

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მამუკა ბაკაშვილი-ანთელავა

**ღერძსიმეტრიული ნამზადების  
რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და  
მოწყობილობის სრულყოფა**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0412

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივნისი, 2017 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მამუკა ბაკაშვილი-ანთელავას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „დერმსიმეტრიული ნამზადების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობის სრულყოფა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი ..... ივლისი, 2017

სამეცნიერო ხელმძღვანელი - ასოცირებული პროფესორი **სლავა მეზონია**

-----

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
2017 წელი

ავტორი: მამუკა ბაკაშვილი-ანთელავა

დასახელება: **დერმსიმეტრიული ნაშადების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობის სრულყოფა**

ფაკულტეტი : ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: „ \_\_\_\_\_ „ \_\_\_\_\_ 2017 წ.

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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

სადისერტაციო ნაშრომი - „ღერძსიმეტრიული ნამზადების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობის სრულყოფა“- წარმოდგენილია კომპიუტერზე აკრეფილი (175) გვერდით და მოიცავს შესავალს, ლიტერატურის მომხილვას, შედეგებსა და მათ განსჯას, დასკვნას და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალს.

შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, მისი შესწავლის მდგომარეობა, კვლევის მიზნები და ამოცანები, კვლევის მეთოდოლოგიური საფუძვლები, სადისერტაციო შრომაში მიღებული მეცნიერული სიახლეები, ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

რადიალურ-საჭედ მანქანებზე ლითონების პლასტიკური დეფორმირების მეთოდის ფართო გამოყენება მნიშვნელოვანი პროგრესია ლითონების წნევით დამუშავების დარგში. რადიალური ჭედვის მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის ნაკეთობათა მაღალ სიზუსტეს, გამოირჩევა დიდი მწარმოებლობით და ლითონის საგრძნობი ეკონომიით. რადიალური ჭედვის მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით ხელსაყრელია მანქანათმშენებლობაში, კერძოდ, ავტოტრაქტორთ-მშენებლობაში, სანავთობე დანადგარების მშენებლობაში და მრავალ სხვა დარგში რთული ფორმის ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების დამუშავებისათვის. ასეთ დეტალებს მიეკუთვნება საფეხურებიანი ლილვები და ღერძები, კონუსური და შლიცებიანი (ღარებიანი) დეტალები.

მიუხედავად მნიშვნელოვანი მიღწევებისა ამ სფეროში, როგორც ამას გვიჩვენებს სამეცნიერო ტექნიკური და საპატენტო ლიტერატურის ანალიზი ნამზადების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგია და მოწყობილობების კონსტრუქციები მოითხოვს შემდგომ სრულყოფას და წარმოადგენს უაღრესად მნიშვნელოვან ამოცანას, რაც განაპირობებს სადისერტაციო თემის აქტუალობას.

დისერტაციის პირველ განყოფილებში - ლიტერატურულ მიმოხილვაში წარმოდგენილია რადიალური ჭედვის პროცესის პრობლემატიკასთან დაკავშირებული ნაშრომების ანალიზი, განხილულია უცხოელი და ქართველი მეცნიერების შრომები რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობების საკითხის ირგვლივ.

დისერტაციის მეორე ნაწილი წარმოდგენილია რამოდენიმე პარაგრაფით. ესენია: „რადიალურ-საჭედი მანქანის კინემატიკური პარამეტრების თეორიული კვლევა და სრულყოფა“, „რადიალური ჭედვის პროცესის ძალოვანი პარამეტრის განსაზღვრის მეთოდიკის შემუშავება“, „დეფორმაციის ძალის გაანგარიშება (ნამზადი D20)“, „რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა“, „რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზი“, „რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის

ახალი კონსტრუქციის შემუშავება“, „რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრა“.

ამ ნაწილში შესრულებულია რადიალური ჭედვის პროცესის კინემატიკური პარამეტრების თეორიული კვლევა. რადიალურ საჭედი მანქანების ნორმალური დინამიკური რეჟიმების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია მისი მოძრავი ნაწილების თანაბარი მოძრაობის მიღწევა. ამასთან დაკავშირებით დისერტაციაში განხილულია სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ საჭედი მანქანის ამძრავის ექსცენტრული ლილვის თანაბარი ბრუნვითი მოძრაობის პირობები. დადგენილია, რომ ასეთ პირობებში შემცირებულია მანქანის კვანძებში ვიბრაციები, რხევები, დარტყმები და სხვა უარყოით ეფექტები.

შემდეგი მთავარი საკითხი, რომელიც გადაწყვეტილია სადისერტაციო ნაშრომში არის რადიალური ჭედვის პროცესის ძალოვანი პარამეტრის განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება. ამასთან დაკავშირებით განსაზღვრულია რადიალურ ჭედვის პროცესში დეფორმაციის კერის გეომეტრიული პარამეტრები. დადგენილია, რომ რადიალური ჭედვისას დეფორმაციის კერის სიგანის გაანგარიშებისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ფორმულა, რომელიც გამოყვანილია განივ-ხრახნული გლინვის პროცესისათვის, როცა მილნამზადის გლინვა მიმდინარეობს ოთხ გლინში. შემოთავაზებულია მარტივი ფორმულა, რომლითაც შეგვიძლია ვიანგარიშოთ საკონტაქტო ფართი რადიალური ჭედვის პროცესში საცემელების ნებისმიერი რაოდენობისათვის, ამასთან გათვლების სიზუსტე სრულიად საკმარისია საინჟინრო ამოცანებისათვის. მიღებულია ფორმულები საშუალო საკონტაქტო წნევის განსაზღვრისათვის ნამზადასა და ინსტრუმენტს შორის ხახუნის და დეფორმაციის გარე ზონების გავლენის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებულია რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა. ექსპერიმენტულ მოწყობილობაზე სტანდარტული გამისაცდელი პრესის დახმარებით რადიალური დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე გამოკვლეულია ცილინდრული ფორმის ტყვიის ნიმუშებზე მოქმედი ძალები. ცდების შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკების სახით, რომლებიც გვიჩვენებენ თუ როგორ იზრდება მოჭიმვის ძალა დეფორმაციის კერის ლითონით შევსებისას.

მიღებული გრაფიკების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ ნამზადების დეფორმაციის პროცესში რადიალური მოჭიმვის ძალა ჯერ შედარებით სწრაფად იზრდება, შემდეგ კი უფრო ნელა უახლოვდება დეფორმაციის დაყმარებული პროცესის ძალას. გამოსაკვლევი ფაქტორები - ნამზადის დიამეტრი და დიამეტრალური მოჭიმვა - თითქმის თანაბარ გავლენას ახდენენ რადიალური მოჭიმვის ძალაზე, რაც ნათლად ჩანს ცდების შედეგების შედარებიდან. რაც შეეხება მესამე ფაქტორს, როგორც მოსალოდნელი იყო მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა რ კუთხის  $4^{\circ}36$  – დან  $8^{\circ}$  –მდე გაზრდამ გამოიწვია პრესის ძალის მომატება - 1,75-ჯერ

D20 ნიმუშისათვის და 1,85-ჯერ D24 ნიმუშისათვის.

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გამოყენებით მიღებულია ფორმულა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ანალიზური ხერხით გამოვიანგარიშოთ რადიალური მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალები ნებისმიერი ზომის ნიმუშისათვის დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე.

