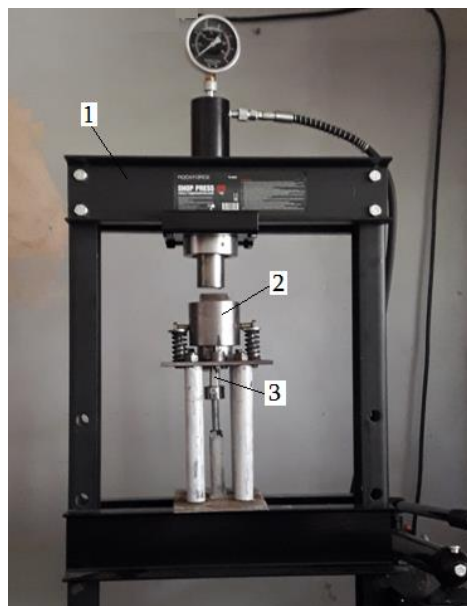


ნახ. 36. მარვლის ფორმის ცვლილება პლასტიკური დეფორმაციის დროს (ტექსტურის წარმოქმნა)

ა - მარცვალი დეფორმაციამდე; ბ - მარცვალი დეფორმაციის შემდეგ

რაც უფრო მეტია დეფორმაციის ხარისხი, მით უფრო დეფორმირებულია კრისტალები.

ჩვენს მიზანს წარმოადგენს პლასტიკური დეფორმაციის გავლენის შესწავლა ლითონის მიკროსტრუქტურაზე რადიალური მოჭიმვის დროს. ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა რადიალური მოჭიმვის სპეციალური მოწყობილობაზე (ნახ. 37).



ნახ. 37. ექსპერიმენტული დანადგარი

1 - წნეხი; 2 - რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა; 3 - საცდელი ნიმუში

ცდებისათვის გამოყენებული იქნა ალუმინის და დურალუმინის მილისებრი ნიმუშები ზომებით: დიამეტრი 0,02 - ალუმინის ნიმუშები; 0,024 მ - დურალუმინის ნიმუშები; კედლის სისქე 0,002 მ; სიგრძე 0,1 მ (ნახ. 38).



ნახ. 38. საცდელი ნიმუშები
 ა - ალუმინის (Φ20 მმ); ბ - დურალუმინის (Φ24 მმ)

დეფორმაციის რეჟიმები

- საერთო დიამეტრალური მოჭიმვა ალუმინის ნიმუშისათვის – 0,004 მ;
- საერთო დიამეტრალური მოჭიმვა დურალუმინის ნიმუშისათვის – 0,008 მ;
- ერთეული მოჭიმვა ალუმინის ნიმუშისათვის:
 $\Delta d_1 = 0,00028$ მ(მიწოდება $S_1 = 0,002$ მმ); $\Delta d_2 = 0,00042$ მ(მიწოდება $S_1 = 0,003$ მ);
- ერთეული მოჭიმვა დურალუმინის ნიმუშისათვის: $\Delta d = 0,00028$ მ (მიწოდება $S_1 = 0,002$ მ).

დეფორმირებული ნიმუშები მოცემულია ნახ. 38-ზე.



ნახ. 39. დეფორმირებული ნიმუშები
 ა - ალუმინის; ბ - დურალუმინის

ექსპერიმენტი ჩატარდა ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე რ. დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მასალების გამოცდის ლაბორატორიაში ექსპერიმენტულ დანადგარზე განხორციელდა ნიმუშების პლასტიკური

დეფორმირება. ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის კონუსის კუთხე შეადგენდა $\alpha = 8^\circ$. ჯერ გამოიცადა ალუმინის $\Phi 20$ ნიმუშები; ნიმუშების მიწოდება შეადგენდა 2 და 3 მმ-ს; შესაბამისად, ერთეული მოჭიმვა იყო $\Delta d_1 = S \cdot tg\alpha = 2 \cdot 0,00014 = 0,00028$ მ და $\Delta d_2 = S \cdot tg\alpha = 3 \cdot 0,00014 = 0,00042$ მ. შემდეგ გამოიცადა დურალუმინის $\Phi 24$ ნიმუშები; ნიმუშების მიწოდება შეადგენდა 0,002 მ-ს; ერთეული მოჭიმვა $\Delta d = 0,00028$ მ.

ექსპერიმენტის მეორე ეტაპი ჩატარდა ფ. თავაძის მასალათმცოდნეობის და მეტალურგიის ინსტიტუტში. აქ შესრულდა დეფორმირებული ნიმუშების მეტალოგრაფიკული გამოკვლევები. ქიმიური ანალიზის შედეგად დადგინდა ნიმუშების შემადგენლობა. ქიმიური ანალიზი ჩატარდა „BRUKER“ - ის ფირმის ვაკუუმური ოპტიკით აღჭურვილ ოპტიკურ-ემისიურ სპექტრომეტრზე „Q8 Magellan“ (ნახ. 40). ნიმუშების შემადგენლობა მოცემულია ცხრილში 9.

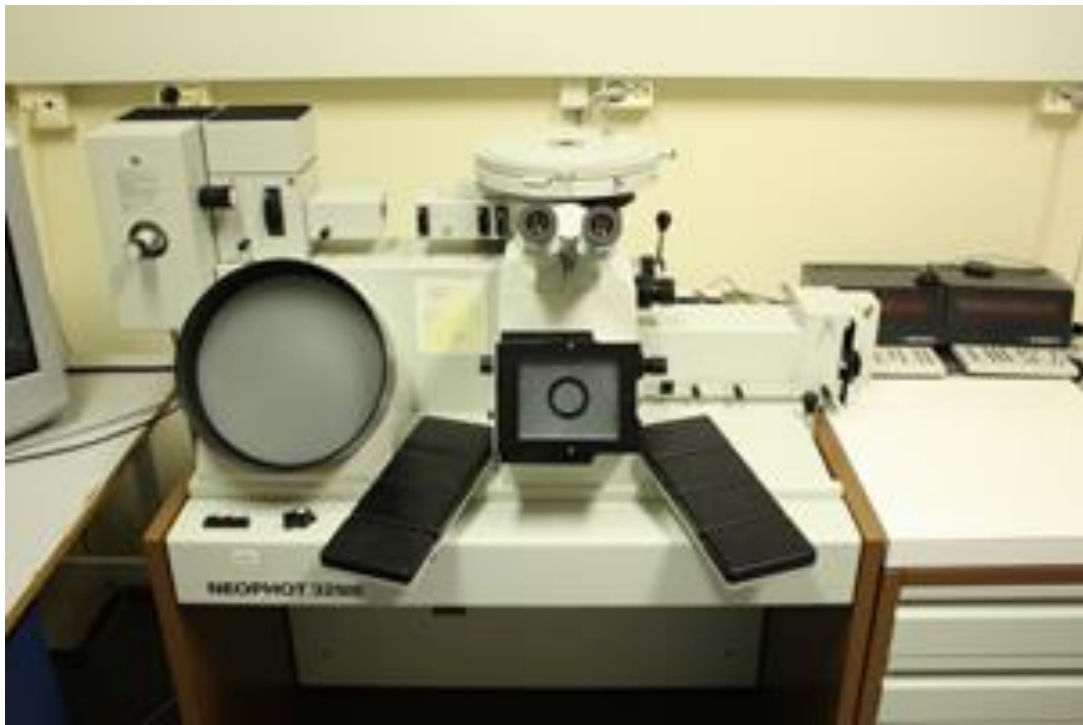


ნახ. 40. ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი „Q8 Magellan“

ცხრილი 9. ნიმუშების ქიმიური შემადგენლობა

№	ქიმიური შემადგენლობა, %								მარკა
	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Zn	Al	
1	0,016	0,0036	0,0023	0,0072	0,0063	0,011	0,043	<u>99,61</u>	A6
2	0,018	0,0037	0,0023	0,0044	0,0070	0,0081	0,018	<u>99,63</u>	A6
3	0,501	3,792	0,450	1,325	0,012	0,035	0,219	<u>93,23</u>	D16

მიკროსტრუქტურული ანალიზი ჩატარდა მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის “Neophot-32”- ის საშუალებით x100 გადიდებით (ნახ. 41).



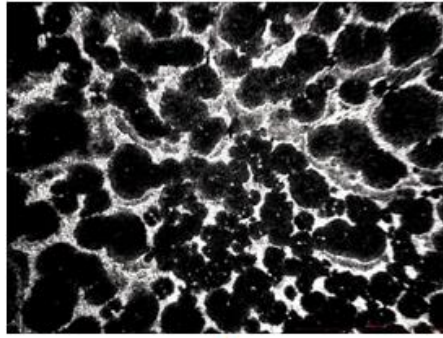
ნახ. 41. მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპი “Neophot-32”

ნიმუშებიდან ამოიჭრა ტემპლეტები მიკროშლიფებისათვის (ნახ. 42), რომლებიც შესაბამისი დამუშავების შემდეგ მოიწამლა ნატრიუმის ჰიდროკარბონატის გაჯერებული ხსნარით.

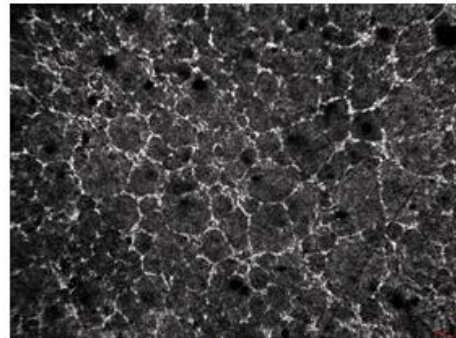


ნახ. 42. ტემპლეტები მიკროშლიფებისათვის:
ა- ალუმინი A6; ბ - დურალუმინი D16

მიკროსტრუქტურების ფოტოსურათები წარმოდგენილია ნახაზებზე

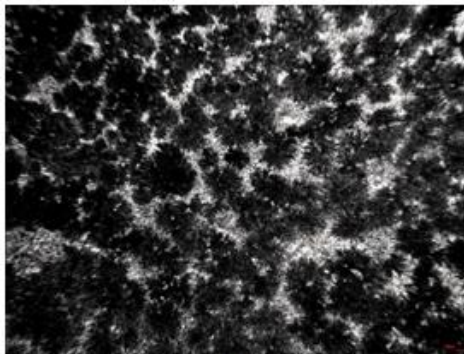


ა)

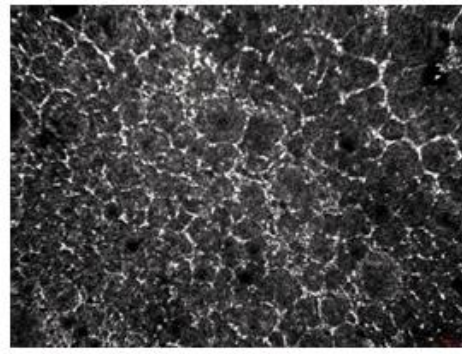


ბ)

ნახ. 43. ნიმუში 1 - ალუმინი A6, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,00028$ მ არადეფორმირებული (ა) და დეფორმირებული (ბ) მიკროსტრუქტურა

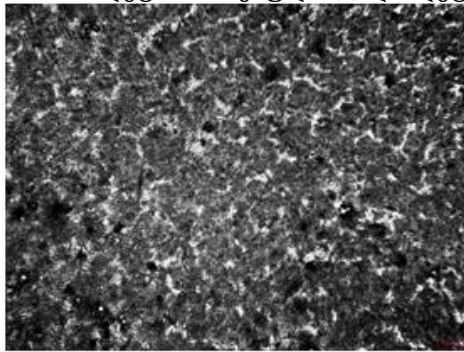


ა)

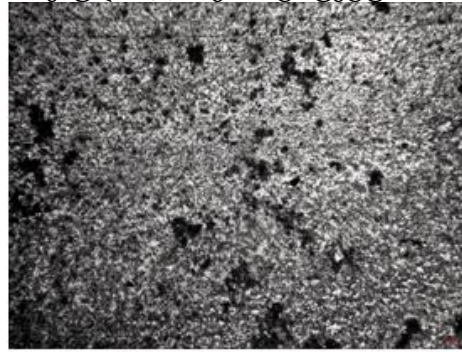


ბ)

ნახ. 44. ნიმუში 2 - ალუმინი A6, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,00042$ მ არადეფორმირებული (ა) და დეფორმირებული (ბ) მიკროსტრუქტურა



ა)



ბ)

ნახ. 45. ნიმუში 3 - დურალუმინი D16, ერთეული მოჭიმვა $\Delta d_1 = 0,00028$ მ არადეფორმირებული (ა) და დეფორმირებული (ბ) მიკროსტრუქტურა

მიკროსტრუქტურებში მკვეთრი შავი ფერის ჩანართები წარმოადგენს რკინის Al_3Fe ალუმინში არახსნად ნაერთს. მოჩანს Al-ის მარცვლები, რომელთა საზღვრებზე განლაგებულია $Al + \alpha(Fe - Al - Si)$ -ის ფაზა. ფაზის აღნიშვნა $Al + \alpha(Fe - Al - Si)$ მი-ღებულია ლიტერატურაში, ვინაიდან ამ ფაზის სტექიომეტრული შეფარდება უცნობია. სურათებზე მოჩანს ალუმინის α მყარი ხსნარი და ევტექტიკური ფაზების ნარევი[63].

დეფორმირებული ნიმუშების მიკროსტრუქტურების ფოტოსურათებზე ნათლად ჩანს, რომ მარცვლების ზომები და ფორმა შეცვლილია, მარცვლის მთლიანობა რიგ შემთხვევაში დარღვეულია, ამასთან ეს ცვლილება ზომებში პროპორციულია დეფორმაციის ხარისხის მიმართ, მაგალითად, $\Delta d_1 = 0,42$ მმ (იხ. სურათი „ბ“ ნახ-ზე 44). ეს იმაზე მიუთითებს, რომ რადიალურ მოჭიმვის დროს ცივი პლასტიკური დეფორმაცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ლითონის მიკროსტრუქტურაზე ცივანაჭედ ლითონში მარცვლები დეფორმირებული და დამსხვრეულია, სტრუქტურა ხდება უფრო წვრილ-მარცვლოვანი.

რაც შეეხება პლასტიკური დეფორმაციისათვის დამახასიათებელ მარცვლების წაგრძელებას და მიკროსტრუქტურის ორიენტაციას მოქმედი ძაბვების მიმართულებით ანუ ტექსტურას, ეს მოცემულ შემთხვევაში არ შეიმჩნევა. ამის მიზეზი, ჩვენი აზრით, მდგომარეობს იმაში, რომ რადიალური მოჭიმვის პროცესში ლითონზე მიმდინარეობს ყოველმხვრივი ძალოვანი ზემოქმედება და მისი დინება დეფორმაციის დროს უფრო შეზღუდულია, რაც არ იძლევა ტექსტურის წარმოშობის შესაძლებლობას.

ლითონის მექანიკური თვისებისგან, ექსპერიმენტულად შევისწავლეთ მიკროსისალეზე პლასტიკური დეფორმაციის გავლენა. ნიმუშების მიკროსისალე გაიზომა მიკროსკოპ “ПМТ-3”-ზე (ნახ. 46). გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 10.

ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ალუმინის ნიმუშების მიკროსისალე 0,50 ნ დატვირთვის პირობებში არადეფორმირებულ და დეფორმირებულ ნიმუშებში პრაქტიკულად ერთიდაიგივეა.



ნახ. 46. მიკროსკოპი “ПМТ-3”

ცხრილი 10. ნიმუშების მიკროსისალე

№	მასალა	მარკა	დატვირ- თვა, გ	მიკროსისალე, მკა	
				არადეფორმირებული	დეფორმირებული
1	ალუმინი	A6	0,5	350	360
2	ალუმინი	A6	0,5	370	380
3	დურალუმინი	Д16	1	5590	6650

დურალუმინისათვის 0,100 ნ დატვირთვის დროს მიკროსისალე შეადგენს 5590 მკა არადეფორმირებული ნიმუშისათვის და 6650 მკა დეფორმირებული ნიმუშისათვის, ე.ი. ადგილი აქვს განმტკიცებას.

2.3. რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება

წარმოების ხასიათისა და ამოცანების დამოკიდებულებით ნაკეთობების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება ხდება სხვადასხვა მაგრამ ნებისმიერ შემთხვევაში ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავების უნდა უზრუნველყოფილი იყოს სამი ძირითადი პირობა:

- მიღებული ნაჭედის კონფიგურაციის მაქსიმალური შესაბამისობა მზადეტალის ფორმისადმი;
- დამუშავების ხარისხი პროცესის შერჩეულ რეჟიმებზე უნდა აკმაყოფილებდეს ნაკეთობის ტექნიკურ პირობებს;
- მიღებული ტექნოლოგიური პროცესის ეკონომიკური მიზანშეწონილება.

ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება უნდა ხდებოდეს ქვემოთ მოყვანილი თანმიმდევრობით.

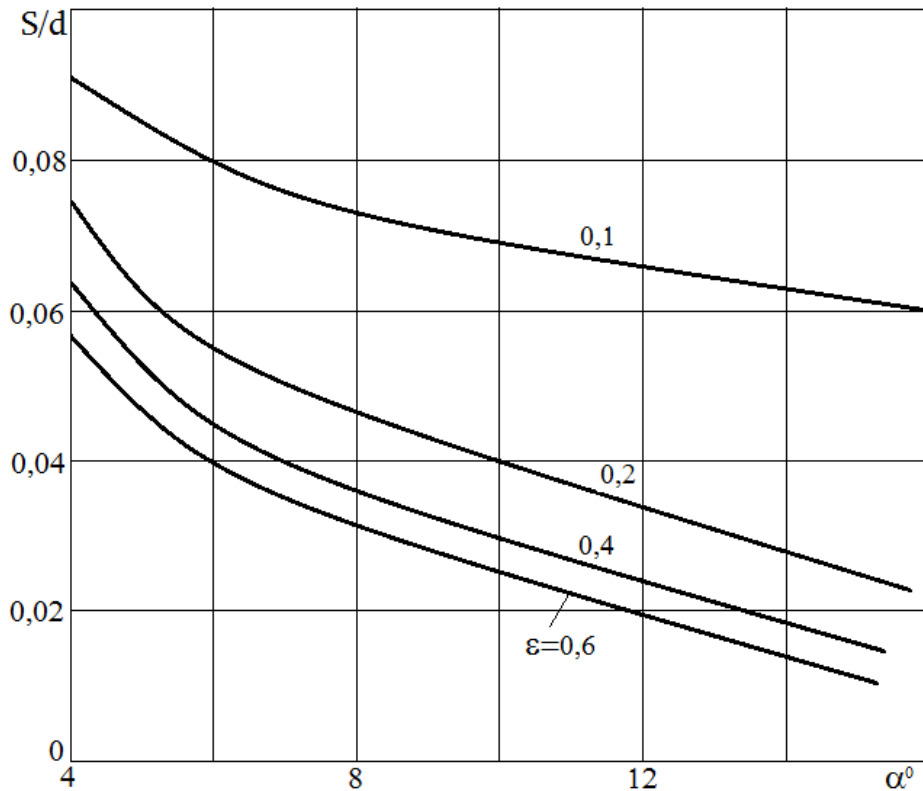
1. საწყისი მონაცემების ანალიზი:

- ა) დეტალის კონსტრუქციის ანალიზი და მისი ცივად ან ცხლად დამუშავების შესაძლებლობის დაგენა;
- ბ) ნაჭედის წინასწარი ნახაზის შედგენა, მოჭიმვის ხერხის (განცალკევებული ან პროფილური) და გადასვლების რიცხვის განსაზღვრა;
- გ) საკონტაქტო ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრა ცივი დამუშავების დროს ან ტემპერატურული ინტერვალების დადგენა ცხლად დამუშავების შემთხვევაში;
- დ) მასალის დენადობის ზღვარის განსაზღვრა (საცნობარო ან ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით).

2. ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის პარამეტრების განსაზღვრა და მისი კონსტრუირება.
3. ნაჭედის საბოლოო ნახაზის გაფორმება, ნამზადის ზომების განსაზღვრა ტექნოლოგიური ოპერაციების გადასვლებში.
4. დეფორმაციის ძალის განსაზღვრა.

ტექნოლოგიური პროცესის ანგარიშის საწყის ეტაპზე განისაზღვრება ნამზადის დეფორმაციის ზონაში მიწოდების ბიჯი.

განცალკევებული ცივად დამუშავებისათვის ნამზადის მიწოდების ზღვრული სიდიდე განისაზღვრება ნახ. 7-ზე წარმოდგენილი ექსპერიმენტული გრაფიკების მიხედვით [8,9].



ნახ. 47. ნამზადის მიწოდების ზღვრული სიდიდის გრაფიკები

ნამზადის დასაშვები მიწოდება უდრის:

$$S = \frac{Z(d_0^2 + 0,31d_1^2)}{(d_0 + d_1)(d_0^2 - d_1^2)} kn$$

სადაც Z არის ნამზადის მასალის გათვალისწინების კოეფიციენტი; Z =1,3;

K – დეფორმაციის არათანაბრობის კოეფიციენტი; $K = 3$;

n – საცემელების რიცხვი: $n = 4$;

d_0, d_1 – ნამზადის ზომები დეფორმაციამდე და შემდეგ.

შემდეგ თანმიმდევრობით განისაზღვრება შემდეგი პარამეტრები:

- ნამზადების მიწოდება 1 წუთში: $S' = NS$, მმ;
- ნამზადის მიწოდების სიჩქარეს: $v = \frac{S'}{60}$, მმ/წამ;
- ნამზადის ბრუნვითი მიწოდებას.

ამისათვის ჯერ საცემელების რხევების სიხშირის N წუთ⁻¹ მიხედვით განისაზღვრება 1 წამში ნამზადზე განხორციელებული დარტყმების რიცხვი $N/60$, შემდეგ κ - ერთი დარტყმის ხანგრძლივობა $\tau = \frac{60}{N}$, წამ. ამ დროის განმავლობაში ნამზადის ზედაპირის წერტილებმა უნდა მოასწრონ გარე d_0 დიამეტრის წრეზე Δ მმ-ზე გადანაცვლება (Δ – ღრეჩო საცემელებს შორის დეფორმირების შემდეგ) ანუ ნამზადი უნდა შემობრუნდეს $\varphi = \frac{\Delta}{\pi d_0} \cdot 360^\circ$ – იან კუთხეზე. მაშინ ნამზადი შემოტრიალდება $\frac{\varphi}{\tau}$ კუთხეზე და 1 წუთში შეასრულებს კუთხურ გზა $\varphi_{\% \text{ამ}} = \left(\frac{\varphi}{\tau}\right) \cdot 60$, რაც შეესაბამება $\varphi_{\% \text{ამ}} / 360$ ბრუნს, რაც დამრგვალების შემდეგ შეესაბამება რომ ნამზადის ბრუნთა რიცხვს 1 წუთში ანუ ნამზადის ბრუნვითი მიწოდება n_1 .

- ნამზადის დეფორმაცია: აბსოლუტური მოჭიმვა : $\Delta d = d_0 - d_1$;
- ფარდობითი მოჭიმვა $\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0}$; ნამზადის ფარდობითი მოჭიმვა (%-ში)

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\%;$$

- ნამზადის დეფორმაციის ხარისხი ერთეული მოჭიმვისათვის:

$$\varepsilon_m = \frac{2vtg\alpha}{3nn_1} (d_0 - d_1) \frac{d_0 + d_1 + \frac{2vtg\alpha}{nn_1}}{d_0(d_0 - d_1 + \frac{2vtg\alpha}{nn_1})(d_1 + \frac{2vtg\alpha}{nn_1})} \text{, სსაშ.ს}$$

სადაც v – ნამზადის მიწოდების სიჩქარა;

α - ინსტრუმენტის კუთხე;

d_0 - საწყისი დიამეტრი;

d_1 - საბოლოო დიამეტრი;

n - საცემელების რიცხვი: $n = 4$;

n_1 - ნამზადის ბრუნთი სიხშირე;

- ნაწილობრივი დეფორმაციის ხანგრძლივობა:

$$\tau_d = \frac{1}{2\pi N} \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{(1 - \sqrt{1 - 2\lambda(\frac{vtg\alpha}{NR} - 1 - \frac{\lambda}{2})})}{\lambda} \right],$$

სადაც N დარტკმების რიცხვი;

λ, R - სამჭედლო მექანიზმის მახასიათებლები; $\lambda = R/L$; ამ შემთხვევაში

$R = e$ - მანქანის ექსცენტრისიტეტი.

- ერთეული მოჭიმვის სიჩქარე: $U = \varepsilon_m / \tau_d$, წამ⁻¹;

ინსტრუმენტის პარამეტრების დადგენა. დერძსიმეტრიული ნაკეთობების რადიალური ჭედვის დროს გამოიყენება ინსტრუმენტი - საცემელები და სამართული, რომელთა გეომეტრიული პარამეტრების სწორად დადგენაზეა დამოკიდებული მისაღები დეტელების ხარისხი [66].

ინსტრუმენტის კუთხე აიღება $6 - 20^\circ$ დიაპაზონში.

მოჭიმვის ზონის სიგრძე უდრის:

$$l_1 = \frac{d_0 - d_1}{2tg\alpha/2},$$

სადაც d_0 არის ნამზადის დიამეტრი დეფორმაციამდე;

d_1 - ნამზადის დიამეტრი დეფორმაციის შემდეგ;

α - ინსტრუმენტის კუთხე.

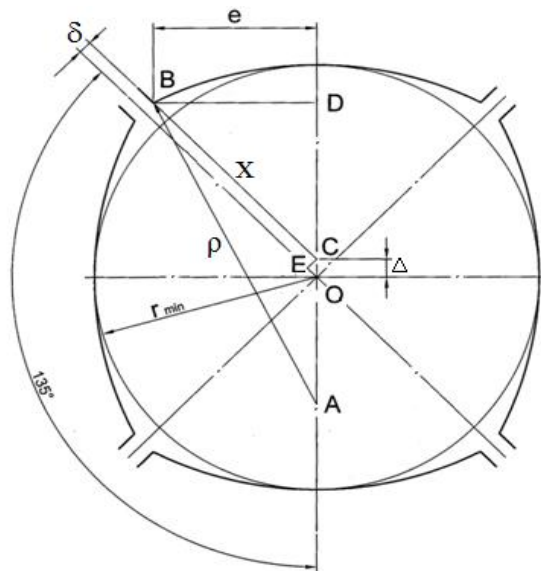
ინსტრუმენტის შემავალი და გამოსავალი კონუსების კუთხეები უნდა ავიღოთ ერთნაირი; ეს საშუალებას მოქცევს გარკვეული პერიოდის შემდეგ შემოვებრუნოთ საცემელი და ამ მდგომარეობაში ვამუშაოთ იგი ანუ უფრო დიდ ხანს გამოვიყენოთ ერთი და იგივე საცემელი.

საცემელის დამგალიბრებელი უბნის სიგრძე მიიღება პრაქტიკული მონაცემებიდან და გამოითვლება ფორმულით: $l_2 = (0,7 \div 2,0)l_1$.

გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს საცემელების ღარის ზომების რადიუსის (ρ) და სიგანის (e) გაანგარიშებას. საცემელების ღარის რადიუსი მიიღება ემპირიული გამოსახულებიდან $\rho = (1,2 \div 1,3) \frac{d_0}{2}$ ანუ ის ნამზადის ნახევარდიამეტრზე მეტი უნდა იყოს.

საცემელის ღარის სიგანე მიიღება გაანგარიშებით. ამ პარამეტრის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 48-ზე.

ABC სამკუთხედისათვის შეგვიძლია შევადგინოთ ასეთი ტრიგონომეტრიული ტოლობა:



ნახ. 48. საცემელის ღარის სიგანის საანგარიშო სქემა

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 - 2AC \cdot BC \cdot \cos 135^\circ,$$

სადაც $AB = \rho$ არის საცემელის ღარის რადიუსი;

AC მონაკვეთი, სქემის მიხედვით, ტოლია: $AC = \rho - (r_{\min} - \Delta)$, აქ r_{\min} მინიმალური ზომის ნაკეთობის რადიუსია, ხოლო Δ – თი ნახ-ზე 47 აღნიშნულია OC მონაკვეთი, რომელიც როგორც OEC მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზა უდრის $\Delta = 1,4\delta$ (δ არის ნახევარღრეწო საცემელებს შორის, რომელიც, ჩვეულებრივად, მიიღება ტოლობიდან $2\delta = (0,015 \div 0,02)d_0$);

BC - საძიებელი მონაკვეთი, რომელიც აღვნიშნოთ x , ე.ი. $BC = x$.

ამის გათვალისწინებით ზემოთ მოყვანილი ტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\rho^2 = [\rho - (r_{\min} - \Delta)]^2 + x^2 - 2[\rho - (r_{\min} - \Delta)] \cdot x \cdot \cos 135^\circ.$$

გარკვეული მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ ვღებულობთ კვადრატულ განტოლებას:

$$x^2 + 1,4 \cdot [\rho - r_{\min} + \Delta] \cdot x - (r_{\min} - \Delta)(2\rho + r_{\min} - \Delta) = 0,$$

რომლის ამოხსნით განისაზღვრება $x = BC$ მონაკვეთის სიგრძე:

$$x = -0,7 \cdot [\rho - r_{\min} + \Delta] \pm \sqrt{0,49(\rho - r_{\min} + \Delta)^2 + (r_{\min} - \Delta)(2\rho + r_{\min} - \Delta)}.$$

შემდეგ მართკუთხა სამკუთხადიდან CBD ვღებულობთ სავემელის

ღარის ნახევრის მნიშვნელობას: $e = x \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,7x$.

COE სამკუთხედიდან $\Delta = 1,4\delta$, სადაც δ არის სავემელს შორის ღრეჩოს ნახევარი.

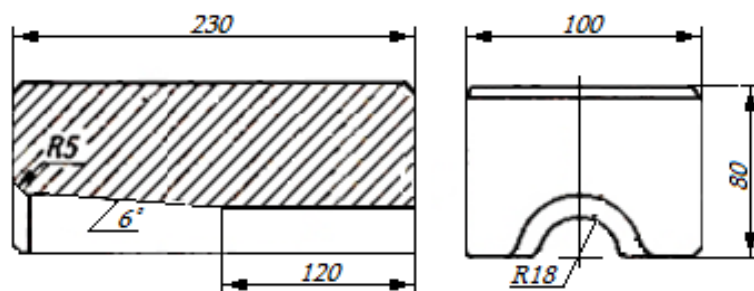
მაქსიმალური მნიშვნელობა სავემელს შორის ღრეჩოს გააჩნია ჭედვის

დაწყებამდე და ის უდრის: $2\delta = \frac{2\Delta + (d_0 - d_{\min})}{1,4}$.

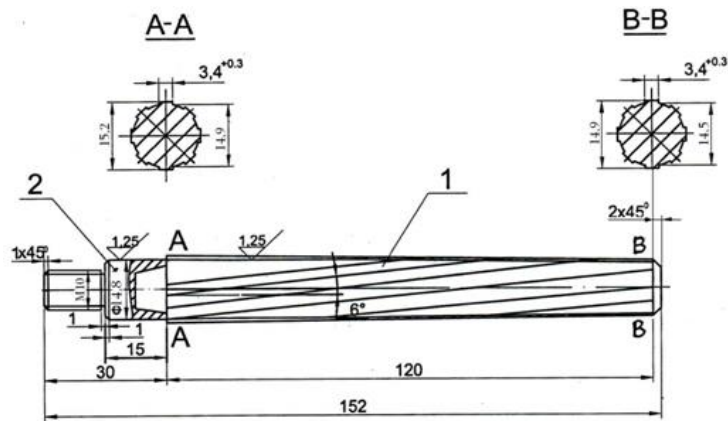
სავემელების დამზადების ტექნოლოგია მნიშვნელოვანი მთავარი ფაქტორი, რომელიც უზრუნველყოფს ნაჭედების სიზუსტეს და ზედაპირის სისუფთავს.

სავემელების დამუშავება ხდება პოლირებით და მისაღებ დეტალთან შედარებით უფრო მაღალი სიზუსტით. მასალად გამოიყენება 5XB2C მარკის ფოლადი.

ქვემოთ მოცემულია 12,5 კალიბრის ლულის საჭედი სავემელის (ნახ. 49) და სამართულის (ნახ. 50) ნახაზები.



ნახ. 49. სავემელების მუშა ნახაზი



ნახ. 50. სამართლის მუშა ნახაზი

სამართული მზადდება 12XΦ1 ფოლადისაგან. სამართული განიცდის წრთობას 55 – 60 HRC სისაღმდე.

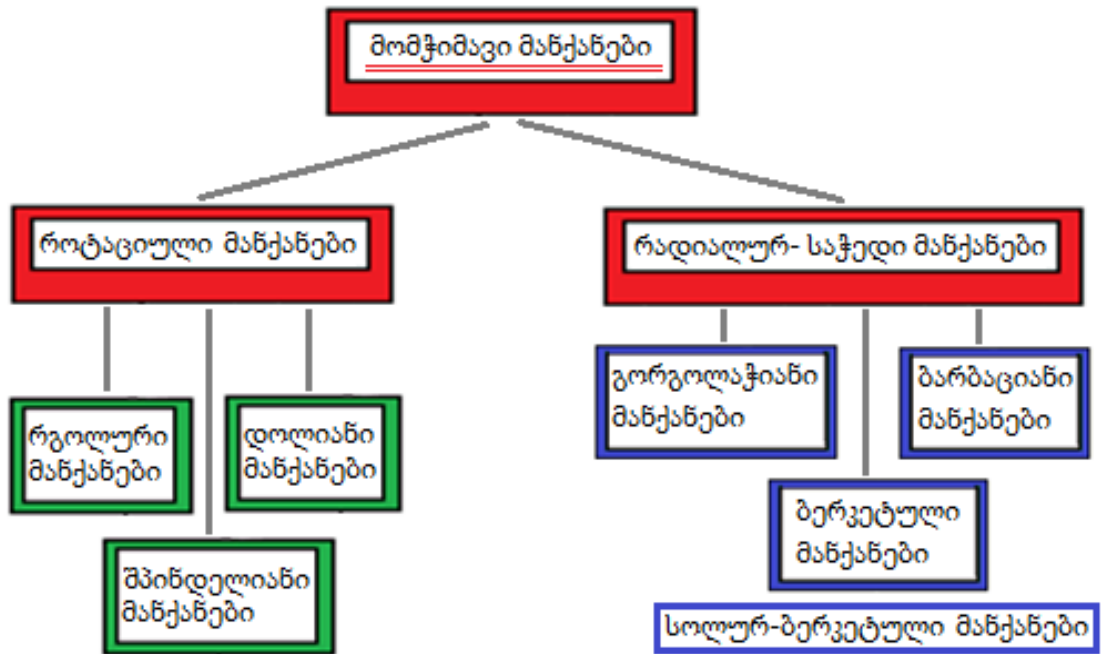
2.4. რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციების შემუშავება

2.4.1. მომჭიმავი მანქანების კინემატიკური სქემების ანალიზი

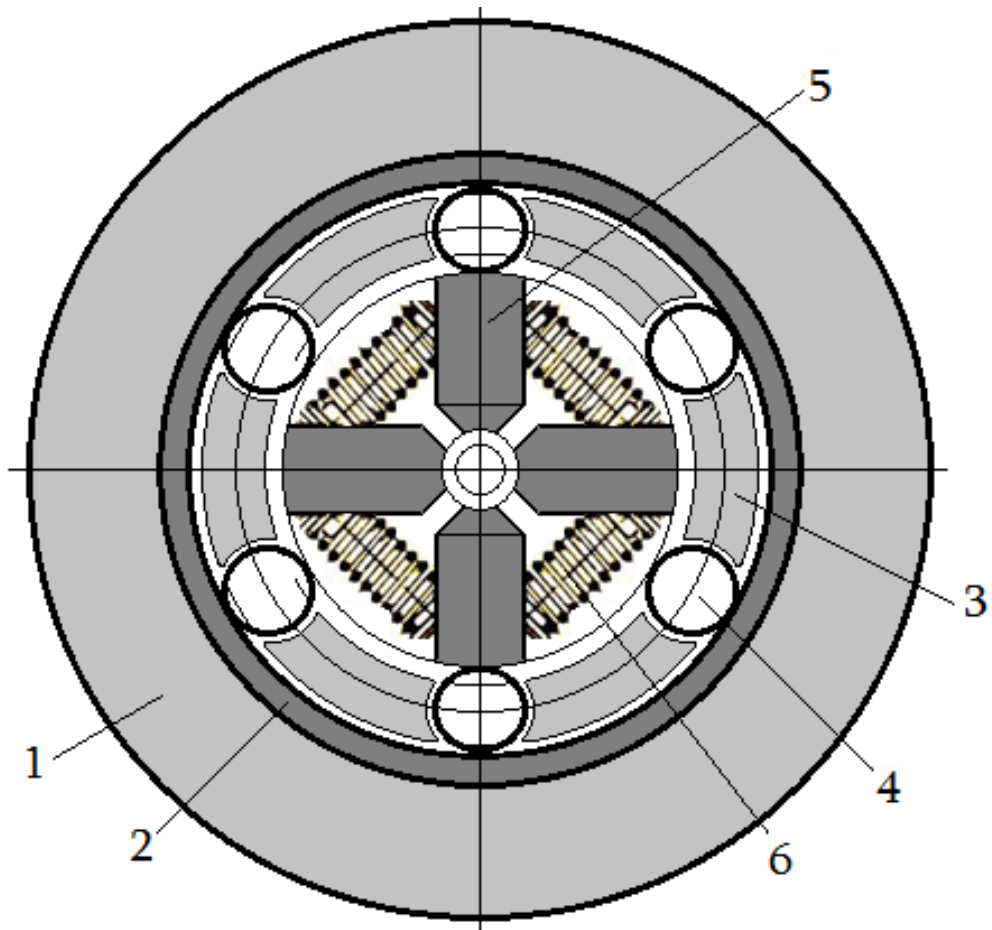
არსებული როტაციული საჭედი მანქანები სამ ჯგუფად იყოფა: 1) რგოლური მანქანები; 2) დოლური მანქანები; 3) შპინდელიანი მანქანები. ასევე სამ ჯგუფს შეადგენს რადიალურ-საჭედი მანქანები: 1) გორგოლაჭიანი მანქანები; 2) ბერკეტული მანქანები; 3) ბარბაციანი მანქანები. ნახ. 50-ზე მოცემულია როტაციულ და რადიალურ-საჭედ მანქანების კლასიფიკაცია [67].

ამ პარაგრაფში განხილულია მანქანების კინემატიკური სქემები, გამოვლენილია მათი უპირატესობები და ნაკლოვანებები.

როტაციულ-საჭედი მანქანები: ა. **რგოლური მანქანები.** რგოლური როტაციულ-საჭედი მანქანებში მუშა ორგანოები ასრულებს მხოლოდ უკუქცევითი-წინსვლით მოძრაობას. ეს განაპირობებს ამ მანქანების უნივერსალობას და საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ როგორც მრგვალი, ისე წახნაგოვანი განივკვეთის ნაკეთობები. რგოლური როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა მოცემულია ნახ. 52-ზე[9,44].



ნახ. 51. როტაციულ და რადიალურ-საჭედ მანქანების კლასიფიკაცია



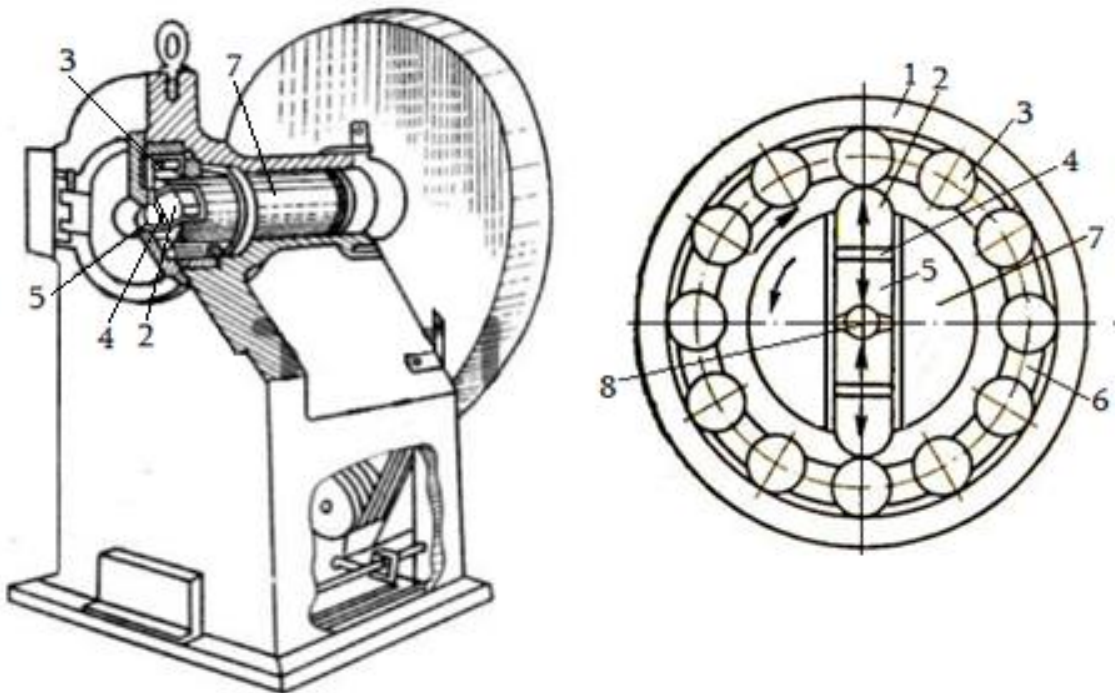
ნახ. 52. რგოლური როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა

რგოლური როტაციულ-საჭედი მანქანის მოჭიმვის მექანიზმი წარმოადგენს გარსაკრს 1, რომელიც ბრუნავს უძრავი შპინდელის 2 გარშემო. გარსაკრთან

დაკავშირებულია სეპარატორი 3 ცილინდრული გორგოლაჭებით 4, რომლებიც ზემოქმედებენ საცემელებთან ცოციებზე 5. ზამზარები 6 უზრუნველყოფენ ცოციების დაბრუნებას საწყის მდგომარეობაში.

ბ. დოლიანი მანქანები. დოლიან როტაციულ-საჭედ მანქანებში მუშა ორგანოები - გარსაკრი სეპარატორთან ცილინდრული გორგოლაჭებით და შპინდელი ასრულებს შემხვედრ ბრუნვით მოძრაობას (ნახ. 53).