დისერტაციაში შემუშავებულია ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგია. რთული ფორმის შიგა ზედაპირის მქონე ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალის მაგალითზე მოცემულია ტექნოლოგიური რეჟიმის და ინსტრუმენტის ანგარიშის მეთოდოლოგია, რომლის მეშვეობით დადგენილია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის - საცემელების და სამართულის რაციონალური პარამეტრები, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პროცესის სრულყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომში გაანალიზებულია თანამედროვე რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციები და ამის საფუძველზე შემუშავებულია ახალი ტიპის რადიალურ - მომჭიმავი მანქანა, რაზედაც საქპატენტის მიერ გაცემულია დადებითი გადაწყვეტილება პატენტის მიღებაზე - ბრძანება №932/01 განაცხადზე №AP 2015 014011 /22/, (3.11.2016). მანქანის ტექნოლოგიური შესაძლებლობები საგრძნობლად გაზრდილია ანალოგებთან შედარებით.

მიღებულია დარტყმითი ძალების საანგარშო ფორმულა ღერძსიმეტრიული ნამზადების ჭედვის დროს. ფორმულის ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ დარტყმითი ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობა პროპორციულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის მოძრავი ნაწილების კინეტიკური ენერჯისა და განისაზღვრება მანქანის ინსტრუმენტის და ნამზადის ფიზიურ-მექანიკური და გეომეტრიული მახასიათებლებით, შეჯახებადი სხეულების დაყვანილი მასით და მანქანის მოძრავი ნაწილების სიჩქარით.

## Abstract

The thesis work – “Improvement of Radial Forging Technology and Appliances of Axisymmetric Workpieces” - is presented in a typed (175) pattern and includes introduction, literature review, results and their discussion, conclusion and bibliography.

The introduction involves substantiation of the topic actuality, the status of studying it, research objectives and tasks, methodological grounds, scientific novelties, obtained in the framework of the thesis, theoretical and practical significance of the work.

Widespread use of the severe plastic deformation (SPD) method on the radial forging machines is a considerable advance in the field of high-pressure torsion (HPT). The radial forging method provides high accuracy of metal work pieces, is characterized by high throughput and significant savings of metals.

Using the radial forging method is especially advantageous in mechanical engineering, particularly in automotive engineering, petroleum equipment construction and many other fields, in order to process the complex shaped, long sized, axis symmetric details. Such details include stepped shafts and axes, cone-shaped and grooved details.

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.

The first section of the dissertation – literature review – provides the analysis of the works about radial forging problems, its technology and appliances, carried out by foreign and Georgian scientists.

The second part of the thesis includes the following paragraphs: “theoretical investigation and improvement of kinematic parameters of radial-forging machines”, “elaboration of methodology for determining the force parameters of the radial forging process”, “calculation of the deformative force (workpiece D20)”, “experimental investigation of radial cogging torque”, “analysis of the construction of radial-forging machines”, “elaboration of a new construction for radial-cogging machine”, “determining the impact forces in the deformation zone of the radial-forging machine”.

The thesis encompasses a theoretical investigation of the kinematic parameters of radial-forging process and radial-forging machine. In order to provide normal, dynamic modes for the radial-forging machines, balanced movement of their mobile parts should be achieved. With regard to this issue, the thesis discusses conditions, required for the balanced, rotary movement of the eccentric shaft in the wedge & lever-type radial-forging machine drive. It is

known that vibrations, oscillations, strokes and other negative effects are reduced in such conditions.

The next basic problem, discussed in this thesis, is elaboration of the method for radial-forging force prediction. For this reason, geometrical parameters of the deformation zone are defined during the radial forging process. In order to calculate the width of deformation zone during radial forging, we can use a formula, created for the transverse helical rolling process, if rolling of a tube is carried out in four rolls. By means of a simple formula, we can calculate the contact space for any amount of heads during forging process. Moreover, accuracy of calculations thoroughly satisfies the needs of engineering tasks. There are some formulas for determining the mean contact pressure, considering the effect of deformation in external zones and friction between the work piece and tool.

The thesis includes an experimental investigation of radial cogging torque on an exclusively designed and fabricated experimental device. By means of a standard test press of this device, forces, acting on cylindrical lead samples were studied on different modes of radial deformation. The results of the trial is given in diagrams, which show the growth of cogging torque while filling the deformation zone with metal.

According to the analysis of the obtained diagrams radial forging force is increased relatively slowly and then gradually achieves the established process force. As shown by the experiment, the investigating factors – work piece diameter and diametrical cogging – have approximately equal effects on radial cogging torque, which can be easily demonstrated by trial result comparison. As for the third factor, growth of the deforming tool operating angle from  $4^{\circ}36'$  to  $8^{\circ}$  caused enhancement of the press force 1.75 times for the work piece D20 and 1.85 times for D24, as expected.

Mathematical modeling of the experiment allowed us to build a formula for calculating the radial cogging torque by analytical method for any sample size, on different deformation modes.

In the framework of the dissertation, the radial forging technology of axis symmetrical details is elaborated. In the example of a long-sized axis symmetrical detail with complex-shaped inner surface, the method of technological mode and tool calculation is presented, by which rational parameters of technological tools – heads and mandrels - are defined. It is extremely important for improvement of the technological process.

The dissertation includes the analysis of modern radial-forging machine constructions, on the basis of which a new radial-cogging machine is elaborated. Sakpatenti has made a positive decision to grant the patent right – order №932/01 on the application №AP 2015 014011 /22/, (3.11.2016). The technological possibilities of the machine are significantly increased in comparison with its analogues.



There has been built a formula, calculating the stroke forces during axis symmetric forging process. According to the analysis of the formula, the maximum value of stroke forces is proportional to the kinetic energy of mobile parts of the radial-cogging machine and is defined by physical-mechanical and geometrical characteristics of the machine tool and work piece, reduced mass of colliding bodies and the rate of mobile parts of the machine.

## შინაარსი

შესავალი .....	18
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	27
1.1. უცხოელი მეცნიერების ნაშრომების მიმოხილვა.....	28
1.2. საქართველოს მეცნიერების ნაშრომების მიმოხილვა .....	43
2. შედეგები და მათი განსჯა .....	59
2.1. რადიალურ-საჭედი მანქანის კინემატიკური პარამეტრების თეორიული კვლევა და სრულყოფა.....	59
2.2. რადიალური ჭედვის პროცესის ძალოვანი პარამეტრის განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება.....	68
2.3. დეფორმაციის ძალის გაანგარიშება (ნამზადი D20) .....	76
2.4. რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა .....	80
2.4.1. ლითონების წნევით დამუშავების დანადგარებში ძალების გამზომი ხელსაწყოების მიმოხილვა .....	80
2.4.2. რადიალური მოჭიმვის ექსპერიმენტული მოწყობილობის შემუშავება .....	94
2.4.3. ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდის და შედეგები .....	98
2.5. ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება .....	128
2.5.1. რთული ფორმის შიგა ზედაპირიანი ღერძსიმეტრიული დეტალების კლასიფიკაცია .....	128
2.5.2. სპირალური ღარების ფორმირება რადიალურ-საჭედ მანქანებზე....	129
2.5.3. ტექნოლოგიური რეჟიმის ანგარიში .....	130
2.5.4. ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის პარამეტრების დადგენა .....	134
2.6. რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზი.....	138
2.7. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის ახალი კონსტრუქციის შემუშავება ..	155
2.8. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრა .....	159
დასკვნა .....	164
გამოყენებული ლიტერატურა .....	167