შპინდელის 7 ბრუნვისას, ცოციები 2 ცენტრიდანული ძალების და ნამზადის წინაღობის ძალების მოქმედების გამო განიზიდება პერიფერიისაკენ. ეს ხდება დროის იმ შუალედში, როცა ცოციები გორგოლაჭებს 3 შორის იმყოფება. მაგრამ, როცა ცოცია თავისი საყრდენი ზედაპირით მიაწყდება გორგოლაჭს, ის დიდი სიჩქარით გაქანდება ცენტრისაკენ და ცოციაზე დამაგრებული საცემალით 5 განხორციელდება დარტყმა ნამზადზე 8.

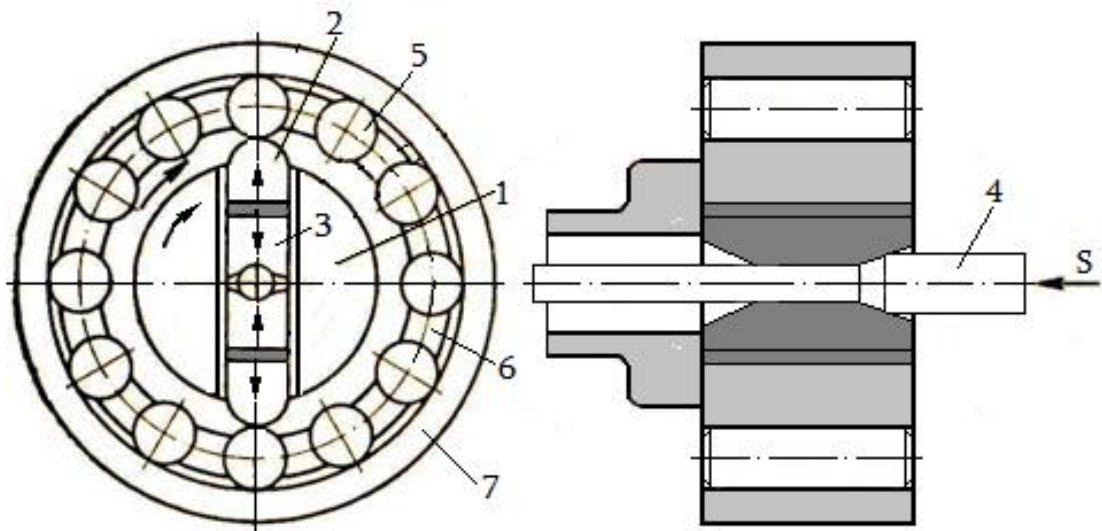


ნახ. 53. დოლიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა:

- 1 - გარსაკრი; 2 - ციცია; 3 - გორგოლაჭი; 4 - შუასადები; 5 - საცემელი;
6 - სეპარატორი; 7 - შპინდელი; 8 - ნამზადი

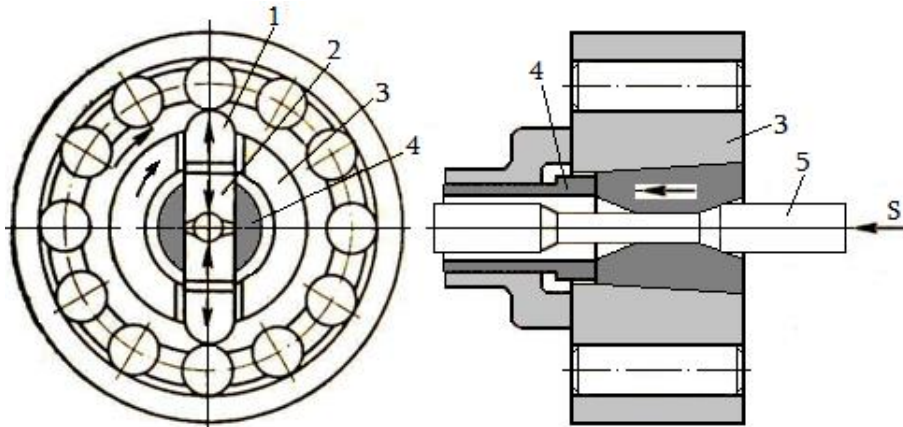
დოლიანი როტაციულ-საჭედ მანქანები, მიუხედავად მაღალი სწრაფქმედებისა, ნაკლებადაა გავრცელებული მრეწველობაში.

გ. შპინდელიანი მანქანები. შპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის (ნახ. 54) მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს. შპინდელის 1 ბრუნვის დროს, მასთან ერთად ბრუნავს ცოციები 2, რომლებიც განლაგებულია შპინდელის ღარებში. იმ მომენტში, როცა ცოციები გორგოლაჭებს 3 შორის იმყოფება, ისინი ცენტრიდანული ძალების და ნამზადის წინალობის ძალების ზემოქმედებით განიზიდება მანქანის პერიფერიისაკენ. როცა ცოციები თავისი საყრდენი ზედაპირი მიეხრება გორგოლაჭებს, ისინი დიდი სიჩქარით გაქანდება ცენტრისკენ და საცემელებით 4 განხორციელდება დარტყმა ნამზადზე 5. გორგოლაჭები 3 ჩალაგებულია სეპარატორში 6 და ეყრდნობა გარსაკრის 7 ზედაპირს.



ნახ. 54. შპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა

შპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანების ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგენს ორშპინდელიანი მანქანა, რომლის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 55-ზე. ასეთი მანქანები გამოიყენება მაშინ, როცა საჭიროა ნამზადის შუა ნაწილის მოჭიმვა. მდგომარეობს. გარე შპინდელის 1 ბრუნვის დროს, მასთან ერთად ბრუნავს ცოციები 1, რომლებიც განლაგებულია გარე შპინდელის ღარებში. როცა ცოცია თავისი საყრდენი ზედაპირით მიეხრება გორგოლაჭს, ის პერიფერიიდან ცენტრისკენ მოძრაობს, შედის შიგა შპინდელის 4 ღარში და აიძულებს შეასრულოს ბრუნვითი მოძრაობა.

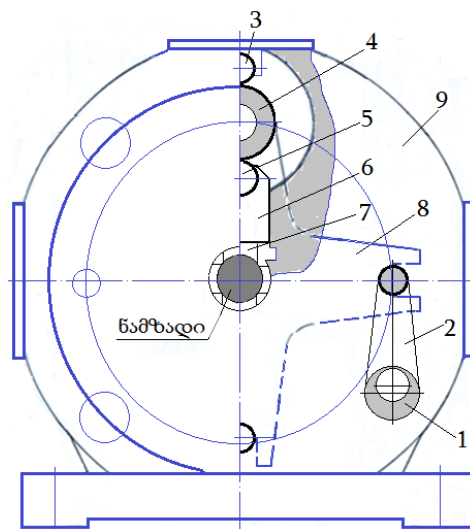


ნახ. 55. ორშპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის სქემა:

1 - ცოცია; 2 - საცემელი; 3 - გარე შპინდელი; 4 - შიგა შპინდელი; 5 - ნამზადი

ორშპინდელიანი როტაციულ-საჭედი მანქანის მუშაობის პრინციპი შემდეგში ამასთან შიგა შპინდელის ღარში მოთავსებული საცემელი 2 ბრუნავს და ამავე დროს მიექანება ნამზადისაკენ 5 და განახორციელებს დარტყმას ნამზადზე. ნამზადის შუა ნაწილის მოჭიმვა ხდება მხოლოდ მაშინ, როცა შპინდელი გადაინაცვლებს ისრის მიმართულებით ისეთ მანძილ-ზე, რომ ის საკმარისი იყოს მოჭიმვის სასურველი მნიშვნელობის მიღწევისათვის.

რადიალურ-საჭედი მანქანები: ა. გორგოლაჭიანი მანქანები. გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანები კონსტრუქციის მიხედ-ვით როტაციულ-საჭედი მანქანების მსგავსია [8]. გორგოლაჭიანი მანქანის კონსტრუქციის სქემა მოცემულია 56 ნახ-ზე.

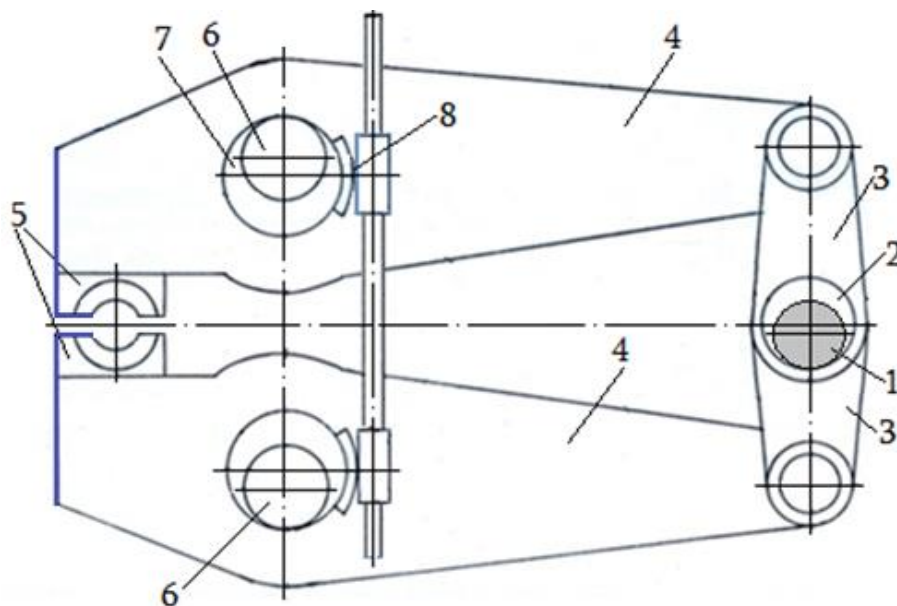


ნახ. 56. გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა

მანქანის დეტალები და კვანძები მოთავსებულია კორპუსში 9. მისი ასამოქმედებელი მექანიზმი წარმოადგენს გორგოლაჭებიან ჯვარედინას 8. ჯვარედინას გორგოლაჭები 4 კონტაქტშია საყრდენ გორგოლაჭებთან 3. ჯვარედინა ბარბაცით 2 დაკავშირებულია ექსცენტრულ ლილვთან 1. მანქანის მუშაობის პრინციპი ასეთია. ჯვარედინა რხევით მოძრაობაში მოდის ექსცენტრული ლილვის 1 და ბარბაცას 2 საშუალებით. ჯვარედინას რხევის დროს გორგოლაჭები 4 შედიან საყრდენსა 3 და ცოციას გორგოლაჭებს 5 შორის, რაც გადაადგილებს ცოციას 6 მანქანის ცენტრისკენ, რის გამო ნამზადი განიცდის დეფორმაციას საცემელებიდან 7.

გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანის ძირითადი ნაკლია ის, რომ მისი დეტალები ხშირად გამოდის მწყობრიდან დიდი დინამიკური დატვირთვების და დარტყმების გამო. გორგოლაჭიან მანქანებს ახასიათებს მაღალი ხმაურიანობა.

ბ. ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანები. ბერკეტული მანქანის სქემა მოცემულია 57 ნახ-ზე. საცემელებიანი ბერკეტები კინემატიკურ კავშირშია ლილვთან 1. ლილვზე 1 დამაგრებულია ექსცენტრიკები 2, რომლებთანაც დაკავშირებულია ბარბაცები 3. ბარბაცები სახრულადაა შეერთებული ბერკეტებთან 4, რომლებზეც დამაგრებულია საცემელები 5.

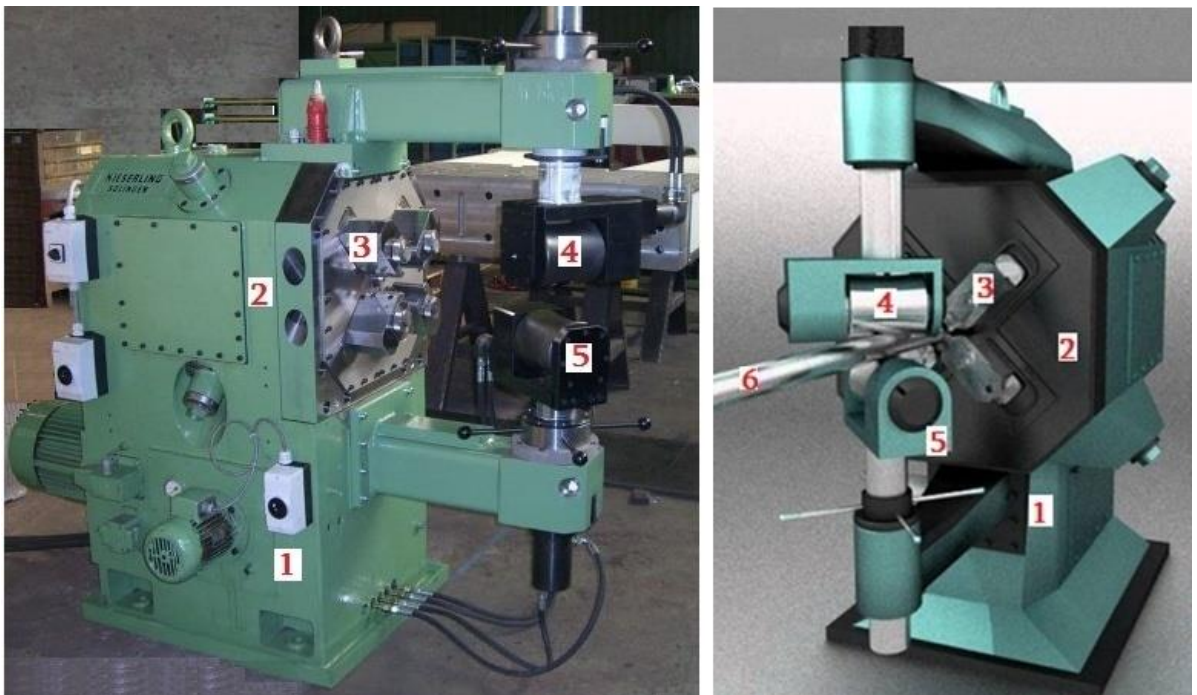


ნახ. 57. ბერკეტული მანქანის სქემა

ბერკეტები 4 დაყენებულია ღერძებზე 6. ექსცენტრული მილისები 7 განკუთნილია საცემელების სვლის რეგულირებისათვის, რაც ხორციელდება ჭიახრახნული მექანიზმით 8.

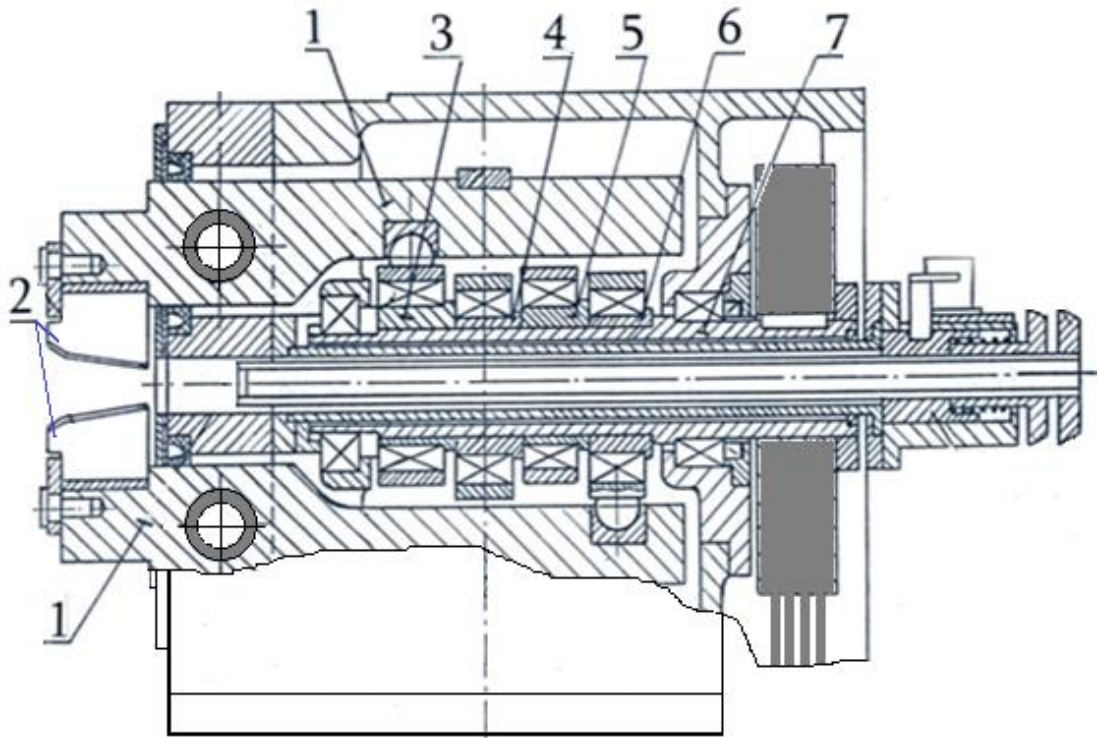
მანქანის მუშაობს ასეთნაირად: ექსცენტრიკებს 2 მოძრაობაში მოჰყავთ ბარბაცები 3. ბარბაცები გადასცემს რხევით მოძრაობას ბერკეტებს 4, რომლებზეც დამაგრებული საცემელები 5 განახორცილებს დარტყმებს ნამზადზე. ზემოთ აღწერილი სქემა უზრუნველყოფს მანქანის მაღალ საიმედოობას და სარემონტოდ ვარგისიანობას.

ნახ. 58-ზე წარმოდგენილია ფირმა „Kiesilring“-ის მანქანა, ხოლო ნახ. 58-ზე - მისი კინემატიკური სქემა. მანქანის სადგარში დგას ბერკეტები 1 საცემელებით 2. ბერკეტები შეხებაშია პროფილირებულ მუშტებთან 3,4,5,6. პროფილირებული მუშტები დამაგრებულია ლილვზე 7, რომელიც ღვედური გადაცემის მეშვეობით დაკავშირებულია ელექტროძრავასთან (ელექტროძრავა სქემაზე ნაჩვენები არ არის).



ნახ. 58. ფირმა „Kiesilring“-ის რადიალურ-საჭედი მანქანა:

1. მანქანის სადგარი; 2. სამჭედლო ბლოკი; 3. ბერკეტი საცემელით (4 ცალი); 4. ზედა მიმწოდებელი გორგოლაჭი; 5. ქვედა მიმწოდებელი გორგოლაჭი; 6. მილნამზადი



ნახ. 59. ფირმა „Kiesilring“-ის რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა

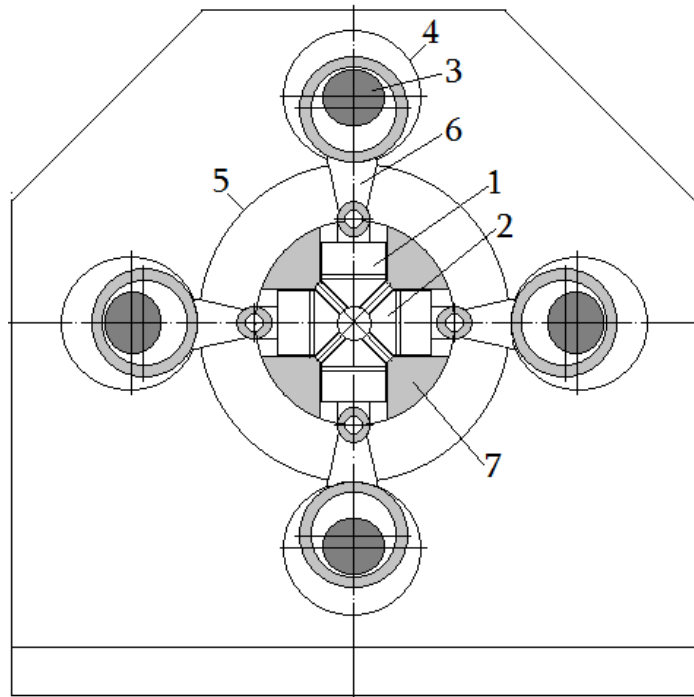
მანქანა ასეთნაირად მუშაობს. ელექტროძრავას ღვედური გადაცემის მეშვეობით ბრუნვაში მოჰყავს მუშტებიანი ლილვი 7, მუშტები 3 - 6 აიძულებს რხევითი მოძრაობა შეასრულოს ბერკეტებმა 1 და ბერკეტებზე დაყენებული საცემელები განახორციელებენ ნამზადის ჭედვას. ასეთი მანქანები ხასიათდება უხმაურო მუშაობით, აქვს მაღალი მწარმოებლურობით.

მანქანის ნაკლი იმაშია, რომ ბერკეტები სხვადასხვა სიგრძისაა, რის შედეგად არათანაბარია ბერკეტებთან შეერთებულ დეტალებზე დატვირთვა არათანაბარია და მათი ცვეთის ხარისხი განსხვავებულია, რაც იწვევს ნაკეთობის ზომების უზუსტობას და ხარისხის გაუარესებას.

გ. ბარბაციანი მანქანები. რადიალურ-საჭედ მანქანებიდან ყველაზე ზუსტია ბარბაციანი მანქანები.

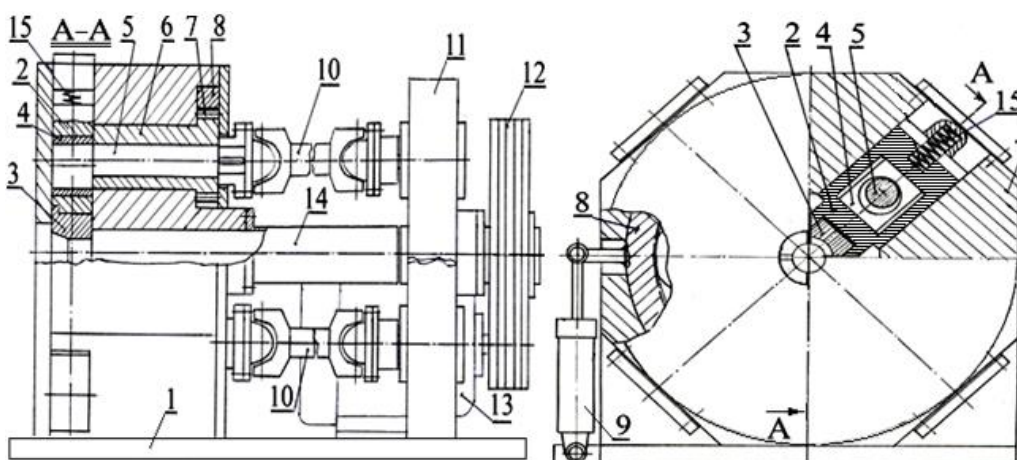
ნახ. 60-ზე წარმოდგენილ მანქანას აქვს ცოციები 1 საცემელებით 2 (მანქანას აქვს ოთხი ცოცია საცემელებით). ცოციები 1 მოძრაობაში მოდის მრუდმხარა ბარბაცა მექანიზმებით, რომელთა მრუდმხარები 3 დამაგრე-

ბულია კბილანებზე 4, რომლებიც მოდებამია ცენტრალურ კბილანასთან 5. მრუდმხარები 3 ბარბაცების 6 მეშვეობით შეერთებულია საცემელებიან ცოციებთან 1. ციციები 1 მოთავსებულია კორპუსის 7 კილოებში.



ნახ. 60. ბარბაციანი მანქანა

ბარბაციან მანქანებს მიეკუთვნება ასევე ექსცენტრულ-კულისა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა. ამ მანქანის კონსტრუქციული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 61-ზე.



ნახ. 61. ექსცენტრულ-კულისა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა
ექსცენტრულ-კულისა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა შეიცავს

სადგარს 1, რომლის წინა ნაწილში გაკეთებულია 45⁰-ით დახრილი კილოები (4 ცალი) და ამ კილოებში მოთავსებულია ციციები 2. ყოველივე ციციას ქვედა ნაწილში დამაგრებულია საცემელი 3, ხოლო შუა ნაწილის მართკუთხა კილოში ჩაყენებულია კულისა 4. კულისას ცილინდრულ ნახვრეტში გაყრილია ექცენტრული ლილვის 5 ექცენტრიკი. ექცენტრული ლილვი 5 მოთავსებულია ბრინჯაოს ექსცენტრულ მილისებში 6. ექსცენტრული მილისები 6 ჩამონტაჟებულია სადგარის 1 გამონაჩარხში. ექსცენტრული მილისების 6 უკანა ნაწილში მოჭრილია კბილებიანი სეგმენტები 7, რომლებიც მოდებამია რგოლის 8 შიგა კბილებთან. რგოლი 8 ზის სადგარის 1 უკანა ნაწილის გამონაჩარხში. რგოლთან 8 შეერთებულია პნევმოცილინდრი 9, რომელიც ამავე სადგარზეა დამაგრებული [67].

ექსცენტრული ლილვები 5 კარდანული ლილვების 10 მეშვეობით დაკავშირებულია კბილა რედუქტორთან 11, რომლის ცენტრალური კბილანას ლილვზე ზის შკივ-მქნევარა 12. შკივ-მქნევარა 12 ღვედების მეშვეობით დაკავშირებულია წამყვან შკივთან, რომელიც დაყენებულია ელექტროძრავას 13 ლილვზე. ელექტროძრავა 13 დგას მანქანის სადგარის 1 ფუძეზე. მილისებრი გამტარი 14 განკუთვნილია ნაჭედის მანქანიდან გაყვანისათვის. ზამბარები 15-ს დანიშნულებაა სამჭედლო კვანძებში არსებული ღრეჩოების აღმოფხვრისათვის.

მანქანის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში. ელექტროძრავას 13 და ღვედური გადაცემის მეშვეობით ბრუნვით მოძრაობაში მოდის რედუქტორის 11 წამყვანი ცენტრალური კბილანა, რედუქტორი 11 ბრუნვას გადასცემს მასთან კარდანული ლილვებით 10 შეერთებულ ექსცენტრულ ლილვებს 5. მბრუნავი ექსცენტრული ლილვები 5 აიძულებს ციციებს 2 შეასრულონ უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობა რის შედეგად საცემელები 3 აწარმოებენ დარტყმით ზემოქმედებას ნამზადზე და შესაბამისად ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას.

საფეხურებიანი ლილვების და ღერძების ჭედვის დროს მოქმედებას იწყებს პნევმოცილინდრი 9, რომელიც გარკვეული პროგრამის მიხედვით

ატრიალებს კბილა რგოლს 8, რომელიც მოდებაშია ექსცენტრული მილისების 6 კბილებიან სეგმენტებთან 7 და აიძულებს ექსცენტრულ მილისებს შემოტრიალებისაკენ. ამის გამო ექსცენტრული ლილვების ღერძები იცვლის თავის მდებარეობას სივრცეში- ჭედვის პროცესში იცვლება საცემელებს შორის მანძილი და ნაჭედზე მიიღება სასურველი საფეხური.

2.4.2. რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკური პარამეტრების თეორიული კვლევა

დინამიკური დატვირთვები, რომლებიც განპირობებულია რადიალურ-საჭედი მანქანების მოძრავი ელემენტების მნიშვნელოვანი მასით და აჩქარებით დიდ გავლენას ახდენს მანქანების საიმედოობაზე. ამიტომ, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კონსტრუქციული ზომების მიღება, რათა შევამციროთ დინამიკური და დარტყმითი ზემოქმედების ძალები.

რადიალურ-საჭედ მანქანებს, როგორც ნებისმიერი ტიპის სამჭედლო-საშტამპავ მოწყობილობას, ახასიათებს მთავარი ფაქტორი, რომელიც ამცირებს საიმედოობას ტექნოლოგიური წინააღმდეგობის დარტყმითი ხასიათი. აქედან გამომდინარე, მანქანაში წარმოიქმნება მკვეთრი დინამიკური დატვირთვები დარტყმები და ვიბრაცია, რაც იწვევს გაუმართაობას და ზოგიერთ შემთხვევაში მანქანის შეჩერებას.

ამჟამად, არსებობს ორი გზა მოწყობილობის საიმედოობის და ხანგამძლეობის ამაღლებისათვის. პირველი გზა მანქანების მომსახურებისა და შეკეთების პროგრესული სისტემა, რომელიც არ გამორიცხავს მანქანების გაუმართაობის შესაძლებლობას, მისი მიზანია ამ პრობლემების სწრაფი აღმოფხვრა. მეორე გზა დაკავშირებულია მთელ რიგ ღონისძიებებთან, რომლების უნდა შესრულდეს მანქანის შექმნის ყველა ეტაპზე – კონსტრუირება, დამზადება, ტესტირება. ეს გზა მიზნად ისახავს უწყისივრობების აღბათობას მიმნიშვნამდე კლებას, რომლებსაც გამოჰყავს მანქანა მწყობრიდან. ეს ღონისძიებები მოიცავს მანქანების სრულყოფილი კონსტრუქციული სქემების განვითარებას, ვიბრაციისა და დარტყმების ჩამქრობი მოწყობილობებით აღჭურვას.

თანამედროვე წარმოდგენების მიხედვით, სამჭედლო-საშტამპავი მოწყობილობა, მათ შორის რადიალურ-საჭედი მანქანები დინამიკურად აღზნებადი სისტემებია, რომლებისათვის დამახასიათებელია კომპონენტებია: კონსტრუქცია მასების და მათ შორის ელასტიური კავშირების პარამეტრული სიდიდებით; მოძრაობა ძრავიდან ინსტრუმენტით აღჭურვილი აღმასრულებელი მექანიზმისაკენ; ძალები, მუშა სხეულის ენერჯის მანქანის მოძრავი ნაწილების კინეტიკურ ენერჯიაში ტრანსფორმაციის ფიზიკური და მექანიკური პროცესების შედეგად წარმოქმნილი, ტექნოლოგიური ძალები, მავნე წინააღმდეგობის ძალები, შემაშფოთებელი ძალები.

დინამიკური პროცესების განვითარება დამოკიდებულია პირველ რიგში მანქანაში მასების სიდიდეზე და განაწილებაზე. ზოგიერთ შემთხვევაში, მასების ზრდას შეუძლია შეამციროს არასასურველი ვიბრაცია და ამით გამოიწვიოს დადებითი ეფექტი საიმედოობის გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ხოლო სხვა შემთხვევაში, პირიქით, აუარესებს მანქანის ხარისხს.

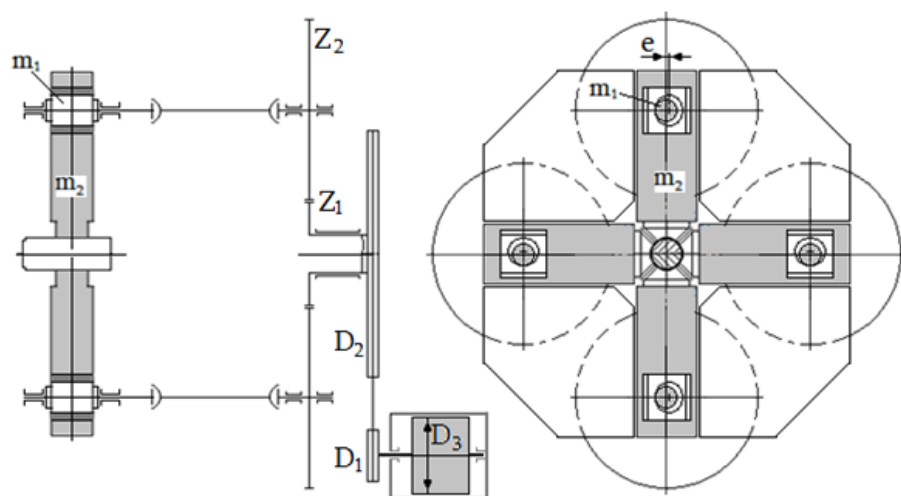
მანქანების მასიური ნაწილების დამაკავშირებელი ნაწილების ელასტიურობა არღვევს დატვირთვის გადაცემის ერთდროულად და მის მიერ გამოწვეული ნაწილების დეფორმაციას. დატვირთვისა და დეფორმაციების არაერთდროულმა გადაცემამ შეიძლება გამოიწვიოს ფაზების მნიშვნელოვანი აცდენა, ამასთან დეფორმაციებმა და შესაბამისმა ძაბვებმა შეიძლება მიაღწიოს კრიტიკული მნიშვნელობებს და ზოგჯერ გადააჭარბოს დასაშვებ ზღვარს.

სამჭედლო-საშტამპავ მანქანების სისტემებში ნათლად გამოირჩევა სამუშაო პერიოდები, როდესაც ლითონის პლასტიკური დეფორმაცია მიმდინარეობს და უქმი სვლა, როდესაც ინსტრუმენტი უახლოვდება ნამზადს ან შორდება მას. დინამიკური პროცესების შესწავლა სამუშაო და უქმი სვლის რეჟიმებში ცალცალკე უნდა ჩატარდეს. ეს კვლევა ხორციელდება დინამიკური მოდელების საფუძველზე, რომლებიც სამი ელემენტით კომპლექტდება. ესენია ინერციული ელემენტები, რომლებიც

წერტილებშია კონცენტრირებული; გარკვეული სიხისტის მქონე ელასტიური არაინერციული ელემენტები; მადემფირებელი ელემენტები, რომლებიც სისტემის ენერჯის გაფანტვას ახდენენ.

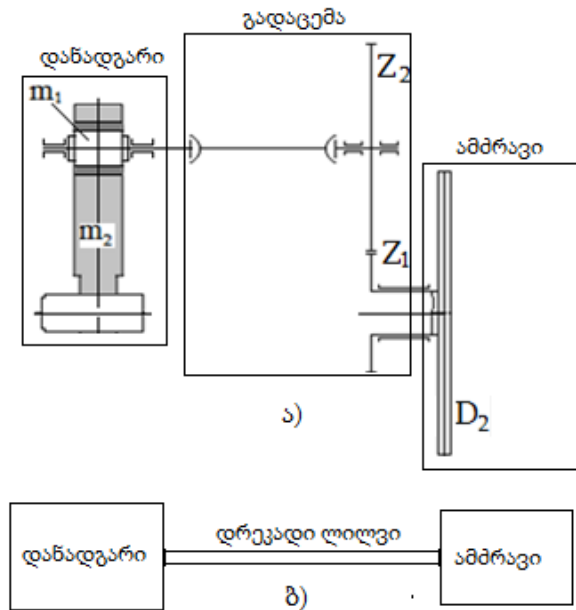
განვიხილოთ ექსცენტრულ-ბარბაცა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკური მოდელის შედგენის მეთოდოლოგია. ნახ. 62-ზე მოცემულია ამ მანქანის კინემატიკური სქემა [68].

რადიალურ-საჭედი მანქანა, როგორც სამანქანო აგრეგატი, შედგება მუშა დანადგარის, გადამცემ მექანიზმისა და ელექტროძრავისაგან (ნახ. 63ა). მუშა დანადგარი შეიცავს ოთხ იდენტურ სამჭედლო ბლოკს, რომლებიც მოთავსებულია სადგარში და მოქმედებაში მოდის ერთი საერთო ამძრავისაგან. ამძრავში შედის ელექტროძრავა ღვედური გადაცემა, რომლის ამჟამინდელი უკიდურესი დროს ასრულებს მქნევარას როლს. ვინაიდან უკიდურეს-მქნევარას ინერჯის მომენტი გაცილებით უფრო დიდია ამძრავის სხვა დეტალების ინერჯის მომენტზე, დინამიკური მოდელში ამძრავიდან შეგვიძლია შევიყვანოთ მხოლოდ უკიდურეს-მქნევარა. ვინაიდან ამძრავის მექანიკური ენერჯია თანაბრად ნაწილდება ოთხ სამჭედლო ბლოკს შორის, დინამიკური მოდელში შევა უკიდურეს-მქნევარას ინერჯის მომენტის მხოლოდ 1/4 ნაწილი წარმოადგენს ორი მასისაგან შემდგარ სისტემას, რომლებიც დრეკადი კავშირითაა ერთმანეთთან დაკავშირებული (იხ.ნახ. 2.4.13ბ).



ნახ. 62. ექსცენტრულ-ბარბაცა რადიალურ-საჭედი მანქანის კინემატიკური სქემა
პირველი მასაა ამძრავის მქნევარას ნაწილი (აქ იგულისხმება მქნევარას მასის

1/4, ვინაიდან მქნევარას მექანიკური ენერგია ნაწილდება 4 ექსცენტრულ ლილვს შორის), რომლის ინერციის მომენტია I_1 , ხოლო მეორე მასა შეიცავს ექსცენტრულ ლილვს და ამ ლილვზე დაყვანილ ცოციას მასას. ინერციის მომენტი I_1 დაყვანილია ექსცენტრულ ლილვზე. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ გადამცემი მექანიზმის დეტალების ლილვებისა და კბილანების ინერციის მომენტების სიმცირის გამო, ისინი უგელებელყოფილია.



ნახ. 63. მანქანის დინამიკური მოდელი

ა - დინამიკური მოდელის სქემა; ბ - დინამიკური მოდელის საანგარიშო სქემა
 მაშასადამე, რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკური მოდელი

ექსცენტრულ ლილვზე დაყვანილი ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმის ცოციას ინერციის მომენტი უდრის:

$$I_2 = Me^2 \left(\sin\phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right),$$

სადაც M არის ცოციას მასა;

e –ექსცენტრული ლილვის ექსცენტრისიტეტი;

ϕ –კუთხე, რომელიც აფიქსირებს ექსცენტრული ლილვის

მდგომარეობას.

მაშასადამე, ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმის ცოციას ინერციის მომენტი ცვლადი სიდიდეა, ვინაიდან ცოციას სიჩქარე განუწყვეტლივ იცვლება სინუსოიდური კანონით. ამოცანის გამარტივების მიზნით ვიღებთ ციციას საშუალო სიჩქარეს და კინეტიკური ენერგიების ბალანსიდან გამოძ-

დინარე გამოვთვლით მის დაყვანილ ინერციის მომენტს:

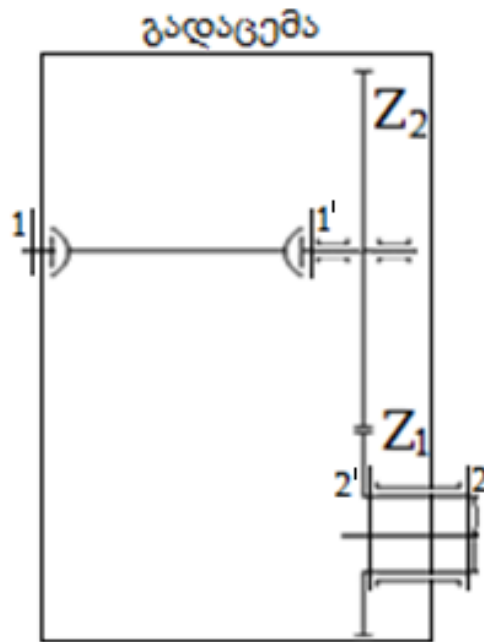
$$\frac{M\bar{v}^2}{2} = \frac{I_2\omega^2}{2}; I_2 = \frac{M\bar{v}^2}{\omega^2},$$

სადაც \bar{v} არის ცოცხის საშუალო სიჩქარე;

ω – ექსცენტრული ლილვის კუთხური სიჩქარეა.

განვსაზღვროთ დინამიკური მოდელის დრეკადი ლილვის სიხისტე,

რისთვისაც მივმართოთ სქემას ნახ. 64-ზე.



ნახ. 64. დრეკადი ლილვის სიხისტის განსაზღვრის სქემა

დინამიკური მოდელის დრეკადი ლილვის სიხისტე უდრის გადამცემი მექანიზმის დეტალების ჯამურ სიხისტეს. მუშაობის დროს გადამცემი მექანიზმის დეტალები განიცდის დრეკად დეფორმაციას ლილვები გრეხას, კბილანების კბილები ღუნვას. ჩავთვალოთ, რომ კვეთი 1 (იხ.ნახ. 64) უძრავია, ხოლო კვეთში 2 მოვდოთ მომენტი M_2 . ამ მომენტის მოქმედების შედეგად უბანი 2-2' დაიგრძელება, ხოლო კვეთი 2 კვეთის 2' მიმართ შემობრუნდება გარკვეული კუთხეზე. მომენტი M_2 ასევე გამოიწვევს $Z_1 - Z_2$ კბილა მოდებაში კბილების დეფორმაციას, რის გამო კვეთი 1' დამატებით კუთხეზე შემობრუნდება 2' კვეთის მიმართ. ამას დამატება კვეთის 1 შემობრუნება, რომელიც გამოწვეული იქნება 1-1' უბნის დაგრხით. ასე, რომ კვეთის 1 სრული შემობრუნება მიიღება როგორც გადაცემის შესაბამისი უბნების კუთხური დეფორმაციების ჯამი, ე.ი.

$$\varphi_1 = \frac{M_2}{c_{22'}} + \frac{M_2}{c_{2'1'}} + \frac{M_2 i_{2'1''}}{c_{1'1}} i_{2'1'} = M_2 \left(\frac{1}{c_{22'}} + \frac{1}{c_{2'1'}} + \frac{i_{2'1''}^2}{c_{1'1}} \right).$$

აქედან მივიღებთ დინამიკური მოდელის დრეკადი ლილვის დამყოლობას:

$$\frac{1}{c_{21}} = \frac{1}{c_{22'}} + \frac{1}{c_{2'1'}} + \frac{i_{2'1''}^2}{c_{1'1}}.$$

დინამიკური მოდელის დრეკადი ლილვის სიხისტე $c_{21} = c_{12}$ მიიღება, როგორც მისი დამყოლობის შებრუნებული სიდიდე.

განვიხილოთ რხევითი პროცესი ექსცენტრულ-ბარბაცა რადიალურ-საჭედი მანქანის დინამიკურ მოდელში (იხ. ნახ. 63 ბ).

პირველ რიგში განვიხილოთ მანქანის უქმი სვლის პერიოდი. ვინაიდან ამ დროს ჭედვის პროცესი არ მიმდინარეობს გარეშე ძალების მომენტები არ მოქმედებს. ჩავთვალოთ, რომ ენერჯის ფატნვა ხახუნზე იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება მისი უგულებელყოფა. მაშინ მოდელის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 = -c_{12}(\phi_1 - \phi_2);$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 = c_{12}(\phi_1 - \phi_2)$$

ანდა

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = 0;$$

1

$$I_2 \ddot{\phi}_2 - c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = 0$$

სადაც $c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = M_{12}$ არის ექსცენტრულ ლილვზე მოქმედი დრეკადი მომენტი.

ამ სისტემის პირველი განტოლების I_1 -ზე, ხოლო მეორე განტოლების I_2 -ზე გაყოფისა და პირველი განტოლებიდან მეორე განტოლების გამოკლების შემდეგ ვღებულობთ:

$$\ddot{\phi}_1 - \ddot{\phi}_2 + \left(\frac{c_{12}}{I_1} + \frac{c_{12}}{I_2} \right) (\phi_1 - \phi_2) = 0;$$

$$\ddot{\phi}_1 - \ddot{\phi}_2 + \left(\frac{M_{12}}{I_1} + \frac{M_{12}}{I_2} \right) = 0.$$

თუ ამ განტოლებას გავამრავლებთ c_{12} -ზე, მივიღებთ:

$$\ddot{M}_{12} + c_{12} \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} M_{12} = 0$$

2

ეს გამოსახულება წარმოადგენს მეორე რიგის წრფივ დიფერენციალურ განტოლებას მუდმივი კოეფიციენტებით.