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილის ნომერი	ცხრილის დასახელება	გვერდი
ცხრილი 1	პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის ემპირიული ფორმულები	75
ცხრილი 2	მოჭიმვის ძალების საანგარიშო მნიშვნელობები	79
ცხრილი 3	დინამომეტრის ДОСМ 3 -5 ტექნიკური მახასიათებლები	94
ცხრილი 4	ტენზომეტრული სენსორის M50 ტექნიკური მახასიათებლები	101
ცხრილი 5	მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - №1	106
ცხრილი 6	მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - №2	107
ცხრილი 7	მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - №3	107
ცხრილი 8	მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - №4	108
ცხრილი 9	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობა - ნიმუში D20	109
ცხრილი 10	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობა - ნიმუში D24	109
ცხრილი 11	ნიმუშები D20, D24 - ძალის ექსტრემალური მნიშვნელობები	113
ცხრილი 12	ПФЭ 22 დაგეგმვის მატრიცა	114
ცხრილი 13	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D20	117
ცხრილი 14	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D24	118
ცხრილი 15	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D20	119

ცხრილის ნომერი	ცხრილის დასახელება	გვერდი
ცხრილი 16	მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D24	120
ცხრილი 17	მოჭიმვის ძალები ფაქტორების ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე	124
ცხრილი 18	ექსპერიმენტის ПФЭ 23 გეგმის მატრიცა	125
ცხრილი 19	რადიალურ-საჭედი მანქანის პარამეტრები	154
ცხრილი 20	რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის პარამეტრები	157

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზის ნომერი	ნახაზის დასახელება	გვერდი
ნახ. 1	ნამზადის დეფორმაციის სქემა რადიალურ- საჭედ მანქანაზე	18
ნახ. 2	რადიალურ საჭედი მანქანების ინსტრუმენტი	19
ნახ. 3	რადიალურ-საჭედი მანქანის ექსცენტრულ- ბარბაცა მექანიზმის სქემა	59
ნახ. 4	მექანიზმის სიჩქარეთა მყისიერი ცენტრის განსაზღვრის სქემა	62
ნახ. 5	დეფორმაციის კერის სქემა	69
ნახ. 6	ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობს გრაფიკები	74
ნახ. 7	მოჭიმვის ძალის საანგარიშო სქემა	77
ნახ. 8	გლინებზე ლითონის წნევის განსაზღვრა ციფრული ინდიკატორით	80
ნახ. 9	ინდუქციური გადამწოდი	81
ნახ. 10	ინდუქციური გადამწოდის ელექტრული სქემა	82
ნახ. 11	ჰიდრაულიკური მესდოზა	83
ნახ. 12	ინდუქციური მესდოზა	84
ნახ. 13	ინდუქციური მესდოზის ელექტრული სქემა	85
ნახ. 14	კონდენსატორული მესდოზა	86
ნახ. 15	მაგნიტოსტრიქციული მესდოზა	87

ნახაზის ნომერი	ნახაზის დასახელება	გვერდი
ნახ. 16	მავთულგადამწოდინი მესდოზა	88
ნახ. 17	ტენზომეტრული აპარატურის ჩართვის ბლოკ- სქემა	89
ნახ. 18	მესდოზის ტარირების გრაფიკი	90
ნახ. 19	ოსცილოგრამის დამუშავება ტარირების გრაფიკის გამიყენებით	91
ნახ. 20	ნახშირის მესდოზა გლინვის ძალის გაზომვისათვის	91
ნახ. 21	გლინში სამი მესდოზის ჩაყენება	93
ნახ. 22	დინამომეტრი ДОСМ 3 -5	93
ნახ. 23	მოწყობილობა რადიალური მოჭივისათვის	95
ნახ. 24	მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა	96
ნახ. 25	საცდელი პრესი MC – 500 და რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა	98
ნახ. 26	საცდელი პრესის სქემატური ნახაზი	99
ნახ. 27	ტენზომეტრული სენსორი M50	100
ნახ. 28	მავთულგადამწოდი	101
ნახ. 29	მავთულგადამწოდების შეერთების სქემა	103
ნახ. 30	სენსორების შეერთება გამზომ ხელსაწყოთან	104
ნახ. 31	გამზომი ხელსაწყო კლემების დასახელება	104

ნახაზის ნომერი	ნახაზის დასახელება	გვერდი
ნახ. 32	საცდელი წნეხი MC – 500	105
ნახ. 33	დეფორმირებული ნიმუშები	106
ნახ. 34	მოჭიმვის ძალის დამოკიდებულება დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების ხარისხზე - ნამზადი D20; პრესის ძალა P=1240 კგ, დეფორმაციის ძალა 12916 კგ	111
ნახ. 35	მოჭიმვის ძალის დამოკიდებულება დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების ხარისხზე - ნამზადი D24; პრესის ძალა P=2490 კგ, დეფორმაციის ძალა 28147კგ	111
ნახ. 36	ექსპერიმენტის გეგმის $\Pi\Phi\Xi$ 22 გრაფიკული ასახვა სიბრტყეზე	113
ნახ. 37	$d_0 = 23$ ნიმუშის $\Delta d = 1,5$ მოჭიმვით დეფორმაციის შესაბამისი კოდური მნიშვნელობები	116
ნახ. 38	მოჭიმვის ძალის გრაფიკი: ნამზადი D20; ( $r = 4^036$ ): პრესის ძალა P=10,60 კნ, დეფორმაციის ძალა 129,16 კნ	121
ნახ. 39	მოჭიმვის ძალის გრაფიკი: ნამზადი D24; ( $r = 4^036$ ): პრესის ძალა P=23,10 კნ, დეფორმაციის ძალა 281,47 კნ	121
ნახ. 40	მოჭიმვის ძალის გრაფიკი: ნამზადი D20; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა P=9,40 კნ, დეფორმაციის ძალა 73,60 კნ	122
ნახ. 41	მოჭიმვის ძალის გრაფიკი: ნამზადი D24; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა P=19,30 კნ, დეფორმაციის ძალა 151,67 კნ	122
ნახ. 42	ნიმუშის $\Delta d = 1,5$ მოჭიმვაზე კოდური მნიშვნელობები ( $r = 4^036'$ )	127
ნახ. 43	რთული ფორმის შიგა ზედაპირიანი დეტალები	129
ნახ. 44	ნამზადის დეფორმაციის სქემა	130

ნახაზის ნომერი	ნახაზის დასახელება	გვერდი
ნახ. 45	ჭედვის ოპერაციის სქემა	131
ნახ. 46	საჭედი საცემელები	135
ნახ. 47	საცემელების მუშა ნახაზი	137
ნახ. 48	ღეროს მუშა ნახაზი	137
ნახ. 49	სამართულის მუშა ნახაზი	138
ნახ. 50	როტაციულ-საჭედი მანქანა	139
ნახ. 51	გორგოლაქიანი მანქანის მოჭიმვის მექანიზმი	140
ნახ. 52	ბერკეტული მანქანა	141
ნახ. 53	“Cobelux”, “Usine de Wecker” ფირმების მიერ გამომშვებული რადიალურ - საჭედი მანქანების სქემა	142
ნახ. 54	ფირმა “Orka”-s მანქანის სქემა	143
ნახ. 55	ფირმა “Kiesilringi”-s რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა	144
ნახ. 56	მუშტა ტიპის ბერკეტული მანქანა	145
ნახ. 57	ბარბაციანი მანქანა	146
ნახ. 58	ვერტიკალური ტიპის ბარბაციანი რადიალურ საჭედი მანქანა	147
ნახ. 59	25 ტონიანი რადიალურ-საჭედი მანქანა	148
ნახ. 60	სოლურ-ბერკეტული ტიპის მანქანის სქემა	150