ამ განტოლების ამონახსნს ასეთი სახე აქვს:

$$M_{12} = A \sin \omega t + B \cos \omega t, \quad 3$$

სადაც ω არის სისტემის საკუთარი რხევების სიხშირე, რომელიც უდრის:

$$\omega = \sqrt{c_{12} \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}};$$

A და B ნებისმიერი მუდმივებია, რომლებიც საწყისი მონაცემებიდან განისაზღვრება. საწყის მომენტში $t=0$ და $M_{12} = 0$, მქნევარა ბრუნავს ω_0 კუთხური, ხოლო I_2 მქნევარა მასა უძრავია, ე.ი. $\dot{M}_{12} = c_{12}(\omega_0 - 0) = c_{12}\omega_0$. ამ საწყისი მონაცემებიდან ვღებულობთ A და B კოეფიციენტებს:

$$M_{12} = 0; B = 0; \dot{M}_{12} = A\omega \cos \omega t - B\omega \sin \omega t; A\omega = c_{12}\omega_0; A = \frac{c_{12}\omega_0}{\omega}.$$

მაშინ დრეკადი მომენტის გამოსახულება ასეთი იქნება:

$$M_{12} = \frac{c_{12}\omega_0}{\omega} \sin \omega t = \frac{c_{12}\omega_0}{\omega} \sin \sqrt{c_{12} \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}} t \quad 4$$

მაშასადამე დრეკადი მომენტი ჰარმონიული კანონით იცვლება და მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა უდრის:

$$M_{12}^{\max} = \frac{c_{12}\omega_0}{\omega},$$

ე.ი. დრეკადი მომენტი მით მეტია, რაც უფრო მეტია მქნევარას კუთხური სიჩქარე და მექანიზმის ჯამური სიხისტე.

დინამიკური მოდელის გამოყენებით განვიხილოთ თუ რას უდრის დრეკადი მომენტი მანქანის დატვირთვის დროს ანუ ჭედვის პროცესში.

ჩავთვალოთ, რომ დატვირთვა ცოციაზე იცვლება სინუსოიდური კანონით და მისი ცვლილების სიხშირე p -ს უდრის, ე.ი. $P = P_m \sin pt$, აქ P_m არის საცემლისა და ნამზადს შორის დარტყმითი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა. ეს ძალა წარმოქმნის ტექნოლოგიური წინააღმდეგობის მომენტს, რომელიც უდრის:

$$M_T = P_m m_e \sin pt = M_m \sin pt,$$

სადაც m_e არის ზემოაღნიშნული ძალის მხარი, რომელიც დატვირთვის

პროცესის ხანმოკლეობის გამო შეგვიძლია მუდმივ სიდიდედ ჩავთვალოთ;

M_m – ტექნოლოგიური წინააღმდეგობის მომენტის მაქსიმალური მნიშ-

ვნელობა.

მაშინ დიფერენციალური განტოლება სისტემა ასეთნაირად ჩაიწერება:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\phi}_1 &= -c_{12}(\phi_1 - \phi_2); \\ I_2 \ddot{\phi}_2 &= c_{12}(\phi_1 - \phi_2) - M_T \\ &\text{ანდა} \\ I_1 \ddot{\phi}_1 + c_{12}(\phi_1 - \phi_2) &= 0; \\ I_2 \ddot{\phi}_2 - c_{12}(\phi_1 - \phi_2) &= -M_T \end{aligned} \quad 5$$

ამ სისტემის პირველი განტოლების I_2 -ზე, ხოლო მეორე განტოლების I_1 -ზე, გამრავლებისა და პირველი განტოლებიდან მეორე განტოლების გამოკლების შემდეგ ვიღებთ:

$$I_1 I_2 (\ddot{\phi}_1 - \ddot{\phi}_2) + c_{12} (I_1 + I_2) (\phi_1 - \phi_2) = I_1 M_T.$$

მიღებულ გამოსახულების c_{12} -ზე გადამრავლებისა და გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ გვექნება:

$$c_{12} (\ddot{\phi}_1 - \ddot{\phi}_2) + c_{12}^2 \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} \right) (\phi_1 - \phi_2) = \frac{I_1}{I_1 I_2} c_{12} M_T$$

ანდა

$$\ddot{M}_{12} + c_{12} \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} \right) M_{12} = \frac{c_{12}}{I_2} M_T.$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\omega^2 = \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}$ და $M_T = M_m \text{Sin}pt$, გვექნება ასეთი დიფერენციალური განტოლება:

$$\ddot{M}_{12} + \omega^2 M_{12} = \frac{c_{12}}{I_2} M_m \text{Sin}pt. \quad 6$$

აღვნიშნოთ $\frac{c_{12}}{I_2} M_m = H$, მაშინ მივიღებთ დიფერენციალური განტოლებას

კანონიკური ფორმით:

$$\ddot{M}_{12} + \omega^2 M_{12} = H \text{Sin}pt. \quad 6a$$

გამოსახულება (6a) წარმოადგენს მეორე რიგის არაერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას მუდმივი კოეფიციენტებით. საწყისი პირობები

ამ განტოლების ამოხსნისათვის ასეთია: $M_{12}(0) = 0$; $\dot{M}_{12}(0) = \frac{\omega_0}{e_{12}}$, სადაც ω_0

არის ექსცენტრული ლილვის კუთხური სიჩქარე; e – დრეკადი სისტემის დამყოლობა ანუ $e_{12} = \frac{1}{c_{12}}$.

დიფერენციალური განტოლების ნა ერთგვაროვანი ნაწილის მახასიათებელი განტოლება წარმოადგენს შემდეგ კვადრატულ განტოლებას:

$$\lambda^2 + \omega^2 = 0,$$

რომლის ამოხსნის შედეგად მიიღება ორი წარმოსახვითი ფესვი:

$$\lambda = \pm \omega i$$

მაშინ დიფერენციალური განტოლების ერთგვაროვანი ნაწილის ამონახსნს ასეთი სახე ექნება:

$$M'_{12} = A \sin \lambda_1 t + B \cos \lambda_2 t = A \sin \omega t + B \cos \omega t,$$

სადაც A, B მუდმივი სიდიდეებია, რომელთა მნიშვნელობები მიიღება საწყისი ირობებიდან. დიფერენციალური განტოლების კერძო ამონახსნი განვსაზღვროთ შემთხვევი-სათვის, როცა $p \neq \omega$.

მოცემულ შემთხვევაში კერძო ამონახსნი შეიძლება გამოვსახოთ როგორც:

$$M''_{12} = C \sin pt,$$

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობა და მისი მეორე წარმოებული დიფერენციალურ განტოლებაში. პირველი და მეორე წარმოებულების განსაზღვრის შემდეგ გვექნება:

$$\begin{aligned} \dot{M}''_{12} &= Cp \cos pt, & \ddot{M}''_{12} &= -Cp^2 \sin pt, \\ -Cp^2 \sin pt + C\omega^2 \sin pt &= H \sin pt. \end{aligned}$$

ამ გამოსახულებიდან ვღებულობთ: $C = \frac{H}{\omega^2 - p^2}$.

მაშინ დიფერენციალური განტოლების სრული ამონახსნი იქნება:

$$M_{12} = M'_{12} + M''_{12} = A \sin \omega t + B \cos \omega t + \frac{H}{\omega^2 - p^2} \sin pt \quad 7$$

განვსაზღვროთ A, B მუდმივები საწყისი პირობებიდან:

$$M_{12}(0) = 0; \quad \dot{M}_{12}(0) = \frac{\omega_0}{e_{12}} = c_{12} \omega_0.$$

$$\dot{M}_{12} = A \omega \cos \omega t - B \omega \sin \omega t + \frac{Hp}{\omega^2 - p^2} \cos pt;$$

როცა $t = 0$, $M_{12}(0) = A \cdot 0 + B \cdot 1 + \frac{H}{\omega^2 - p^2} \cdot 0 = 0$, საიდანაც $B = 0$;

$\dot{M}_{12}(0) = A\omega \cdot 1 - B\omega \cdot 0 + \frac{Hp}{\omega^2 - p^2} \cdot 1 = c_{12}\omega_0$, საიდანაც $A = c_{12} \frac{\omega_0}{\omega} + \frac{Hp}{\omega(\omega^2 - p^2)}$.

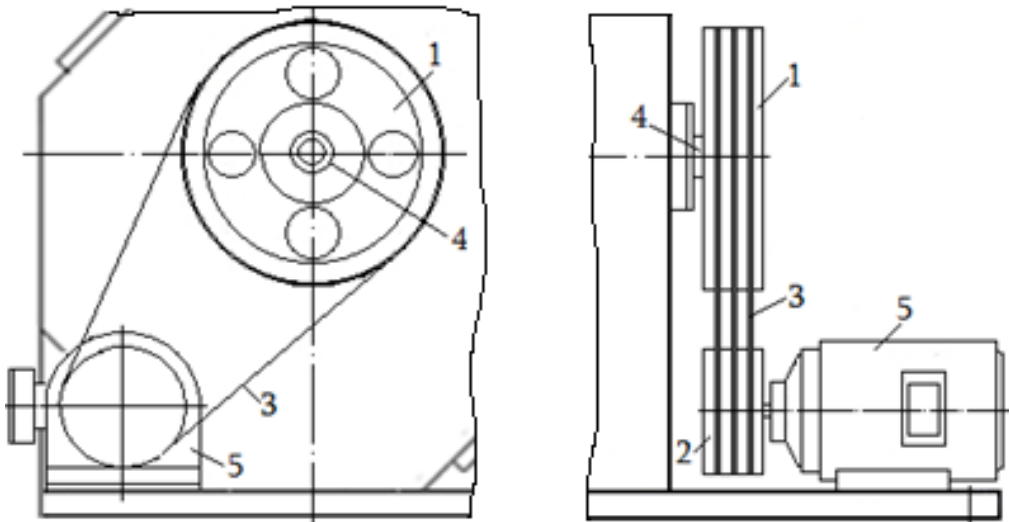
A, B მუდმივების ჩასმის შემდეგ დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი იქნება:

$$M_{12} = [c_{12} \frac{\omega_0}{\omega} + \frac{Hp}{\omega(\omega^2 - p^2)}] \text{Sin}\omega t + \frac{H}{\omega^2 - p^2} \text{Sin}pt. \quad 7a$$

ამ გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დრეკადი მომენტის ცვლილების ხასიათი მანქანის დატვირთულობის ეტაპზე განისაზღვრება ორი ჰარმონიული ფუნქციის შეჯამებით, რომლებიც შეესაბამება იძულებით და თავისუფალ რხევებს.

დრეკადი მომენტის მნიშვნელობა მით უფრო მეტი იქნება, რაც უფრო ნაკლები იქნება სხვაობა დატვირთვის ცვალებადობის სიხშირესა და სისტემის საკუთარ რხევების სიხშირეს შორის.

რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების მუშაობის ეფექტურობა და ეკონომიური ექსპლუატაცია დამოკიდებულია ამპრავის (65) პარამეტრების შერჩევაზე.



ნახ. 65. რადიალურ-საჭედი მანქანის ამპრავი

1. შკივ-მქნევარა; 2. წამყვანი შკივი; 3. ღვედი; 4. ცენტრალური ლილვი; 5. ძრავა

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ამპრავის მქნევარა მასების გაანგარიშებას, ვინაიდან ზუსტად დაპროექტებული მქნევარა უზრუნველყოფს მანქანის სტაბილურ მუშაობას და ელექტროენერჯის ეკონომიას [69].

ქვემოთ განხილულია მქნევარა მასების გაანგარიშების მეთოდიკა, რომელიც დამყარებულია ენერგეტიკულ პრინციპზე.

მანქანის ცენტრალური ლილვის მოძრაობის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლება იმ დროის შუალედში, როდესაც წარმოებს ერთი ნამზადის გამოჭედვა, შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\frac{I\omega_0^2}{2} - \frac{I\omega^2}{2} = A_p - \eta N_e t_p, \quad 8$$

სადაც I არის მბრუნავი დეტალების ინერციის მომენტი, დაყვანილი

ცენტრალურ ნლილვზე;

ω – ცენტრალური ლილვის ბრუნვითი სიხშირეა ნამზადის გამოჭედვის ბოლო ეტაპზე;

A_p – დეფორმაციის მუშაობა;

η – მანქანის მ.ქ.კ.;

N_e – მთავარი ელექტროამპრავის სიმძლავრე;

t_p – ნამზადის გამოჭედვის დრო.

ინერციის მომენტი I უდრის:

$$I = \frac{GD^2}{4g}.$$

ვინაიდან მანქანა შეიცავს სოლღვედურ გადაცემას, მასები უნდა გადავანაწილოთ ექსცენტრულ და წამყვან ლილვებს შორის. ასეთ მაშინ დაყვანილი მქნევარა მომენტი იქნება:

$$GD^2 = i^2 (GD_{e0}^2 + GD_{e1}^2) \eta + \sum_{k=1}^n GD_k^2,$$

სადაც i – სოლღვედური გადაცემის გადაცემათა რიცხვი;

η – გადაცემის მ.ქ.კ.;

GD_{e0}^2 – ელექტროძრავას როტორის მქნევარა მომენტი;

GD_{e1}^2 – ელექტროძრავას შკივის მქნევარა მომენტი;

$\sum_{k=1}^n GD_k^2$ – ცენტრალურ ლილვზე დაყვანილი დეტალების მქნევარა მო-

მენტების ჯამი.

თუ შემოვიტანთ ბრუნვათა რიცხვის შემცირების კოეფიციენტ p – ს, რომელიც უდრის $p = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0}$, გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ, განტოლება 8 შეგვიძლია ჩავწეროთ ასეთი სახით:

$$GD^2 = \frac{78,5(A_p - \eta N_e t_p)}{\omega_0^2 (1 - p^2)}. \quad 9$$

ერთი ნამზადის დეფორმაციის დრო შეადგენს:

$$t_p = \frac{l}{S},$$

სადაც l – ნამზადის სიგრძეა;

S – ნამზადის მიწოდებაა; $S = \frac{60\nu}{N}$;

ν – ნამზადის მიწოდების სიჩქარე;

N – მანქანის დარტყმათა რაოდენობა წუთში.

მანქანის მოძრაობის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლების შედგენისას იგულისხმება, რომ მანქანა მუშაობს გარკვეული პაუზებით, რომლებსაც ადგილი აქვს ცალკეული ნამზადების გამოჭედვისას. თუ პაუზების დროს აღვნიშნავთ t_0 , მივიღებთ კოეფიციენტს, რომელიც

ახასიათებს მანქანის მუშაობის ინტენსივობას: $k = \frac{t_p}{t_p + t_0}$, კოეფიციენტი k

წინასწარაა მოცემული, ან შეირჩევა მწარმოებლობის ანგარიშის დროს. ამ კოეფიციენტის გათვალის წინებით პაუზების დრო გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$t_0 = t_p \left(\frac{1}{k} - 1 \right).$$

მანქანის სტაბილური მუშაობის პირობიდან გამომდინარე, ახალი ნამზადის მიწოდებამდე ელექტროძრავამ პაუზების პერიოდში უნდა აღადგინოს თავისი საწყისი ბრუნვითი სიჩქარე, ე.ი. $t_0 = t_{Resr}$.

ნომინალური ბრუნთა რიცხვის აღდგენის პროცესისათვის მანქანის ბრუნვითი მოძრაობის ენერგეტიკული განტოლება ჩაიწერება ასეთნაირად:

$$GD^2(\omega^2 - \omega_0^2) = -78,5\eta N_e t_{\text{Rest}} \quad 10$$

აქედან ბრუნთა რიცხვის აღდგენისათვის საჭირო დრო შეადგენს:

$$t_{\text{Rest}} = \frac{GD^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{78,5\eta N_e} = \frac{GD^2(1 - p^2)\omega_0^2}{78,5\eta N_e} = \frac{A_p - \eta N_e t_0}{\eta N_e}.$$

მეორე მხრივ $t_{\text{Rest}} = t_p \left(\frac{1}{k} - 1\right)$. აქედან ვრეზობთ, რომ პლასტიკური

დეფორმაციის მუშაობის განმსაზღვრელი სიდიდის მნიშვნელობა უდრის:

$$A_p = \frac{\eta N_e t_p}{k}, \quad 11$$

ხოლო ელექტროძრავას სიმძლავრე, შესაბამისად იქნება:

$$N_e = \frac{k A_p}{\eta t_p}. \quad 12$$

მე-11 და მე-12 გამოსახულებებიდან მიღებული სიდიდეების მე-9 განტოლებაში ჩასმით ვღებულობთ მქნევარა მომენტის საძიებელ სიდიდეს.

გამოსახულება (9)-ს ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მქნევარა მომენტის შემცირება ბევრადაა დამოკიდებული ელექტროძრავას ბრუნთა რიცხვის შემცირების კოეფიციენტზე, რომელიც განისაზღვრება ძრავას ელექტრო-მექანიკური მახასიათებლებით. აქედან გამომდინარე, რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების აძრავში სასურველია ისეთი ელექტროძრავების გამოყენება, რომლებსაც გააჩნია სრიალის კოეფიციენტის მაღალი მნიშვნელობა.

მქნევარას ანგარიში

1. განვსაზღვროთ მანქანის მუშაობის ერთი ციკლის ხანგრძლივობა. თუ მანქანის ექსცენტრული ლილვის ბრუნვითი სიხშირე უდრის 600 ბრუნ/წთ, მაშინ ერთი ბრუნის დრო შეადგენს $60/600 = 0,1$ წმ, ე.ი. $t_0 + t_p = 0,1$ წმ.

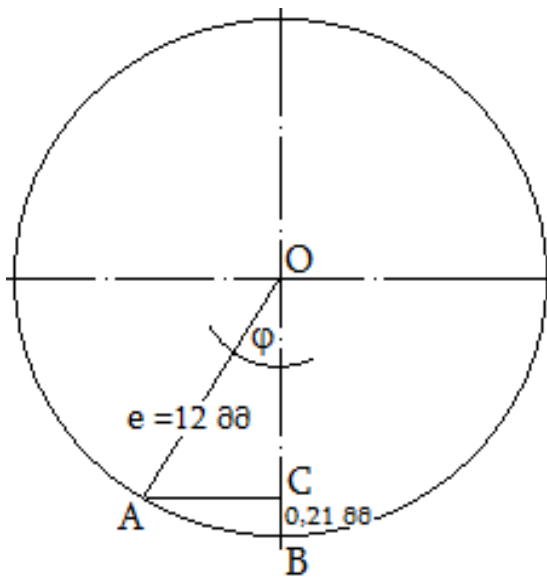
2. განვსაზღვროთ ერთული დეფორმაციის და პაუზის დრო. თუ საცემელების მუშა ზედაპირის დახრის კუთხე $\alpha = 6^\circ$ ($\operatorname{tg}\alpha = 0,1054$), ხოლო ნამზადის გრძივი მიწოდება $S = 2$ მმ, მაშინ ერთეული მოჭიმვა იქნება:
 $\Delta r_1 = S \cdot \operatorname{Sin}\alpha = 2 \cdot 0,1045 = 0,209 \approx 0,21$ მმ.

ექსცენტრული ლილვის კუთხური გზა, რომელიც შეესაბამება ერთეულ მოჭიმვას, შეგვიძლია ვიპოვოთ ნახ. 65-ზე მოცემული სქემიდან.

სამკუთხედიდან OAC : $BC = OB - OC = e - e \operatorname{Cos}\varphi = e(1 - \operatorname{Cos}\varphi)$, საიდანაც

ვღებულობთ: $1 - \operatorname{Cos}\varphi = \frac{BC}{e} = \frac{0,21}{12} = 0,0175$; $\operatorname{Cos}\varphi = 1 - 0,0175 = 0,9825$;

$\varphi = \operatorname{arcCos}0,9825 = 10^\circ 18' = 10,3^\circ$.



ნახ. 66. ექსცენტრული ლილვის კუთხური გზის განსაზღვრის სქემა

ამ კუთხის შესაბამისი დროის მონაკვეთი უდრის: $t_p = \frac{10,3}{360} \cdot 0,1 = 0,0029$

წმ. მაშინ პაუზის დრო იქნება: $t_0 = 0,1 - 0,0029 = 0,0971$ წმ.

3. მანქანის მუშაობის ინტენსივობის კოეფიციენტი უდრის:

$$k = \frac{t_p}{t_p + t_0} = \frac{0,0029}{0,1} = 0,029.$$

4. ელექტროძრავას სიმძლავრე, შესაბამისად, იქნება:

$$N_e = \frac{kA_p}{\eta t_p} = \frac{0,029 \cdot 6174}{0,95 \cdot 0,0029} = 64990 \text{ კტ} \approx 65 \text{ კვტ.}$$

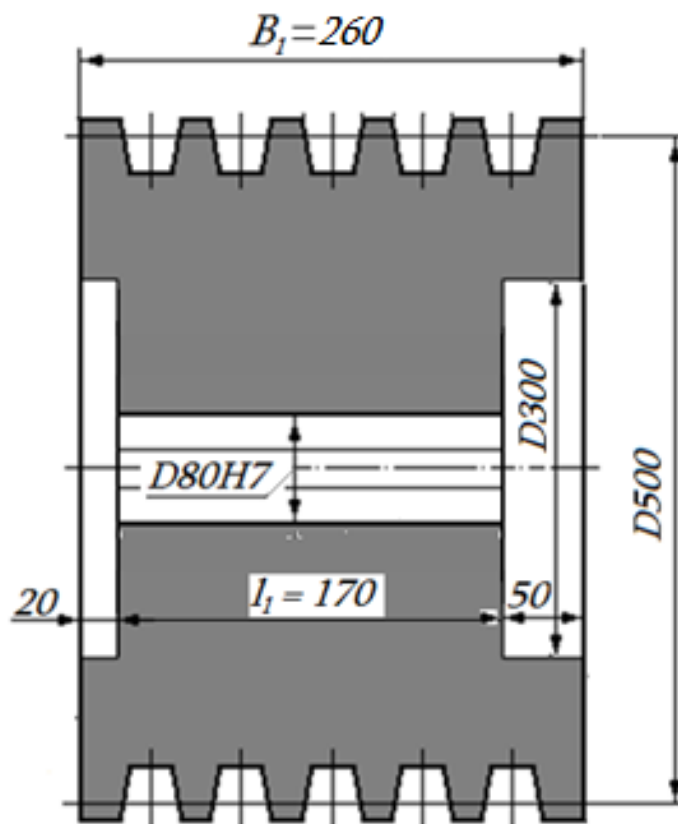
5. ელექტროძრავას შერჩევა: ექსცენტრული მექანიზმის ამძრავისათვის ვირჩევთ ასინქრონულ ელექტროძრავას 4A280S4Y3, რომლის სიმძლავრე შეადგენს 75 კვტ–ს, ხოლო ბრუნვითი სიხშირე უდრის 1000 ბრუნ/წუთ [].
6. ექსცენტრული ლილვის კუთხური სიჩქარე უდრის:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 62,8 \text{ წმ}^{-1}.$$

7. მივიღოთ ბრუნთა რიცხვის შემცირების კოეფიციენტის მნიშვნელობა $p = 0,97$; მაშინ მანქანის ამძრავის საერთო მქნევარა მომენტი იქნება:

$$GD^2 = \frac{78,5(A_p - \eta N_e t_p)}{\omega_0^2 (1 - p^2)} = \frac{78,5(6174 - 0,95 \cdot 65000 \cdot 0,0029)}{62,8^2 (1 - 0,97^2)} = 2019 \text{ კგ.მ}^2.$$

9. ელექტროძრავას მქნევარა მომენტი უდრის: $GD_e^2 = 3,04 \text{ კგ.მ}^2$.
10. განვსაზღვროთ წამყვანი შკივის (ნახ. 67) მქნევარა მომენტი.



ნახ. 67. წამყვანი შკივი

- წამყვანი შკივის წონა უდრის:

$$G_1 = \rho V = \rho \left(\frac{\pi D_1^2}{4} B_1 - \frac{\pi d_1^2}{4} l_1 - \frac{\pi d_2^2}{4} l_2 \right) =$$

$$= 7800 \cdot \frac{3,14}{4} [0,5^2 \cdot 0,26 - 0,08^2 \cdot 0,17 - 0,3^2 \times$$

$$\times (0,02 + 0,05)] = 6123 \cdot (0,065 - 0,001 - 0,0063) = 6231 \cdot 0,0577 = 360 \text{კგ.}$$

- წამყვანი შკივის მქნევარა მომენტი:

$$G_1 \bar{D}_1^2 = 360 \cdot \left(\frac{0,5+0,08}{2} \right)^2 = 30,28 \text{კგ.მ}^2.$$

11. ელექტროძრავას და წამყვანი შკივის ჯამური მქნევარა მომენტი:

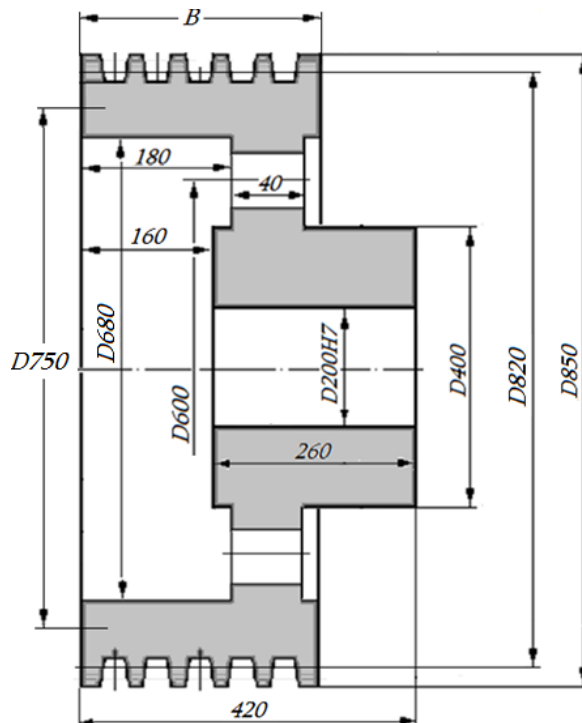
$$GD_e^2 + G_1 \bar{D}_1^2 = 3,04 + 30,28 = 33,32 \text{კგ.მ}^2.$$

12. ელექტროძრავას და წამყვანი შკივის დაყვანილი ჯამური მქნევარა მომენტი:

$$GD_{\text{დაყვ}}^2 = (GD_e^2 + G_1 \bar{D}_1^2) i^2 = 33,32 \cdot 2,5^2 = 208,25 \text{კგ.მ}^2.$$

13. შკივ-მქნევარას (ნახ. 68) ფერსოს მქნევარა მომენტი იქნება:

$$G_2 \bar{D}_2^2 = 2019 - 208,25 = 1810,75 \text{კგ.მ}^2.$$



ნახ. 68. შკივ-მქნევარა

14. შკივ-მქნევარას ფერსოს ინერციის მომენტი უდრის:

$$I_2 = \frac{G_2 \bar{D}_2^2}{4g} = \frac{1810,75}{4 \cdot 9,81} = 46,19 \text{ კგ.მ}^2.$$

15. შვივ-მქნევარას ფერსოს საშუალო დიამეტრი უდრის $\bar{D} = \frac{820+680}{2} = 750$

მმ, ხოლო ფერსოს სისქე $h = \frac{820-680}{2} = 70$ მმ.

16. შვივ-მქნევარას ფერსოს მასა უდრის:

$$m = \pi \bar{D} B h \cdot \rho.$$

17. შვივ-მქნევარას ფერსოს მქნევარა მომენტი გამოისახება ფორმულით:

$$I_2 = \frac{m \bar{D}^2}{4} = \frac{\pi \bar{D}^3 B h \cdot \rho}{4},$$

საიდანაც ვღებულობთ ფერსოს სიგანის მნიშვნელობას:

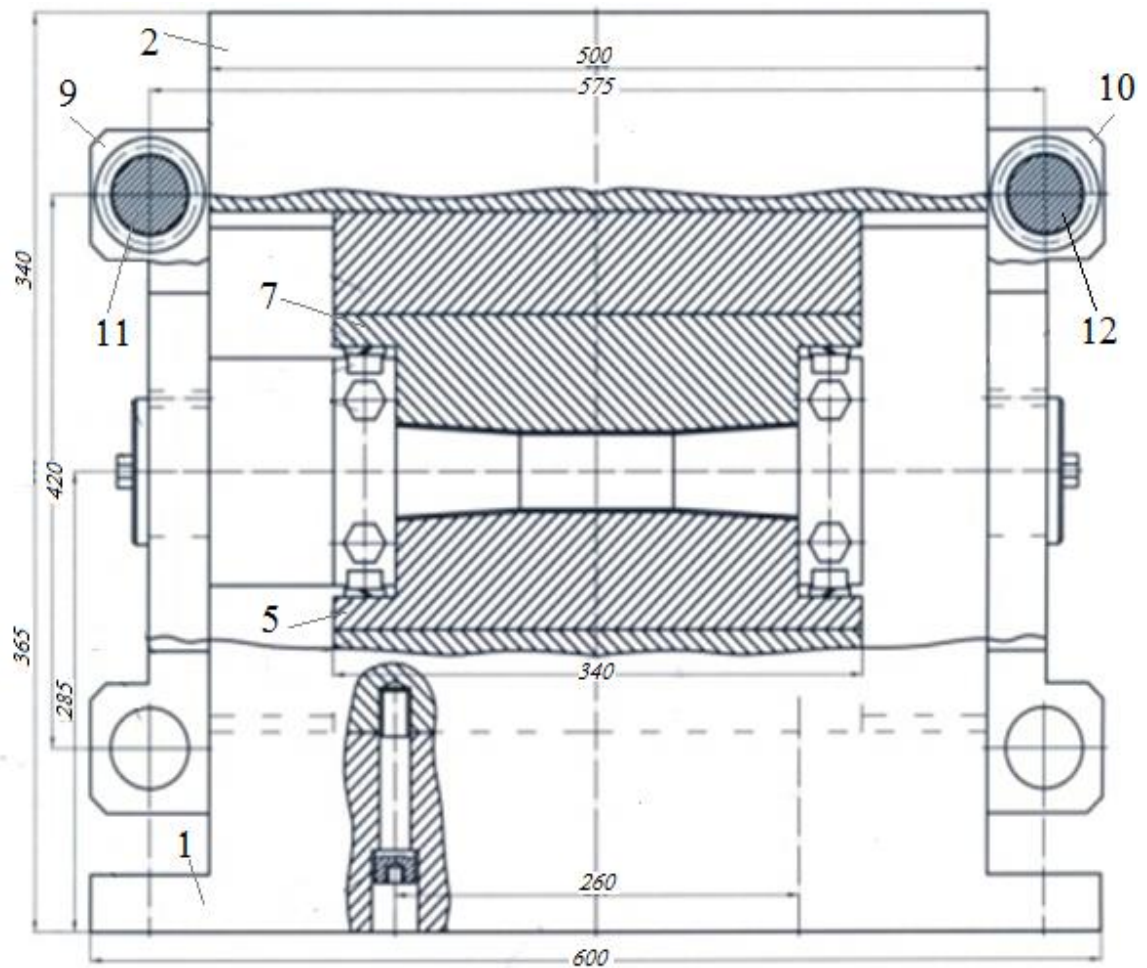
$$B = \frac{4I_2}{\pi \bar{D}^3 h \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 46,19}{3,14 \cdot 0,75^3 \cdot 0,07 \cdot 7800} = 0,2554 \text{ მ} \approx 250 \text{ მმ}.$$

2.4.3. ოთხსაყმელიანი სამჭედლო ბლოკის კონსტრუქციის შემუშავება

რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების დასამუშავებლად შეიქმნა ახალი ტიპის რადიალურ-მომჭიმავი მოწყობილობა ოთხსაყმელელებიანი სამჭედლო ბლოკის სახით, რომლის ამძრავად შესაძლებელია ექსცენტრულ-ბარბაცა ან ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენება, რაც საგრძნობლად გაამარტივებს სპირალური ღარების ან კუთხვილების მიღების პროცესს მილის შიგა ზედაპირზე.

ოთხსაყმელიანი სამჭედლო ბლოკი (ნახ. 69 და 70) შედგება ქვედა (პოზ. 1) და ზედა (პოზ. 2) კორპუსებისაგან, ციციებისაგან (პოზ. 3,4 - იხ. განივი ჭრილის ნახაზი), საყმელელებისაგან (პოზ. 5,6,7,8), მიმმართ-ველებებისაგან (ოთხი მიმმართველისგან ნახაზზე ნაჩვენებია მხოლოდ ერთი - პოზ.4). ოთხსაყმელიანი სამჭედლო ბლოკის ქვედა კორპუსი დგას წნეხის მაგიდაზე, ხოლო ზედა კორპუსი მიერთებული უნდა იყოს წნეხის მოძრავ ტრავერსასთან.

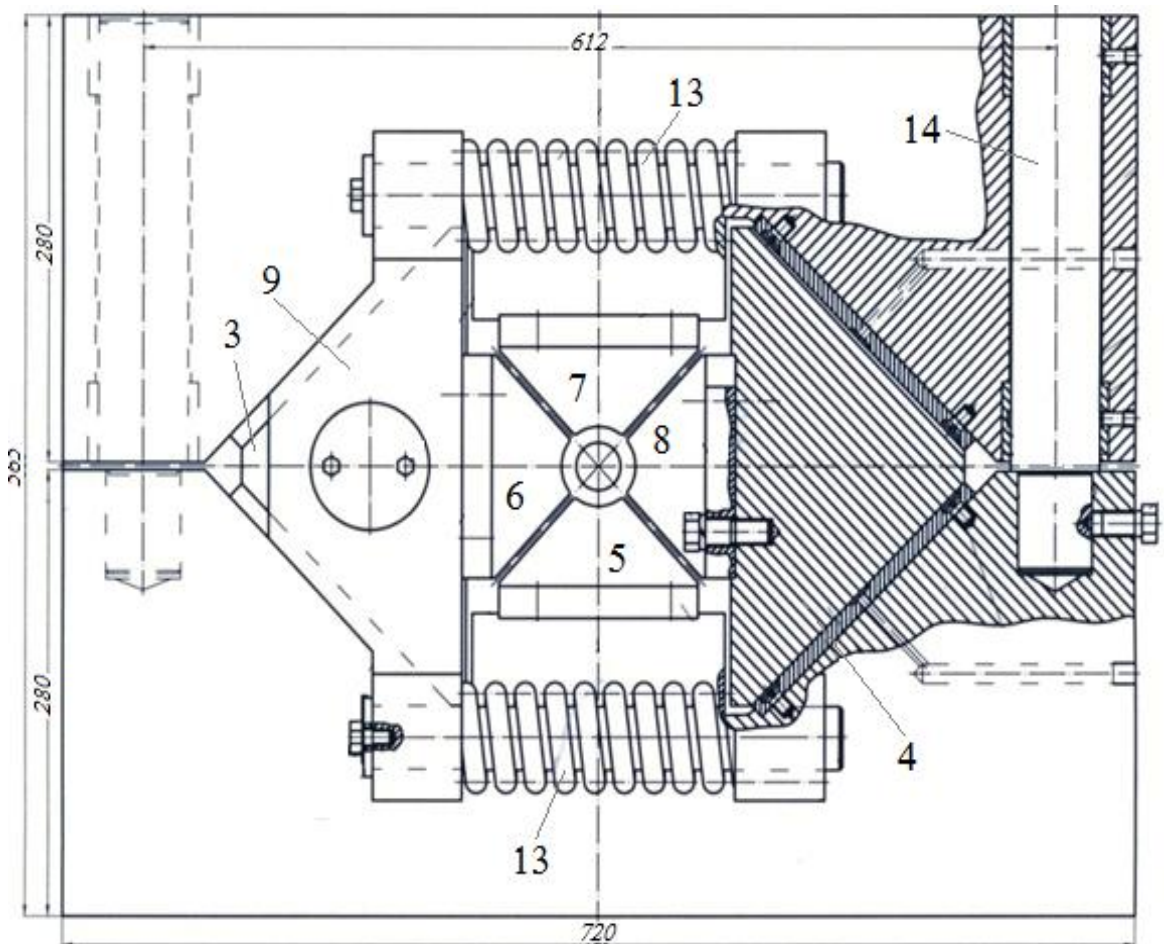
ქვედა საყმელი (პოზ. 5) დამაგრებულია ქვედა კორპუსზე (პოზ. 1) და ჭედვის დროს ის უძრავი რჩება.



ნახ. 69. ოთხსაცემლიანი სამჭედლო ბლოკის საამკრეფო ნახაზი -გრძივი ჭრილი

ქვედა კორპუსი ხისტად უნდა იყოს დამაგრებული პრესის მაგიდაზე, ზედა საცემელი (პოზ. 7) დამაგრებულია ზედა კორპუსზე (პოზ. 2) და ჭედვის დროს ის გადაადგილდება ზედა კორპუსთან ერთად. გვერდითი საცემელიები (პოზ. 6,8) დამაგრებული არიან გვერდითი ცოციებზე და ჭედვის დროს ისინი გადაადგილდებიან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ერთმანეთის მიმართ შემხვედრი მიმართულებით. საცემელები დამაგრებული არიან შესაბამის კორპუსებზე. სოლური ცოციების ტორსებზე დამაგრებულია კრონშტეინები (პოზ. 9, პოზ. 10), რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ოთხი ცილინდრული მიმმართველის მეშვეობით (ნახაზებზე 5.11 და 5.12 აღნიშნულია მიმმართველი - პოზ. 11,12). კრონშტეინებს შორის დაყენებულია ცილინდრული ზამბარები (პოზ. 13). ეს

ზამბარები გასწევენ ერთმანეთისაგან ცოციებს და მათთან ერთად – გვერდით საცემელებს, რითაც იხსნება ბლოკის მუშა არე და შესაძლებელი იქნება ნამზადის შეუფერხებელი მიწოდება დეფორმაციის ზონაში.



ნახ. 70. სამჭედლო ბლოკის საამკრეფო ნახაზი -განივი ჭრილი

ცილინდრული მიმმართველები (ოთხი ცალი) განკუთვნილი ზედა კორპუსის ზუსტი გადაადგილებისათვის ქვედა კორპუსის მიმართ.

ოთხსაცემელიანი სამჭედლო ბლოკის მუშაობის დროს დეფორმაციის ზონაში უნდა მიეწოდებოდეს ზეთი ან შემზეთავი ემულსია ხახუნის შემცირებისათვის და საცემელების გაცივებისათვის. ზეთი შემზეთავი სისტემიდან უნდა მიეწოდებოდეს აგრეთვე დანადგარის ხახუნის კვანძებში, რითაც უზრუნველყოფილი იქნება სამჭედლო ბლოკის ხანგრძლივ და სტაბილერ მუშაობა მოხახუნე დეტალების გადახურების და ცვეთის გარეშე.

2.5. აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის შემუშავება

2.5.1. აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის კონსტრუქცია

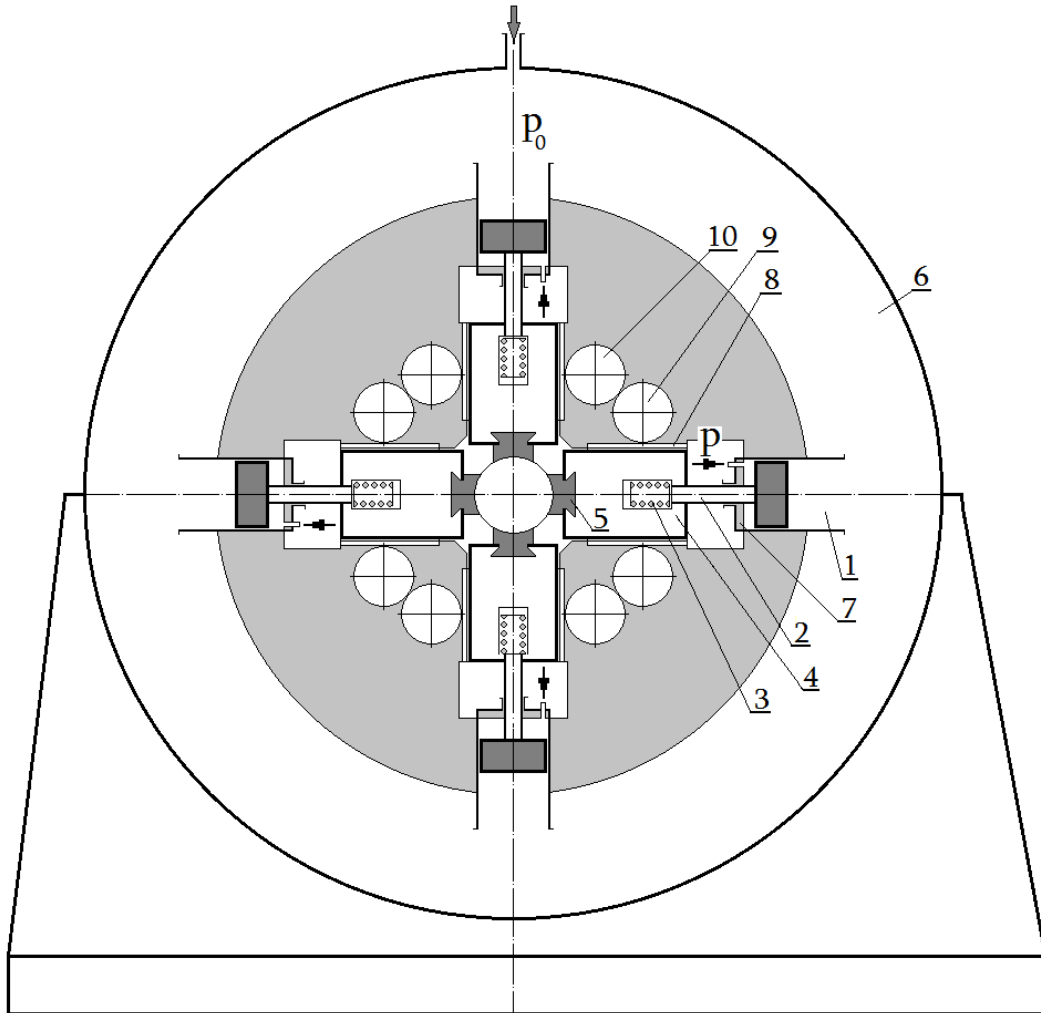
ამჟამად სამჭედლო-სამტამპავ წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი უროები, რომლებიც შეიცავს ვერტიკალურად დაყენებულ მუშა ცილინდრს, რომლის დეჟუმის ჭოკი ამორტიზატორის საშუალებით შეერთებულია დარტყმით მასასთან. ამ უკანასქნელთან მიერთებულია ზედა საცემელი, ხოლო ქვედა საცემელი დამაგრებულია მასიურ შაბოტზე, ამასთან მუშა ცილინდრის ზედა არე ღიაა და შედის ცილინდრული ფორმის მაღალი წნევის აირის რესივერში, ხოლო ქვედა არე დახურულია სახურავით და მილაკის მეშვეობით უერთდება მაღალი წნევის ჰიდრაულიკურ სისტემას [70-73].