ნახაზის ნომერი	ნახაზის დასახელება	გვერდი
ნახ. 61	ორბერკეტიანი სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანა	152
ნახ. 62	ორ-ბარბაციანი სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა	153
ნახ. 63	რადიალურ - მომჭიმავი მანქანის ახალი სქემა	156
ნახ. 64	დარტყმითი ძალების მოქმედების სქემა	160

## მადლიერება

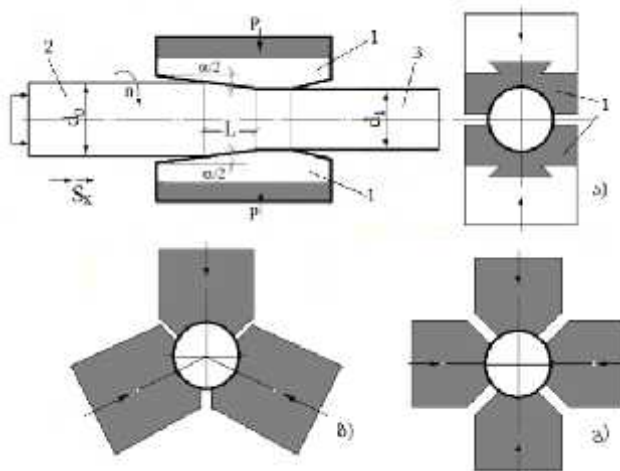
მადლობა მინდა მოვახსენო ყველა იმ ადამიანს ვინც დახმარება და თანადგომა აღმომიჩინა დისერტაციაზე მუშაობის პროცესში. განსაკუთრებით ჩემს ხელმძღვანელს, ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებულ პროფესორს სლავა მეზონიას, ფაკულტეტის დეკანს, პროფესორ ნუგზარ წერეთელს.

მადლიერებით მინდა მოვიხსენიო ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის თანამშრომლები, განსაკუთრებით „ლითონების წნევით დამუშავების“ მიმართულებების თანამშრომლები, რომელთაგანაც დიდ ყურადღებას ვგრძობდი ამ პერიოდის მანძილზე.

ასევე მადლობა მინდა მოვახსენო ჩემი ოჯახის წევრებს და ნათესავებს, რომლებიც ყოველმხრივ მამხნევებდნენ და გვერდში მედგნენ.

## შესავალი

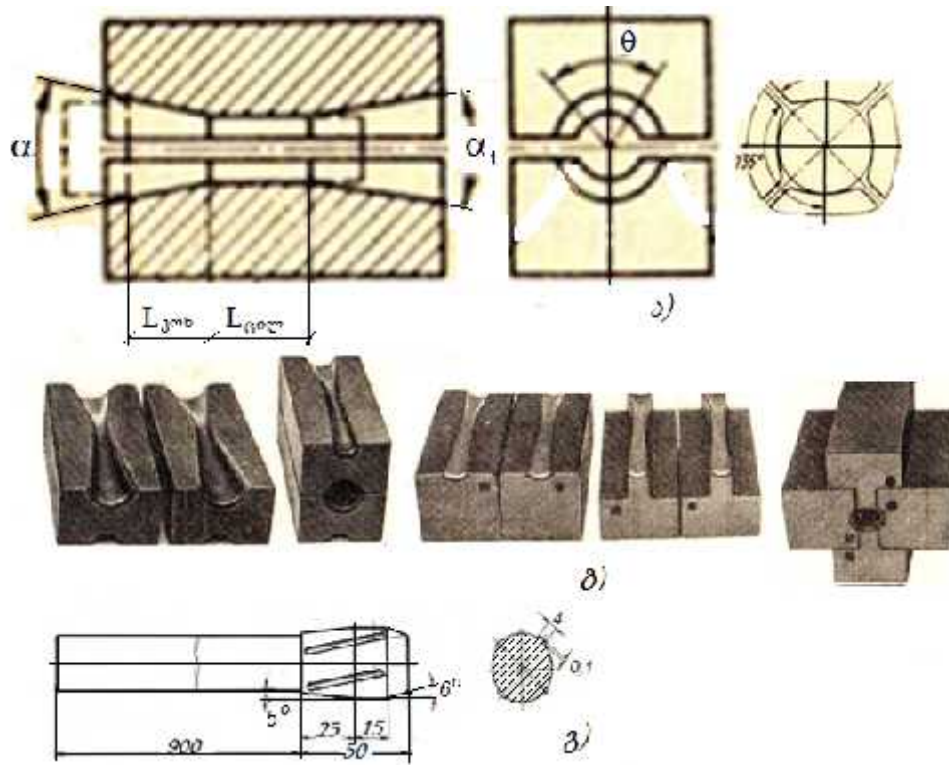
**თემის აქტუალობა.** რადიალური ჭედვის პროცესი წარმოადგენს ლითონების წნევით დამუშავების (ლწდ) ერთერთ ნაირსახეობას, რომელიც მდგომარეობს ნამზადის ფორმაცვლილებაში მუშა ინსტრუმენტის - საცემელების პერიოდული დარტყმების მეშვეობით. ინსტრუმენტი ნამზადის მიმართ რადიალური მიმართულებით გადაადგილდება, რის შედეგად ნამზადი ღებულობს დიამეტრალურ მოჭიმვა. დეფორმაციის პროცესში დარტყმებს შორის დროის შუალედში ნამზადი გადაადგილდება ღერძული მიმართულებით და ამავე დროს ბრუნავს საკუთარი ღერძის ირგვლივ. კვადრატული და მართკუთხა ნამზადების ჭედვის დროს ნამზადი არ ტრიალდება ღერძის ირგვლივ - ის მხოლოდ გრძივი მიმართულებით გადაადგილდება. საცემელების რხევის სიხშირე საკმაოდ დიდია - მცირე მანქანებში ის  $2000 \text{ წუთ}^{-1}$ , ხოლო დიდ მანქანებში  $400-600 \text{ წუთ}^{-1}$ -ს აღწევს. დეფორმაციის ასეთი პულსაციური რეჟიმი საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ ლეგირებული და ძნელადდეფორმირებადი ფოლადების და შენადნობების პლასტიკური დამუშავება. ქვემოთ ნახ.1-ზე მოცემულია ნამზადის ჭედვის სქემა რადიალურ-საჭედი მანქანაზე.



**ნახ.1. ნამზადის დეფორმაციის სქემა რადიალურ-საჭედი მანქანაზე**

ა - ჭედვა ორი საცემელით; ბ - ჭედვა სამი საცემელით; გ - ჭედვა ოთხი საცემელით;  
1. საცემელები; 2. ნამზადი; 3. ნაჭედი

რადიალური ჭედვის პროცესში გამოიყენება საკმაოდ მარტივი ფორმის ინსტრუმენტი, რომლის დამზადება არ მოითხოვს დიდ დანახარჯებს, რაც უსა-თუოდ კიდევ უფრო ზრდის ამ მეთოდის უპირატესობას ლითონების წნევით დამუშავების სხვა მეთოდებთან შედარებით. ნახ. 2-ზე მოცემულია რადიალურ საჭედი მანქანების ძირითადი ინსტრუმენტი: საცემელები და სამართული.



**ნახ.2. რადიალურ საჭედი მანქანების ინსტრუმენტი:**  
 ა - საცემელების სქემა; ბ - საცემელების ფოტო; გ - სამართული

რადიალური ჭედვის პროცესის სრულყოფისათვის აუცილებელია მისი კინემატიკური და ძალოვანი პარამეტრების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა, რათა მიღებული შედეგები გამოყენებული იყოს შემდგომ რადიალურ-საჭედი მანქანების პროექტირების დროს. რადიალურ საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობები, საიმედოობა და საექსპლუატაციო თვისებები ბევრად არის დამოკიდებული მათი დინამიკური პარამეტრების სწორად შერჩევაზე. ამ მანქანებისათვის დამახასიათებელია დატვირთვის იმპულსური, დარტყმითი ხასიათი, რაც არის მათი მწყობრიდან ხშირი გამოსვლის მიზეზი.

ძალზე მნიშვნელოვანია მანქანის პროექტირების სტადიაზე ზუსტი ანგარიშების ჩატარება და დეტალების ოპტიმალური კონსტრუქციული ზომების, აგრეთვე დრეკად მასობრივი პარამეტრების დადგენა.

რადიალურ-საჭედ მანქანებზე (რსმ) ლითონების პლასტიკური დეფორმირების მეთოდის ფართო გამოყენება მნიშვნელოვანი პროგრესია ლითონების წნევით დამუშავებისას. რადიალური ჭედვის მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის ნაკეთობათა მაღალ სიზუსტეს, გამოირჩევა დიდი მწარმოებლურობით და ლითონის საგრძნობი ეკონომიით.

რადიალური ჭედვის მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით ხელსაყრელია მანქანათმშენებლობაში, კერძოდ ავტოტრაქტორთ-მშენებლობაში, სანავთობე დანადგარების მშენებლობაში და მრავალ სხვა დარგში რთული ფორმის ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების დამუშავებისათვის. ასეთ დეტალებს მიეკუთვნება საფეხურებიანი ლილვები და ღერძები, კონუსური და შლიცებიანი (ღარებიანი) დეტალები. შიგა ზედაპირის რთული კონფიგურაციით გამოირჩევა ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების მრავალრიცხოვანი ჯგუფი, რომელთა შორის შეიძლება გამოვყოს ღერძსიმეტრიული დეტალები შიგა საფეხურებიანი პროფილით, კერძოდ გარდამავალი მილისები, ნიპელები და საფეხურებიანი ქუროები; სიმეტრიული დეტალები მუდმივი განიკვეთის შიგა პროფილით, ამ ქვეჯგუფის ტიპური დეტალებია შლიციანი მილისები, ექვსწახნაგა და კვადრატულ-ნახვრეტებიანი მილისები; ღერძსიმეტრიული დეტალები შიგა კუთხვილიანი ან შიგა სპირალური შლიცებიანი, შიგა კუთხვილიანი მილები.

აღნიშნული დეტალების დამზადება მექანიკური დამუშავებით ლითონსაჭრელ ჩარხებზე შრომატევადი და არაეკონომიურია, ვინაიდან ჭრით დამუშავების პროცესებს ახასიათებს ლითონის გამოყენების კოეფიციენტის შედარებით დაბალი მნიშვნელობა, რაც დაკავშირებულია ლითონის დანაკარგებთან ბურბუმელის სახით.

რადიალური ჭედვის მეთოდი, რომელიც მეტად ეფექტურია ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების დამუშავებისთვის უზრუნველყოფს ლითონის გამოყენების კოეფიციენტის მკვეთრ გაზრდას, ნამზადების ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესების სრულ მექანიზაციასა და ავტომატიზაციას, შრომატევადობის შემცირებას. ამასთან, რადიალური ჭედვით მიღებულ ნაკეთობებს ახასიათებთ ზომების და ზედაპირის სისუფთავის მაღალი სიზუსტე. ცხლად რადიალური ჭედვის შედეგად მიღებული დეტალების სიზუსტე მე-4, მე-5 კლასისაა, ხოლო სიმქისე – მე-5, მე-6 კლასის. ცივად დამუშავებისას სიზუსტის მაჩვენებელი უფრო მაღალია – მე-2, მე-3 კლასის, შესაბამისად ზედაპირის სისუფთავე უახლოვდება მე-9, მე-10 კლასს. ასეთი ხარისხობრივი მაჩვენებლები დამახასიათებელია სახარატო დამუშავების პროცესისათვის, მაშასადამე რადიალური ჭედვის მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ლითონური ნაკეთობა საბოლოო სახით. გარდა აღნიშნულისა, რადიალური ჭედვის მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის სტრუქტურისა და მექანიკური თვისებების გაუმჯობესებას. დატვირთვის პულსაციური ხასიათი, რომელიც დამახასიათებელია რადიალური ჭედვისათვის, უზრუნველყოფს ლითონის პლასტიკურობის რესურსის სრულ გამოყენებას, მადეფორმირებელი ძალების შემცირებას, რაც საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოოთ დეტალები დაბალი პლასტიკურობის მქონე ძნელად დეფორმირებადი ლეგირებული ფოლადებისაგან და შენადნობებისაგან.

რადიალური ჭედვის პროცესის რეალიზაცია ხდება სხვადასხვა კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედ მანქანებზე.

ცივად ჭედვისთვის, მთლიანი წნელების დამზადებისათვის, საფეხურებიანი ნამზადების, ბალონების, ტურბინის ნიჩბების ნამზადების მიღებისათვის.

აღსანიშნავია გასავლელი რადიალურ-საჭედი მანქანები, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია არსებული სორტსაგლინი საამქროების რეკონსტრუქციის დროს, ვინაიდან გასავლელ მანქანებს შეუძლიათ შეცვალონ მოძველებული სორტსაგლინი დგანები, როდესაც საამქროს სორტამენტი შედგება მრავალი შედარებით მცირე რაოდენობით სორტული პროფილებისაგან. ასეთი მანქანების კომპლექსი უზრუნველყოფს მრგვალი პროფილების დიამეტრით 12 - 200 მმ, 12 - 115 მმ კვადრატების, 4x30 - 30x130 ზოლურას მიღებას. არის ახალი ტიპის მანქანები, რომლებიც განკუთვნილია ზომაგრძელი ცვლადი განივი კვეთის ღრუ ნამზადების რადიალური ჭედვისათვის. ეს მძლავრი მანქანებია, რომლებიც განავითარებენ ძალას 340-300 ტონას თითოეული საცემელზე. მანქანები აღჭურვილია მბრუნავი ცხელი საცივებელი სამართულების გადაადგილების მექანიზმით.