ამ დანადგარის უარყოფითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ ღერძსიმეტრიული ნამზადი, რომელიც დევს ქვედა საცემელზე, ჭედვის პროცესში განიცდის ცალმხრივ ძალურ ზემოქმედებას ზედა საცემელისაგან. ამის გამო ნამზადის განივკვეთში წარმოიქმნება დეფორმაციის ისეთი სქემა, როდესაც ძალის მიმართულებით (ანუ ვერტიკალური მიმართულებით) მოქმედებს მკუმშავი ძაბვები, ხოლო ჰორიზონტალური მიმართულებით - გამჭიმავი ძაბვები. სწორედ გამჭიმავი ძაბვები, როდესაც მათი მნიშვნელობა გადააჭარბებს მოცემული ლითონის სიმტკიცის ზღვარს, არის ლითონში მრავალრიცხოვანი ბზარების წარმოშობის და, შესაბამისად, უხარისხო პროდუქციის მიზეზი. იმისათვის, რომ ბზარების წარმოქმნას ადგილი არ ჰქონდეს, ჭედვის პროცესი უნდა ვაწარმოოთ შედარებით მცირე მოჭიმვებით, რათა გამჭიმავმა ძაბვებმა არ მიაღწიოს თავის კრიტიკულ მნიშვნელობას. ცხადია, ეს ზღუდავს ჭედვის პროცესის ინტენსივობას და ამცირებს საჭედი დანადგარის მწარმოებლობას.

ჩვენს მიზანს წარმოადგენს საჭედი მანქანის მწარმოებლობის გაზრდა და პროდუქციის ხარისხის ამაღლება. აღნიშნული მიზანი მიღწეული იქნება იმით, რომ აირ-ჰიდრაულიკურ საჭედ მანქანაში მუშა ცილინდრები განლაგებულია წრეზე რადიალურად, ამასთან მაღალი წნევის ჰაერის

რესივერი საერთოა ყველა მუშა ცილინდრისათვის და რესივერს აქვს რგოლური ფორმა [74].

აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის კონსტრუქციის სქემა წარმოდგენილია ნახაზ-ზე 71.



ნახ. 71. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის სქემა

მანქანა შეიცავს მუშა ცილინდრებს 1, რომელთა დგუმების ჭოკები 2 ამორტიზატორების 3 საშუალებით შეერთებულია დარტყმით მასებთან 4, რომლებზეც დამაგრებულია საცემელები 5. ყოველივე მუშა ცილინდრი 1 ზედა ნაწილით ხისტადაა შეერთებული რგოლური ფორმის მაღალი წნევის აირის რესივერთან 6, რომელიც ამავე დროს ფაქტობრივად წარმოადგენს მანქანის კორპუსს. მაღალი წნევის აირის რესივერი საერთოა ყველა მუშა ცილინ-დრისათვის. მუშა ცილინდრების 1 ქვედა არე დახურულია სახურავებით 7 და მილაკის მეშვეობით უერთდება მაღალი წნევის

ჰიდრავლიკურ სისტემას. მუშა ცილინდრები განლაგებულია წრეზე რადიალურად. დარტყმითი მასების 4 გვერდებზე მიმაგრებულია კბილა ლარტყები 8, რომლებიც მოდებამია მასინქრინიზებელ კბილანებთან 9 და 10. კბილანები 9 და 10 მოთავსებულია მანქანის კორპუსის ცილინდრულ გამონაჩარხებში.

მანქანის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში. ჰიდრავლიკური სისტემიდან მაღალი წნევის (p , ატმ) სითხე მიეწოდება მუშა ცილინდრების 1 ქვედა არეში, რის შედეგად ცილინდრების დგუშები გადალახავენ რესივერში 6 მაღალი წნევის (p_0 , ატმ) ქვეშ მყოფ აირის წინააღმდეგობას და რადიალურად გადაადგილებენ დარტყმით მასებს 4 საცემელებთან 5 ერთად მანქანის პერიფერიისაკენ. ამ ქმედებით მანქანა მოდის მზადყოფნაში სამუშაოს შესასრულებლად. საცემელებს შორის უბანში ნამზადის მიწოდებისთანავე მუშა ცილინდრების 1 ქვედა არე მკვეთრად გაითიშება მაღალი წნევის სისტემიდან და შეუერთდება ატმოსფეროს, რის გამო ამ არეში წნევა მკვეთრად ეცემა და რესივერის 6 ზედა არეში მყოფი მაღალი წნევის აირის ზემოქმედებით ცილინდრების 1 დგუშები დარტყმითი მასებთან 4 და საცემელებთან 5 ერთად სწრაფად გაქანდება პერიფერიიდან მანქანის ცენტრისაკენ და აწარმოებენ დარტყმას ნამზადზე, რითაც სრულდება ლითონის დეფორმაცია.

დარტყმითი მასების 4 გვერდებზე მიმაგრებული კბილა ლარტყები 8, მასინქრინიზებელ კბილანებთან 9 და 10 ერთად, უზრუნველყოფენ დარტყმი-თი მასების შეტანხმებულ მოძრაობას, რაც აუცილებელია იმისათვის, რომ საცემელებმა ერთდროულად შეასრულონ დარტყმითი ზემოქმედება ნამზადზე.

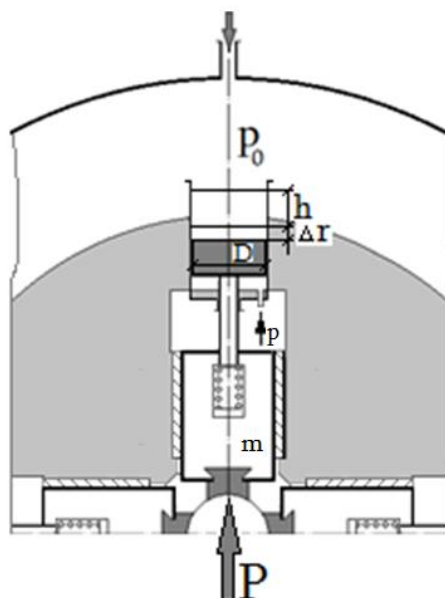
დეფორმაციის მუშაობის ციკლის დამთავრებისთანავე მუშა ცილინდრების ქვედა არეები კვლავ უერთება მაღალი წნევის ჰიდრავლიკური სისტემას და მანქანა მოდის მზადყოფნაში დეფორმაციის შემდეგი ციკლის შესასრულებლად.

წარმოდგენილი მანქანის დადებითი ეფექტი განპირობებულია იმით,

რომ მისი კონსტრუქციული სქემა შეიცავს წრეზე რადიალურად განლაგებულ მუშა ცილინდრებს, რომელთა ზედა არე შეერთებულია მაღალი წნევის აირის რესივერთან, რომელიც საერთოა ყველა მუშა ცილინდრისათვის. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება დაერთვითი ძალით ნამზადზე ზემოქმედება ერთდროულად რამოდენიმე მხრიდან, რის გამო ნამზადის განივკვეთში იქმნება დეფორმაციის ხელსაყრელი სქემა - ყოველმხვრივი კუმშვის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. ეს კი მკვეთრად ამცირებს ნამზადის განივკვეთში გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობის და ბზარების გაჩენის ალბათობას, ე.ი. ხარისხიანი პროდუქციის გამოშვების შესაძლებლობა მატულიბს, ჭედვის პროცესის ინტენსივობა არ იზღუდება (ვინაიდან ნამზადის განივკვეთში გამჭიმავი ძაბვების კრიტიკულ მნიშვნელობამდე მიღწევის კი არა, არამედ საერთოდ მათი გაჩენის ვარაუდი პრაქტიკულად უმნიშვნელოა). ამიტომ შესაძლებელია ნამზადის დეფორმაციის ხარისხის მომატება და ჭედვის პროცესის უფრო ინტენსიურ რეჟიმზე წარმართვა, რის გამო საჭედი დანადგარის მწარმოებლობა იზრდება.

2.5.2. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის ანგარიშის მეთოდიკა

განვსაზღვროთ აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის ეფექტური ენერგია, თუ დარტმითი მასების მნიშვნელობა m მოცემულია (იხ. ნახ. 72).



ნახ. 72. აირ-ჰიდრავლიკური მანქანის საჭედი ბლოკის სქემა

პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობის ერთი ციკლი უდრის [75]:

$$A_{\text{პლასტ}} = \frac{1}{2} P \cdot \Delta r,$$

სადაც P არის ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისათვის საჭირო ძალა;

Δr – ლითონის გადაადგილება პლასტიკური დეფორმაციის დროს,

რომელიც ტოლია: $\Delta r = \frac{d_0 - d_1}{2}$, აქ d_0, d_1 – ნამზადის დიამეტრები, შესა-

ბამისად, საწყისი და საბოლოო დიამეტრი.

მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონიდან გამომდინარე, პლასტიკური დეფორმაციის ეს მუშაობა, მარგი ქმედების კოეფიციენტის გატოვალისწინებით, უნდა გაუტოლდეს მანქანის მუშა ცილინდრში აირის გაფართოების შედეგად შესრულებულ მუშაობას. აირ-ჰიდრავლიკურ საჭედ უროეში, დარტყმითი მასების გაქანების პროცესის ხანმოკლეობის გამო, აირის გაფართოება ადიაბატურად მიმდინარეობს.

როცა აირის გაფართოების ხარისხი (0,3-0,4)-ს ფარგლებშია, ტემპერატურის ცვლილება მცირეა ($\Delta T \approx 20 \div 30$ K) და ადიაბატის მაჩვენებელი (სითბოტევადობების შეფარდება) $n = \frac{c_p}{c_v} \approx 1,6 = Const$. ასეთ პირობებში მანქანის მუშა ცილინდრში აირის გაფართოების შედეგად შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A = \frac{p_0 V_0}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{n-1} \right] = \frac{T_e}{\eta_m},$$

სადაც p_0 არის აირის საწყისი წნევა რესივერში;

V_0, V – აირის მოცულობა გაფართოებამდე და მის შემდეგ;

T_e – ეფექტური კინეტიკური ენერგია;

η_m – მანქანის მ.ქ.კ.

აქედან ვღებულობთ ეფექტური კინეტიკური ენერგიის ფორმულას:

$$T_e = \eta_m \frac{p_0 V_0}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{n-1} \right].$$

თუ აირის გაფართოების შედეგად შესრულებულ მუშაობას გაუტოლებთ პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობას, მივიღებთ ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებას [75]:

$$\frac{p_0 V_0}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{n-1} \right] = \frac{1}{2} P \cdot \Delta r.$$

ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებიდან, გარკვეული მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ, ვიღებთ აირის საწყისი წნევის მნიშვნელობას რესივერ-ში:

$$p_0 = \frac{2V_0}{(n-1)P \cdot \Delta r} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^{n-1} \right].$$

აირის მოცულობა გაფართოების შემდეგ უდრის:

$$V = V_0 + 4 \cdot \frac{\pi D^2}{4} (h + \Delta r) = V_0 + \pi D^2 (h + \Delta r),$$

სადაც D არის მუშა ცილინდრის დიამეტრი;

h – ცილინდრის დეგუმის სვლა დარტყმითი მასების გაქანებისას;

Δr – რადიალური მოჭიმვა ანუ ცილინდრის დეგუმის სვლა ნამზადის პლასტიკური დეფორმაციის დროს აირის წნევის მნიშვნელობა გაფართოების შემდეგ რესივერში მიიღება ადიაბატური პროცესის ანტოლებიდან:

$$pV^n = Const \text{ ანუ } p_0 V_0^n = pV^n.$$

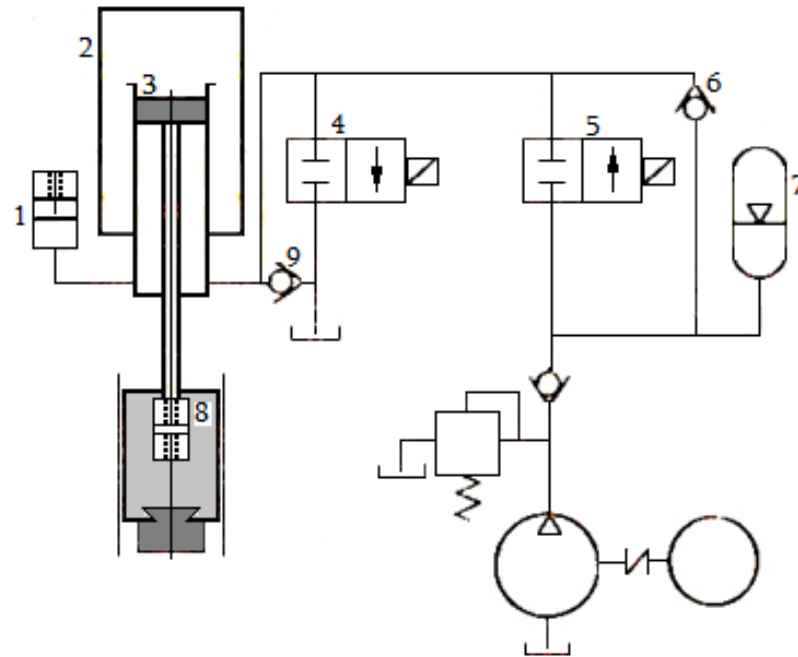
გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ ვიღებთ წნევას რესივერში აირის გაფართოების შემდეგ:

$$p = p_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n = p_0 \left[\frac{V_0}{V_0 + \pi D^2 (h + \Delta r)} \right]^n.$$

აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის დარტყმითი მასების გაქანება ქვედა მიმართულებით ხდება რესივერის შეკუმშული ჰაერით და სიმძიმის ძალით. დარტყმითი მასების უკუსვლისათვის გამოიყენება მაღალი წნევის სითხე, რომელიც მიეწოდება ჰიდროსისტემისაგან, რომლის სქემა მოცემულია ნახ. 73-ზე.

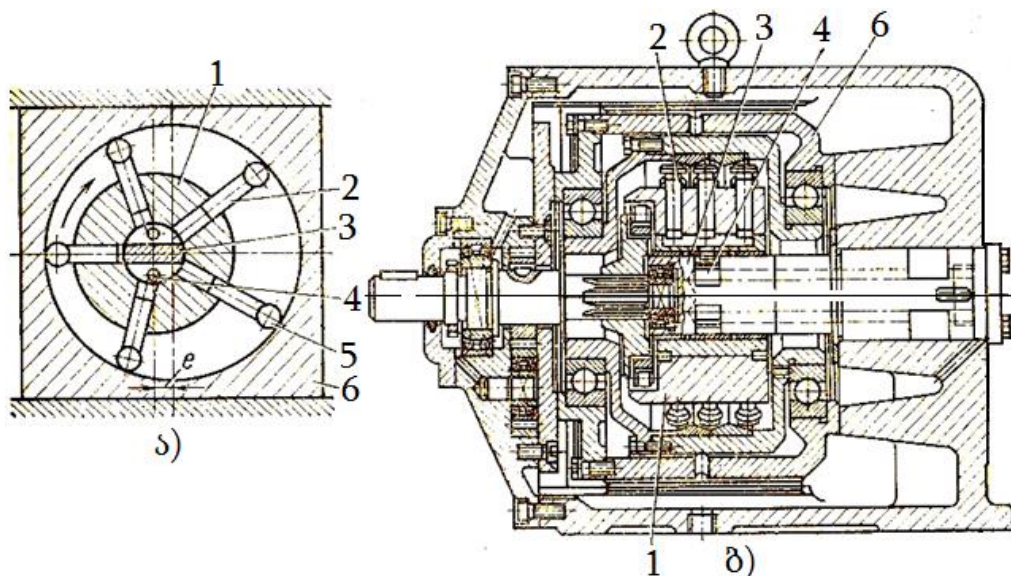
როდესაც დარტყმითი მასები 8 გადაადგილდება ქვედა მიმართულებით, დეგუმის 3 ქვევით მყოფი სითხე ცილინდრიდან 2 ჩამოსახმელი სარქვლის 4 გავლით განიდევენება გადასაშვებ ავზში. ნამზადის დეფორმირების დროს ჩამოსახმელი სარქველი 4 იკეტება. დარტყმითი მასების 8 უკუსვლელის მომენტში ხდება დეგუმის 3 დაკავება სითხით, რომელიც დეგუმის ქვეშ კომპენსატორიდან 1 შედის. შემდგომ იხსნება

დამწნევი სარქველი 5 და ტუმბოს და აკუმულატორის 7 მეშვეობით დგუმის ქვეშ მაღალი წნევის სითხის მიწოდებით დარტყმითი მასები 8 უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. გარკვეულ მომენტში დამწნევი სარქველი 5 იკეტება, ხოლო დარტყმითი მასები 8 ინერციით განაგრძობენ ასვლას და ამ დროს სითხე გადასაშვები ავზიდან შედის ცილინდრში უკუსარქველის 9 გავლით.



ნახ. 73. აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის ჰიდროსისტემის სქემა

აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის ჰიდროსისტემაში გამოყენებულია რადიალურ-დგუმიანი ტუმბო (ნახ. 74).



ნახ. 74. რადიალურ-დგუმიანი ტუმბო

ტუმბოს როტორი 1 ბრუნავს უძრავი გამანაწილებელი ღერძის 3 ირგვლივ. როტორში რადიალურად განლაგებული დგუმები 2 ასრულებენ უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობას. დგუმები 2 ეყრდნობა გორგოლაჭებს 5, რომლებიც მიგორავენ მოძრავ ბლოკში 6 ჩალაგებულ რგოლებზე. გამანაწილებელ ღერძში 3 გაკეთებულია არხები ზეთის შეწოვისათვის (ზედა ნაწილში) და დაჭირხნისათვის (ქვედა ნაწილში). მოძრავი ბლოკის 6 გადაადგილებით ხდება ზეთის მიწოდების რეგულირება.

რადიალურ-დგუმიანი ტუმბოები განავითარებენ წნევას 200 მპა-მდე, როტორის ბრუნთა რიცხვი არ აღემატება 1000 ბრუნ/წთ.

სითხის მოცულობა, რომელიც განიდევენება როტორის ერთ ბრუნზე უდრის: $q = \frac{\pi d^2}{4} hz$, სადაც d არის დგუმის დიამეტრი; h – დგუმის სვლა; z – დგუმების რაოდენობა.

ნახ. 4-დან ჩანს, რომ დგუმის სვლა $h = 2e$, სადაც e არის ტუმბოს ექსცენტრისიტეტი. ასეთ შემთხვევაში ტუმბოს თეორიული მიწოდება უდრის:

$$Q = \frac{1}{60} qn = \frac{1}{60} \frac{\pi d^2}{4} hzn = \frac{\pi d^2}{240} \cdot 2ezn = \frac{\pi}{120} d^2 zn \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ტუმბოს ნამდვილი ანუ ეფექტური მიწოდება იქნება: $Q_e = \eta_0 Q$, სადაც η_0 არის ტუმბოს მოცულობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტი; $\eta_0 = 0,8 \div 0,95$.

სიმძლავრე ტუმბოს როტორზე უდრის:

$$N = \frac{1000pQ_e}{\eta_0 \eta_m} \text{ კვტ},$$

სადაც p არის ტუმბოს მიერ განვითარებული წნევა;

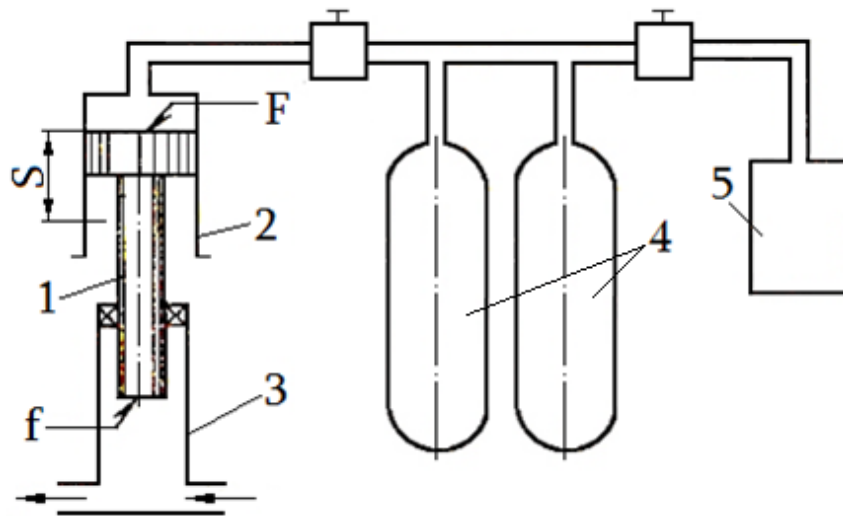
η_m ტუმბოს მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც (0,94-0,96) ფარგლებშია.

აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანის ჰიდროსისტემაში მექანიკური ენერჯის შესაგროვებლად ვიყენებთ დგუმიან ჰაერ-ჰიდრავლიკური აკუმულატორს (ნახ. 75).

აკუმულატორი შეიცავს დგუმს 1, ჰაერის 2 და ჰიდრავლიკურ 3 ცილინდრებს, ჰაერის ბალონებს 4 და კომპრესორს 5.