რადიალურ-საჭედი მანქანები ჭედვის პროცესის მექანიზაციის და ავტომატიზაციის მიზნით აღჭურვილია ნამზადების მიმწოდებელი მექანიზმებით. ჭედვის პროცესის სრულყოფის ხარისხი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნამზადების მიმწოდებელი მექანიზმების კონსტრუქციაზე, მათი მართვის სისტემაზე. მაშასადამე, ღერძსიმეტრიული ნამზადების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობის სრულყოფის პრობლემა ძალზე მნიშვნელოვანია მანქანათმშენებლობისათვის. მიუხედავად იმისა, რომ ეს საკითხი მეცნიერულად კარგადაა შესწავლილი, ტექნიკის განვითარების ახალი ეტაპი მოითხოვს რადიალური ჭედვის პროცესის და მოწყობილობის შემდგომ განვითარებას, რაც განაპირობებს სადისერტაციო თემის აქტუალურობას.

**კვლევის მიზანი და ძირითადი ამოცანები.** კვლევის ძირითადი მიზანია მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ღერძსიმეტრიული ნამზადების რადია-ლური ჭედვის პროცესის და მანქანების არსებული მდგომარეობის შესწავლა და მისი განვითარების პერსპექტივის მეცნიერული დასაბუთება, განვითარების მიმართულებათა ჩამოყალიბება.

ამ მიზნით განისაზღვრა კვლევის ძირითადი ამოცანები:

- რადიალური ჭედვის პროცესის როლისა და ადგილის განსაზღვრა თანამედროვე მანქანათმშენებლობაში;
- რადიალური ჭედვის პროცესის კინემატიკის კვლევა და ოპტიმალური კინემატიკური პარამეტრების დადგენა რადიალურ საჭედი მანქანის დეტალების თანაბარი ბრუნვის და სტაბილური მუშაობის უზრუნველსაყოფად;
- რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალოვანი პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის შემუშავება;
- რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა;
- ზომადრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიის სრულყოფის მიზნით ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური რეჟიმების და მუშა ინსტრუმენტის რაციონალური პარამეტრების დადგენა;
- რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზი და მანქანის ახალი კონსტრუქციის შემუშავება;
- რადიალურ-საჭედი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრა.

**თემის შესწავლის მდგომარეობა.** რადიალური ჭედვის თეორიის და ტექნოლოგიის საკითხები შესწავლილია როგორც უცხოელი, ისე ქართველი მეცნიერების მიერ. მნიშვნელოვანი კვლევები აქვთ ჩატარებული მ. სტოროჟევს, ე. პოპოვს, ი. ოხრიმენკოს, ჰ. ალბერტსს, ა. კენდალს, ი. რადიუჩენკოს, ვ. ლიუბვინს, აგრეთვე ჯ. ლომსაძეს, მ. მიქაუტაძეს, თ. ჩხაიძეს და სხვა მეცნიერებს, რომელთა სამეცნიერო ნაშრომებში და მონოგრაფიებში განხილულია რადიალური ჭედვის გეომეტრიული, დეფორმაციული, კინემატიკური და ენერგოძალოვანი



პარამეტრები. ბოლო პერიოდისათვის ამ მიმართულებით მუშაობა შედარებით გააქტიურდა საქართველოში, განსაკუთრებით საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, რაც ასახულია პროფესორ მ. მიქაუტაძის და მისი მოწაფეების შრომებში, მაგრამ ეს საკითხი ზოგადად ჯერ კიდევ რჩება შეუსწავლელი და მეტ ძალისხმევას მოითხოვს.

**კვლევის ობიექტი და საგანი.** სადისერტაციო შრომის კვლევის ობიექტია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგია და მოწყობილობა, რადიალური ჭედვის პროცესის კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრები, მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ღერძსიმეტრიული დეტალების მიღების ტექნოლოგია და რადიალურ-საჭედი მანქანები, მათი კონსტრუქციების თავისებურებები და განვითარების მიმართულებები.

**კვლევის მეთოდოლოგია და მეთოდიკა.** სადისერტაციო ნაშრომის მეთოდოლოგია ემყარება პლასტიკურობის და ლითონების წნევით დამუშავების თეორიების ძირითად დებულებებს.

რადიალური ჭედვის პროცესის კვლევისათვის დაპროექტებული და დამზადებულ იყო სპეციალური ექსპერიმენტული მომჭიმავი მოწყობილობა, რომელმაც სტანდარტული გამოსაცდელი წნეხის დახმარებით საშუალება მოგვცა რადიალური დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე დაგვედგინა ცილინდრული ფორმის ტყვიის ნიმუშებზე მოქმედი ძალები.

ექსპერიმენტის ჩატარებისას ძალას ვზომავდით ДОСМ 3 -5 ტიპის ეტალონური დინამომეტრით.

ცდების შედეგების დამუშავებისათვის გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის სრულფაქტორიანი მეთოდი, რომელმაც საშუალება მოგვცა ცდების მინიმალური რაოდენობით მიგველო კვლევის ზუსტი შედეგები. მეთოდის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ საკმარისია ექსპერიმენტი ჩატარდეს გამოსაკვლევი ფაქტორების მხოლოდ

ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე.

ნაშრომში ფართოდ არის გამოყენებული უცხოელი და ქართველი მეცნიერების სამეცნიერო გამოკვლევები, მეთოდოლოგიური და მეთოდური ხასიათის მონოგრაფიები, სტატიები.

**მეცნიერული სიახლე.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლეებია რადიალური ჭედვის პროცესის კინემატიკის კვლევა და რადიალურ საჭედი მანქანის თანაბარი ბრუნვის პირობიდან გამომდინარე ოპტიმალური კინემატიკური პარამეტრების დადგენა; რადიალური ჭედვის პროცესში მოქმედი ძალოვანი პარამეტრების ანგარიშის ახალი მეთოდიკის შემუშავება; რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად მოჭიმვის ძალის ძირითადი ტექნოლოგიური ფაქტორებთან დამოკიდებულების შესწავლა და მათემატიკური მოდელების მიღება; ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური რეჟიმების და მუშა ინსტრუმენტის რაციონალური პარამეტრების დადგენა; რადიალურ-საჭედი მანქანის სრულყოფილი კონსტრუქციის შემუშავება; რადიალურ-საჭედი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრა.

**სადისერტაციო ნაშრომის მეთოდოლოგიური და თეორიული მნიშვნელობა** გამოიხატება იმაში, რომ იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას რადიალური ჭედვის თეორიის და ტექნოლოგიის სრულყოფისათვის. დისერტაციაში მიღებული შედეგები წარმოადგენს რადიალური ჭედვის თეორიის საკითხების ახლებურად გადაწყვეტას და იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას თეორიის შემდგომი განვითარებისათვის.

**სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა.** გამოკვლევაში მიღებული თეორიული დასკვნები შეიძლება გამოყენებულ იქნას რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიის და მოწყობლობების შემდგომი განვითარებისათვის. კვლევის შედეგად მიღებული რეკომენდაციების პრაქტიკული დანერგვა საქართველოს მანქანათმშენებელ საწარმოებსა და

ფირმებში ხელს შეუწყობს ეფექტიანობის ამაღლებას და განვითარებას, მათი სიმძლავრეების ამაღლებას, შესრულებული სამუშაოების დანახარჯების შემცირებას და ხარისხის გაზრდას. ამით კი შესაძლებელი იქნება გაიზარდოს მანქანათმშენებელი საწარმოების დატვირთვა და მათ მიაღწიონ შესამჩნევ ეფექტიანობას, რაც თავის მხრივ ხელს შეუწყობს ქვეყანაში სამუშაო ადგილების მნიშვნელოვან ზრდას და საქართველოს ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

**სადისერტაციო ნაშრომის აპრობაცია და პუბლიკაციები.**  
დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენდა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ჩატარებულ საერთაშორისო და სტუდენტთა სამეცნიერო კონფერენციებს. კვლევის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში, რომლებიც დაბეჭდილია სამეცნიერო რეფერირებად ჟურნალებში. მიღებულია 1 პატენტი გამოგონებაზე.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

დისერტაციაში გამოყენებულია ნაშრომები, რომლებშიც განხილულია რადიალური ჭედვის პროცესის კანონზომიერებები, მისი განვითარების პრობლემატიკა, მათ შორის უცხოელი და ქართველი მეცნიერების შრომები ლითონური ნაკეთობების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და რადიალურ-საჭედი მანქანა-დანადგარების სრულყოფის საკითხების ირგვლივ.

შესწავლილი იქნა სპეციალური ლიტერატურა, რომელსაც კავშირი აქვს სადისერტაციო ნაშრომში წამოჭრილ პრობლემატურ საკითხებთან.

დისერტაციაში გამოყენებულია ნაშრომები, რომლებშიც განხილულია რადიალური ჭედვის პროცესის კანონზომიერებები, მისი განვითარების პრობლემატიკა, მათ შორის უცხოელი და ქართველი მეცნიერების შრომები ლითონური ნაკეთობების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და რადიალურ-საჭედი მანქანა-დანადგარების სრულყოფის საკითხების ირგვლივ.

სადისერტაციო ნაშრომი ძირითადად ორიენტირებულია მეტალურგიის და მანქანათმშენებლობის სფეროზე, სადაც ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებს ეკუთვნის ერთ-ერთი საკვანძო როლი. აქცენტი გაკეთებულია იმ საკვანძო პრობლემებზე, რომელთა ათვისება და გაანალიზება საქართველოში რადიალური ჭედვის პროცესის განვითარებით დაინტერესებულ სპეციალისტებს დაეხმარება გაანალიზონ და საკუთარ ხედვებთან შეაჯერონ ნაშრომში ჩამოყალიბებული საკითხების შინაარსი.

ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა სპეციალური ლიტერატურა, რომელსაც კავშირი აქვს სადისერტაციო ნაშრომში წამოჭრილ პრობლემატურ საკითხებთან.

რადიალური ჭედვის თეორიის, ტექნოლოგიისა და მოწყობილობების საკითხებზე მრავალი უცხოელი და ქართველი მეცნიერი მუშაობს. აღნიშნული პროცესის შესწავლის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი კვლევები აქვთ ჩატარებული ისეთ ცნობილ მეცნიერებს, როგორებიც არიან: მ. სტოროჟევი, ე. პოპოვი, ი. ოხრიმენკო, ჰ. ალბერტსი, ჰ. ბრემვეიზერი, ა. კენდალი, ი. აკარო, ვ. ტიურინი, ვ. ლაზორკინი, ი. პოსპელოვი, ჰ. ფლახოვსკი, ი. რადიუჩენკო, ვ. ლიუბვინი და სხვა.

აღსანიშნავია ამ მიმართულებით ქართველი მეცნიერების ჯ. ლომსაძის, მ. მიქაუტაძის, თ. ჩხაიძის ნაშრომები, რომლებშიც საფუძვლიანადაა გამოკვლეული რადიალური ჭედვის როგორც თეორიული, ისე საინჟინრო-ტექნიკური მხარე.

## 1.1. უცხოელი მეცნიერების ნაშრომების მიმოხილვა

რადიალური ჭედვის პროცესისა და მანქანა-დანადგარებთან დაკავშირებული საკითხები განხილულია როგორც სამეცნიერო ნაშრომებში და მონოგრაფიებში, აგრეთვე შესაბამისი პროფილის სახელმძღვანელოებში. ჩვენი შეხედულებით შერჩეული ზოგიერთი ნაშრომის მიმოხილვა მოცემულია ქვემოთ.

უშუალოდ რადიალურ ჭედვასთან დაკავშირებით საინტერესოა უკრაინული სამეცნიერო-ტექნიკური სკოლის წარმომადგენლების ნაშრომები, მათ შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ნაშრომს, რომელშიც განხილულია სხვადასხვა საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია რადიალური ჭედვის პროცესის როგორც თეორიასთან, ასევე ტექნოლოგიასა და მოწყობილობასთან [1].

ნაშრომში ჩამოყალიბებულია რადიალური ჭედვის რაციონალური ტექნოლოგიური პროცესების დაგეგმარების საფუძვლები, რაც

უზრუნველყოფს ნაჭედების ხარისხის ამაღლებას და დანადგარების მწარმოებლობის გაზრდას. დიდი ყურადღება ექცევა სამჭედლო ინსტრუმენტის შერჩევას, მისი დეფორმაციული შესაძლებლობების ანალიზს ლითონის წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მიღების თვალსაზრისით. მოყვანილია თეორიული კონცეფციები რადიალური ჭედვის პროცესის რაციონალური მარშრუტების შედგენისათვის და დეფორმაციის რეჟიმის დადგენისათვის [2].

ვ. ტიურინს, ვ. ლაზორკინის, ი. პოსპელოვის და ჰ. ფლახოვსკის მონოგრაფიაში მოცემულია თანამედროვე რადიალური საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობების ანალიზი, მათი გამოყენების სფეროები – მანქანათმშენებლობის ქარხნების სანამზადო წარმოებაში რთული კონფიგურაციის ღერძსიმეტრიული დეტალების მიღებისათვის და მეტალურგიაში ლეგირებული ფოლადების და ძნელად დეფორმირებადი შენადნობების ჭედვისათვის. განხილულია რადიალური ჭედვის ტიპური ტექნოლოგიური პროცესები გლუვი ნამზადების, ცვლადი განივი კვეთის ღერძსიმეტრიული დეტალების, დრუ სხეულების, რთული პროფილის დეტალების მიღებისათვის. გაანალიზებულია თანამედროვე რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციები – გორგოლაჭოვანი და ბერკეტული ტიპის, ჰიდრავლიკური, ექსცენტრული და სხვა [3].

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს წიგნში გადაწყვეტილ საკითხებს, რომლებიც ეხება ლითონის დეფორმირების მექანიკას რადიალურ-საჭედ მანქანებზე, დეფორმაციების განსაზღვრის მეთოდურ-საკოორდინატო გისოსების გამოყენებით. ლითონის დეფორმაციის კერაში დინების კინემატიკას, დეფორმაციის ველების შედგენას, მთავარი დეფორმაციების მიმართულების დადგენას.

აღსანიშნავია რადიალური ჭედვის პროცესში ლითონის დამაბუღ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლის საკითხი, კერძოდ

დეფორმაციის კერის სტრუქტურის და განვითარების სტადიების დადგენა, რომელიც შესრულებულია ძვრის ხაზების და მათი ველების აგებით.

წიგნში დადგენილია რადიალური ჭედვის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრების როლი და მნიშვნელობა პროცესის წარმართვისათვის, კონკრეტულად გამოყვანილია ფორმულები ნამზადის გრძივი და ბრუნვითი მიწოდებისათვის, დეფორმაციის კერის პარამეტრების გაანგარიშებისათვის მრგვალი, კვადრატული და მართკუთხა განივკვეთის ნამზადების შემთხვევის, საკონტაქტო ზედაპირის ფორმის და ფართობის დადგენისათვის.