განვსაზღვროთ ჰაერის საერთო მოცულობა აკუმულატორში V_B , რომე-

ლიც უდრის აკუმულატორის ჰაერის ბალონების, ჰაერგამტარებისა და ჰაერის ცილინდრის (როცა დგუში იმყოფება უკიდურეს ზედა მდგომარეობაში) მოცულობების ჯამს. აკუმულატორის მუშა მოცულობა V_p ანუ სითხის მოცულობა, რომელიც განიდევენება აკუმულატორის ჰიდრაულიკური ცილინდრის დგუშის ზედა უკიდურეს მდგომარეობიდან ქვედა უკიდურეს მდგომარეობაში გადასვლის შემდეგად ცნობილია.



ნახ. 75. დგუშიანი ჰაერ-ჰიდრაულიკური აკუმულატორი

აკუმულატორის მოცულობა შეირჩევა იმ პირობიდან, რომ ჰაერის წნევის დასაშვები სხვაობა $m = \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}}$ არ უნდა აღემატებოდეს 10 – 20%-ს.

ჰაერის გაფართობის გამო მისი მოცულობა აკუმულატორში მოიმატებს $SF = \frac{V_p F}{f} = V_p K$ სიდიდეზე, სადაც $\frac{F}{f} = K$ – მულტიპლიკაციის თოკოეფიციენტი, რომელიც ფართო ფარგლებში იცვლება და უდრის 1 – 100.

ჰაერის მდგომარეობა მისი გაფართობის პროცესში აღიწერება შემდეგი განტოლებით:

$$P_{\max} V_B^n = P_{\min} (V_B + V_p K)^n,$$

სადაც P_{\max}, P_{\min} – ჰაერის წნევა დგუშის ზემოთ ზედა და ქვედა უკიდურეს მდგომარეობებში:

n – პოლიტროპის მაჩვენებელი; 20 მპა ჰაერის წნევაზე უდრის 1,29- 1,30.

ჰაერის წნევის სხვაობის გამოსახულებიდან $m = \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}}$, ვი-

ღებთ, რომ $P_{\max} = \frac{1}{1-m} P_{\min}$. ამის გათვლისწინებით ჰაერის

გაფართოების

განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$P_{\min} \left(\frac{1}{1-m} \right) \cdot V_B^n = P_{\min} (V_B + V_p K)^n,$$

საიდანაც ჰაერის საერთო მოცულობა აკუმულატორში იქნება:

$$V_B = \frac{V_p K}{1/\sqrt[n]{1-m} - 1} = \frac{V_p K \sqrt[n]{1-m}}{1 - \sqrt[n]{1-m}}.$$

დღეშიანი ჰაერ-ჰიდრაულიკური აკუმულატორის გამოყენება უზრუნ-
ველყოფს მაღალი წნევის წარმოქმნას აირ-ჰიდრაულიკური საჭედი მანქანის
ჰიდროსისტემაში, ამასთან, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია, ჰაერის მუშა
მოცულობების პირობებში.

დასკვნა

1. დადგენილია, რომ ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების დამუშავებისათვის მიზანშეწონილია რადიალური ჭედვის მეთოდის გამოყენება, რაც უზრუნველყოფს პროდუქციის ხარისხის ამაღლებას და ლითონის მნიშვნელოვან ეკონომიას.
2. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ რადიალური მოჭიმვის პროსესში დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების დროს ინსტრუმენტზე მოქმედი ძალები ჯერ სწრაფად იზრდება, შემდეგ უფრო ნაკლები სიჩქარით აღწევს დეფორმაციის დაყმარებული პროცესის ძალას, ამასთან მოჭიმვის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ნამზადის დიამეტრის და მიჭიმვის პროპორციულია.
3. დადგენილია, რომ დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების პროცესში σ_1 და σ_3 ძაბვების აბსოლუტური მნიშვნელობები მცირდება, ხოლო σ_2 ძაბვის - იზრდება, ამასთან რადიალური და ღერძული ძაბვების მნიშვნელობები თითქმის ერთმანეთის ტოლია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ლითონი ამ უბანზე იმყოფება სუფთა ძვრის დამახულ მდგომარეობაში, სადაც პლასტიკური დეფორმაცია ინტენსიურად მიმდინარეობს.
4. დადგენილია, რომ ნიმუშების რადიალური მოჭიმვუს პროცესში ადგილი აქვს მიკროსტრუქტურის ცვლილებას - მარცვლების ზომები და ფორმა შეცვლილია, მარცვლის მთლიანობა რიგ შემთხვევაში დარღვეულია, ამასთან ეს ცვლილება უფრო მკვეთრად არის გამოკვეთილი უფრო დიდი დეფორმაციის დროს. რაც შეეხება მექანიკური თვისებების ცვლას - დურალუმინის ნიმუშების მიკროსისალე გაზრდილია, ადგილი აქვს ასევე ალუმინის ნიმუშების მიკროსისალის შედარებით მცირე ზრდას.
5. რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების დასამუშავებლად შექმნილია ახალი ტიპის რადიალურ-მომჭიმავი მოწყობილობა ოთხსაცემელებიანი სამჭედლო ბლოკის სახით, რომლის ამძრავად შესაძლებელია ექსცენტრულ-ბარბაცა ან ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენება, რაც საგრძნობლად გაამარტივებს

სპირალური ღარების ან კუთხვილების მიღების პროცესს მილის შიგა ზედაპირზე.

6. შემოთავაზებულია რადიალური ჭედვის ახალი აირ-ჰიდრავლიკური მანქანა (პატენტი P 7153B, 2020), რომელზეც შესაძლებელია ნამზადის დეფორმაციის ხარისხის მომატება და ჭედვის პროცესის უფრო ინტენსიურ რეჟიმზე წარმართვა, რის გამო საჭედი დანადგარის მწარმოებლობა იზრდება.

7. შემუშავებულია აირ-ჰიდრავლიკური რადიალურ-საჭედი მანქანის ანგარიშის მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ მანქანის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრები, როგორცაა ჰაერის საწყისი წნევა რესივერში, წნევა რესივერში ჰაერის გაფართოების შემდეგ, ჰაერის საერთო მოცულობა აკუმულატორში, ჰიდრავლიკური სისტემის ტუმბოს მიწოდება, სიმძლავრე ტუმბოს როტორზე.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Губанов В.С., Ю.Н. Селезнев. Протяжки для обработки шлицевых отверстий с эвольвентным профилем. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. - 328 с.
2. Туктанов А.Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия. М.:Машиностроение, 2007. – 374 с.
3. Потапов И.Н., Троицкий В.П., Шарафутдинов Р.Г., Буленков Ю.Н., Косматенко И.Е. Новый технологический процесс производства полых поковок. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. - С. 13-15.
4. Скундин Г. И., Никитин В. Н. Шлицевые соединения. - М.: Машиностроение, 1981.—128 с.
5. Драчук А.В.Протягивание винтовых шлицев. М.: Машиностроение,1972.- 87 с.
6. Кацев П.Г. Протягивание глубоких отверстий. М.: Оборонгиз, 1957. – 232 с.
7. Арефьев М.Г., Карпов Л.И. Производство стволов стрелкового оружия. М.: Оборонгиз. 1945.- 227 с.
8. Радюченко Ю.С. Ротационное обжатие. М., Машиностр.,1972. - 148 с.
9. Радюченко Ю.С. Ротационная ковка - обработка деталей на ротационно и радиально-обжимных машинах.М., Машгиз, 1962. - 187 с.
10. Тапун А.С. Производство артиллерийских систем. М.:Оборонгиз. 1960.- 337 с.
11. Савинов Е.А..Технологические и конструктивные особенности радиально-обжимных (ковочных) машин и перспективы их развития.КШП, №10,1981. С.61-64.
12. Ростовщиков В.А. Технология и оборудование для формообразования полых длинномерных поковок горячим радиальным обжатием. КШП, №6,1987. С.10-13.
13. Любвин В.И. Обработка деталей ротационным обжатием. М.: Машгиз, 1959. – 195 с.
14. Володин А. М., Лазоркин В. А., Сорокин В. А., Петров Н. П., Богдановский А. С. Новые технологии и оборудование для радиальной ковки слитков. КШП и ОМД, № 10, 2006. – С. 22– 27.
15. Лыткин И.Н., Мишулин А.А., Шляхин Н.П. Агахи К.Г. Формоизменение заготовки и выбор пресса при протяжке в четырехбойковом инструменте. КШП,1988,№3,с.5-8.
16. Микаутадзе М.М. Основы комплексного решения проблемы усовершен-

- ствования технологического процесса и машин для производства бесшовных труб. Докт. диссерт. , Тбилиси, 1987. -227 с.
17. Чхаидзе Т.А. Исследование и разработка процессов и оборудования для формообразования изделий сложного профиля радиальной ковкой. Канд. диссерт. , Тбилиси, 1976. - 128 с.
 18. Мебония С.А. Совершенствование технологии и оборудования для производства бесшовных труб. Докт.диссерт. ,Тбилиси, 2001. - 297 с.
 19. Е Ушверидзе. Совершенствование технологии и оборудования для заковки трубных заготовок для волочения. Канд. диссерт. ,Тбилиси, 2005. 110 с
 20. Адамия Р.Ш., Мебония С.А., Чхаидзе З.А., Сулухия. Т.М. Оценка сил ударного взаимодействия при пластическом формообразовании шлицевых изделий. Сообщения АН ГССР, т. 125, №3,1987. - С. 601-603.
 - 21.Р.Ш.Адамия, Е.Ш. Ушверидзе, С.А.Мебония, М.М. Микаутадзе. Определение сил ударного взаимодействия при радиальной заковке трубных заготовок. Научн.тр. ГПИ,1988, Вып.10(339). С.34-39.
 22. Е.Ш. Ушверидзе, С.А.Мебония, М.М. Микаутадзе, В.И. Клдиашвили Экспериментальное исследование ударных нагрузок в заковочной машине. Научн.тр. ГПИ, 1988, вып10(339). С.40-45.
 - 23.С.А.Мебония, М.М.Микаутадзе, Е.Ш. Ушверидзе. Новые конструкции трубозаковочных машин. Деп. В ГрузНИИНТИ, 1990, (№622-Г90).
 - 24.С.А. Мебония, М.М. Микаутадзе, А.Д. Нозадзе. Машины для заковки трубных заготовок перед волочением. Металлург №12, Москва,1999.С.47.
 - 25.С.А.Мебония, М.М.Микаутадзе, А.Д.Нозадзе. Совершенствование трубо-волочильного производства Руставского металлургического комбината. Сталь №8, Москва, 2000. С.50-51.
 26. მ.მიქაუტაძე, ა.ნოზაძე, ს.მებონია, ე.უშვერიძე. რუსთავის მეტალურგიული კომბინატის მილამდიდავი წარმოების მოდერნიზაცია. სტუ-ს შრომები, №7(423), 1998. გვ.57-67.
 27. მ. ედილაშვილი, ს. მებონია, ჯ. ჩაგელიშვილი, თ. ედილაშვილი. საავტომობილო ნახევარღერძების რადიალური ჭედვის ახალი ტექნოლოგიის და მანქანის დამუშავება. სსსი-ს შრომები №1, 2001 წ. გვ.197-203.
 28. ს.მებონია, ვ.კლდიაშვილი, ჯ.ჩაგელიშვილი, ე.ბროლაძე. ზომავრძელ ნაკეთობათა რადიალური ჭედვის ელექტროამპრავიანი მანქანა. სსსი-ს შრომები №1, 2001 წ. გვ.204-208.
 29. С.А.Мебония, М.М. Микаутадзе, А.Н. Гагნიძე, З.М. Сиамашвили. Ковочно-

волоочильный стан для обработки труднодеформируемых сталей и сплавов. Сб.тр.7-й международной н-т. конф. (к 100-летию Ф.Н.Тавадзе)-«Проблемы материаловедения и сварки». Тбилиси,2002. С.51-54.

30. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.მალლაკელიძე, ვ.გონგლიაშვილი. ზომაგრძელ ნაკეთობათა რადიალური ჭედვის დანადგარის რაციონალური სქემის და კონსტრუქციის შემუშავება. საქ. მეცნ. აკად. სამეცნიერო ცენტრის შრომები, №6. ქუთაისი, 2003. გვ.27-32.
31. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.გოგავა, ა.მალლაკელიძე. რადიალურ-მომჭი-მავი მანქანების ამძრავის პარამეტრების ანგარიშის მეთოდოლოგია. საქ.მეცნ.აკად.სამეცნ. ცენტრის შრომები, №6. ქუთაისი, 2003. გვ.33-36.
32. ს.მებონია, მ.მიქაუტაძე, ა.გაგნიძე. ღერძსიმეტრიული დეტალების შიგა ზედაპირის რთული კონფიგურაციის ფორმირება რადიალური ჭედვის მეთოდით. სტუ-ს შრომები, საიუბილეო გამოცემა (გ.ქაშაკაშვილის 70-წლისადმი) №2(448), 2003. გვ.95-99.
33. С.А. Мебония, К.Е.Ушверидзе, М.М. Микаутадзе. Новая конструкция машины для заковки трубных заготовок перед волочением. Проблемы металлургии,сварки и материаловедения №4, Тбилиси, 2004. С.42-44.
34. ს.მებონია, ა.მებონია, ჯ.ჩაგელიშვილი, მ.ხუბუტია. რადიალური-მომჭი-მავი მანქანების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა. საქართველოს საავტომობილოსაგზაო ინსტიტუტის შრომები №2 (საერთაშორისო კონფერენცია მურმან ედილაშვილის 70-წლისთავისადმი), თბილისი 2005. გვ.312-316.
35. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.მალლაკელიძე, ა.მებონია. რადიალურ-მომჭი-მავი მანქანების ამძრავის დინამიკური დატვირთვების კვლევა. საქ. მეცნ. აკად. ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები XII, 2005. გვ. 17-22.
36. С.А.Мебония, С.Д.Катамадзе, М.М.Микаутадзе. Машины для радиального обжатия длинномерных изделий. Теория и практика металлургии, №1-2, Днепропетровск, 2009. С. 143-145
37. მ.მიქაუტაძე, ს.მებონია, ნ.კიკნაძე. რთული კონფიგურაციის ნამზადების რადიალური ჭედვის მოწყობილობის სრულყოფა. სტუ-ს შრომები, №4(474), 2009. გვ.44-47
38. Р.Ш.Адамия, С.А. Мебония, Д.Т. Деметрадзе, П.К. Мшвиладзе. Изготовление профильных заготовок турбинных лопаток методом радиального обжатия. Тез.докл. международн. н-т конф. Турбонаддув автомобильных и тракторных двигателей. Россия, Протвино, 2009. С.
39. ს.მებონია, თ.ნატრიაშვილი, დ.დემეტრაძე, ა.გაგნიძე. როტორების ფრთე-

ბის პროფილირებული ნამზადების მიღება რადიალური მოჭიმვის მეთოდით ენერგია № 3(55), 2010 გვ.78-82

40. ს.მებონია, თ.ნატრიაშვილი, მ.მიქაუტაძე, დ.დემეტრაძე. რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციები და მათი გამოყენების სფერო. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, № 4-6, 2011. გვ.89-96.
41. С.А. Мебония, Т.М. Натриашвили, М.М. Микаутадзе. Разработка устройств для радиальнойковки длинномерных осесимметричных изделий со сложной конфигурацией внутренней поверхности Сб.Обработка металлов давлением, №2 (27), Краматорск-Украина, 2011. стр.177-181.
42. С.А.Мебония, Д.Н.Нижарадзе, П.С.Мшвиладзе. Радиально-обжимная машина для получения длинномерных осесимметричных изделий Сб.тр.Х международн. н-т конф. "Повышение качества, надежности и долговечности тех.систем и техн. процессов". 20-27.11.2012, Эйлат-Израиль. С.89-91.
43. T.Natriashvili, S. Mebonia, M.Baakashvili-Antelava. Method of Determination of Strength of Blow at Radial Forging of Axis Symmetric Billets. Problems of Mechanics, №1(58).Tbilisi,2014 P.12-16.
44. В.А.Тюрин, В.А.Лазоркин, И.А.Поспелов, Х.П.Флаховский. Ковка на радиально-обжимных машинах. М.,Машиностр., 1990. – 256 с.
45. А.И. Целиков. Основы теории прокатки. М.,Металлургия., 1965. – 247 с.
46. Королев А.А. Конструкция и расчет механизмов и машин прокатных станов. М.,Металлургия, 1984. - 610 с.
47. К.Перри, Г.Лисснер. Основы тензометрирования. ИЛ, 1957. - 164 с.
48. А.М.Туричин, П.В.Новицкий. Проволочные преобразователи и их техническое применение. М., Госэнергоиздат, 1957. - 86 с.
49. დ. ნოზაძე, ჯ. ლომსაძე. გლინვის წარმოების საფუძვლები. ცოდნა, თბილისი, 1961. - 431 გვ.
50. ს. მებონია, დ. გვენცაძე, ა. შერმაზანაშვილი. რადიალური მოჭიმვის პროცესში დეფორმაციების და ძაბვების კვლევა. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, № 4(727), თბილისი, 2018. - გვ. 89-99.
51. Шермазанашвили А.Г., Мебония С.А. Исследование силовых факторов при радиальном обжатии цилиндрических образцов. Материалы I-й научно-практической конф. "Приоритетные направления развития науки и технологии". Киев, 27-29 сентября 2020. - С. 274 – 279.
52. Шермазанашвили А.Г., Мебония С.А. Исследование напряжений при ради-

- альном обжатии цилиндрических образцов. Материалы I I I-й научно-практической конф. "Мир науки и инноваций". Лондон, 14-16 октября 2020. - С. 607 – 615.
53. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищевая промышленность, 1979. - 198 с.
 54. ა. შერმაზანაშვილი, ს.მეზონია, დ. შარაშენიძე, დ. გვენცაძე. რადიალური მოჭიმვის პროცესში ძალების კვლევა ექსპერიმენტის მათემატიკური მეთოდის გამოყენებით. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1(735), თბილისი, 2021. გვ.51–59.
 55. Чиченев Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И. Методы исследования процессов обработки металлов давлением. М., Металлургия, 1977. - 310 с.
 56. Чекмарев А.П., Ольдзиевский С.А. Методы исследования процессов прокатки. М., Металлургия, 1969. - 294с.
 57. Смирнов-Аляев Г.А., Розенберг В.М. Теория пластических деформаций металлов. М.:Машгиз, 1956. - 356 с.
 58. Смирнов-Аляев Г. А., Розенберг В. М. Технологические задачи теории пластичности. Ч.1, Лениздат, 1951. - 256 с.
 59. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов.Л., Машиностроение,1968. - 327 с.
 60. Ломсадзе Д.М. Напряженно-деформированное состояние при поперечной осадке, ковке и прокатке цилиндрических заготовок. Изв. ВУЗов ЧМ, №5. М.,1972. - С. 48-54.
 61. ჯ. ლომსაძე. განივი გლინვა და ჭედვა. უნივერსიტეტის გამომცემლობა. თბ., 1995. - 138 გვ.
 62. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М., Юрайт, 2017.- 402 с.
 63. Гуляев А.А. Металловедение. М.,Металлургия, 1977. - 647 с.
 64. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М., Металлургия, 1976. - 405 с.
 65. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. М.,Металлургия, 1983. - 350 с.
 66. ა. შერმაზანაშვილი, ს.მეზონია. დერძიმეტრიული ნაკეთობების რთული კონფიგურაციის ფორმირების პროცესების ანალიზი. სტუ-ს შრომები №1(515), თბილისი 2020. – 115-123 გვ.

67. T. Natriashvili, S. Mebonia, R. Kavtaradze, A. Shermazanashvili. Analysis of Kinematic schemes of Radial-forging Machines and the Choice of Rational Scheme. Problems of Mechanics, № 3(76).Tbilisi,2019. - Pp. 31-38.
68. T. Natriashvili, S. Mebonia, G. Sakhvadze, A. Shermazanashvili. Dynamic Analysis of Eccentric-rod Radial Forging Machine. Problems of Mechanics, № 2(79).Tbilisi,2020. - Pp. 43-49.
69. T. Natriashvili, S. Mebonia, A. Shermazanashvili. Determination of Rational Parameters of the Dynamic System of Radial Forging Machine. Problems of Mechanics, № 2(75).Tbilisi,2019. - Pp. 53-59.
70. Кузнечно-штамповочное оборудование. Под ред инж. А.Н. Банкетова и д.т.н, проф. Е.Н. Ланского. М.,Машиностроение, 1982. - С. 412-414.
71. Бочаров Ю.А., Хорычев А.А. Гидравлические молоты и пресс-молоты. М., НИИмаш, 1974. – 82 с.
72. Матвеев И.Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия. М., Машиностроение, 1974. – 184 с.
73. Залесский В.И. Оборудование кузнечно-прессовых цехов. М., Высшая школа, 1973. – 630 с.
74. ს. მებონია, თ. ნატრიაშვილი, ა. შერმაზანაშვილი. აირ-ჰიდრავლიკური საჭედი მანქანა. პატენტი P 7153B, 2020.
75. Живов Л.И., Овчинников А.Г. Кузнечно-штамповочное оборудование. Киев, Вища школа. 1972. - 279 с.
76. ა. შერმაზანაშვილი. რადიალურ-საჭედი მანქანების ანალიზი და ახალი კონსტრუქციის შემუშავება.სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი: ენერჯია №2 (98) , თბოლისი, 2021