ავტორების მიერ შემოთავაზებულია ენერგოძალოვანი პარამეტრების საანგარიშო ფორმულები, დეფორმაციის ძალის, მუშაობის და სიმძლავრისათვის. მოყვანილია რადიალური ჭედვის პროცესის ტენზომეტრიული კვლევის შედეგები, დადგენილია ტექნოლოგიური ფაქტორების გავლენა ჭედვის ძალაზე და სიმძლავრეზე.

მოცემულია რადიალურ საჭედ მანქანებზე ჭედვის რეჟიმების დადგენის საფუძვლები, კერძოდ, დეფორმირების ობიექტების დახასიათების, რადიალური ჭედვისას მოჭიმვების შერჩევის ხერხის, ინსტრუმენტის ტექნოლოგიური შესაძლებლობების შეფასების და მისი კონსტრუქციის შერჩევის, დეფორმაციების განაწილების, მწარმოებლობის გაანგარიშების. ძალზე მნიშველოვანია წიგნში მოყვანილი რეკომენდაციები დეფორმირების რეჟიმის შერჩევისათვის.

განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ავტორების მიერ ჩატარებული კვლევები, რომლებიც ეხება ჭედვის რეჟიმების გავლენას ლითონის სტრუქტურაზე და მექანიკურ თვისებებზე. წიგნის ბოლო თავში განხილულია რადიალურ საჭედ მანქანებზე ჭედვის პროცესის რეალიზაციის გზები.

ი.ს. რადიუჩენკოს ნაშრომში ავტორის მიერ მოცემულია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიისა და მოწყობილობების განვითარების საკითხების კომპლექსური გადაწყვეტის მიმართულებები [4].

ავტორი ხაზგასმით ამბობს, რომ ამ საკითხების გადაწყვეტა უნდა ხდებოდეს კონსტრუქტორების და ტექნოლოგების ერთობლივი ძალისხმევით: გასაკუთრებით ის ამახვილებს ყურადღებას ამოცანებზე, რომლებიც დაკავშირებულია ტექნოლოგიური მოთხოვნების ჩამოყალიბებასთან, მანქანის ტიპზომის შერჩევასთან, მისი მექანიზაციის და ავტომატიზაციის დონესთან.

ავტორის მიერ ჩამოთვლილია ძირითადი საკითხები, მათ შორის მთავარია: დეტალის ტექნოლოგიურობის ანალიზი ნამზადის შერჩევის მიზნით, ტექნოლოგიური პროცესის რამოდენიმე ვარიანტის შედგენა და მათი ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება, მოჭიმვის მექანიზმის რაციონალური სქემის შემუშავება, საცემელებს შორის მანძილის რეგულირების აუცილებლობა ჭედვის პროცესში, მანქანის სიხისტისადმი და სწრაფმავლობისადმი მოთხოვნილებების ჩამოყალიბება, ნამზადის მიმწოდებელი მექანიზმის პრინციპიალური სქემის შერჩევა, მანქანის პროგრამული მართვის სისტემით აღჭურვის აუცილებლობა.

ნაშრომის მნიშვნელობას უფრო ზრდის ის, რომ მასში პირველად სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში მოყვანილია რადიალური მოჭიმვის ხერხების კლასიფიკატორი, რომელიც დაფუძნებულია დეტალების კლასიფიკაციაზე და ცნობილი რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციული სქემების ანალიზზე. ასეთი კლასიფიკატორის შექმნამ საფუძველი დაუდო რადიალური მოჭიმვის პროცესის ძირითადი ფაქტორების სისტემატიზაციას, პროგრესული ტიპის მანქანების შერჩევას, მათ ტექნიკურ-ეკონომიკურ კვლევას.

ლ.ვ. შირინკინი თავის ნაშრომში განიხილავს რადიალური-საჭედი მანქანების ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებს და მათი გამოყენების სფეროს.



მას განხლული აქვს ავსტრიული ფირმების მანქანები, რომლებიც განკუთვნილია ღრუ სხეულების ცივად ჭედვისთვის, მთლიანი წნელების დამზადებისათვის, საფეხურებიანი ნამზადების, ბალონების, ტურბინის ნიჩბების ნამზადების მიღებისათვის. ავტორი განსაკუთრებით აღნიშნავს გასავლელი რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენების მნიშვნელობას. ეს მანქანები, ავტორის აზრით, შესაძლებელია გამოყენებული იყოს არსებული სორტსაგლინი საამქროების რეკონსტრუქციის დროს, ვინაიდან გასავლელ მანქანებს შეუძლიათ შეცვალონ მოძველებული სორტსაგლინი დგანები, როდესაც საამქროს სორტამენტი შედგება მრავალი შედარებით მცირე რაოდენობით სორტული პროფილებისაგან. ცხადია, ასეთ შემთხვევაში სორტსაგლი დგანის დაყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არ იქნებოდა, ვინაიდან თანამედროვე სორტსაგლინი დგანი, რომლებიც გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლობით განკუთვნილია ნაგლინის მასობრივი წარმოებისათვის, არანაკლებ 500 000 ტ/წელიწადში. ავტორის აზრით შესაძლებელი და მიზანშეწონილია მანქანათა ასეთი კომპლექსი: ბლუმსების უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარი – შემთბობი ღუმელი – გასავლელი რადიალურ-საჭედი მანქანა SDR 30 – გასავლელი რადიალურ-საჭედი მანქანა SDR 12. აღნიშნული მანქანების კომპლექსი უზრუნველყოფს მრგვალი პროფილების დიამეტრით - , კვადრატების - ზოლურას - 4X30 30X130, ექვსკუთხედის - 16 46 მიღებას. სულ გათვალისწინებული იქნება 300 ტიპზომის პროფილი წლიური პროგრამით 130- 200 ტონა წელიწადში [5].

ლ.ვ. შირინკინი თავის ნაშრომში აღწერს ასევე ახალი ტიპის მანქანებს, რომლებიც განკუთვნილია ზომიერძედი ცვლადი განივი კვეთის ღრუ ნამზადების რადიალური ჭედვისათვის. ეს მძლავრი მანქანებია, რომლებიც განავითარებენ ძალას 340-300 ტონას თითოეული საცემელზე. მანქანები აღჭურვილია მბრუნავი ცხელი საცივებელი სამართულების გადაადგილების მექანიზმით. ამჟამად ასეთი მანქანები მუშაობენ აშშ-ში,

ბრიტანეთში, ჩინეთში. ამ მანქანების გამოშვება 1974 წლიდან დაიწყო ავსტრიულმა ფირმამ “GFM”.

როგორც ავტორი აღნიშნავს, ამჟამად შესრულებულია დიდი სამუშაოები რადიალურ-საჭედი მანქანების სტანდარტიზაციაში. ავტორს მოჰყავს ცხრილი, რომელშიც მოცემულია რადიალურ-საჭედი მანქანების სტანდარტული პარამეტრები. ნაშრომის ბოლოს ავტორის მიერ ჩამოთვლილია ქვეყნები, რომლებშიც ხდება ავსტრიული ფირმის “GFM” მანქანების იმპორტირება. ესენია, განვითარებული ქვეყნები: გერმანია, აშშ, იტალია, საფრანგეთი, ინგლისი, იაპონია, აგრეთვე, ჩინეთი, კორეა, ჩეხეთი და სხვა.

ტ.ვ. მაშტაკოვას სტატიაში განხილულია რადიალურ-საჭედი მანქანების მართვის სისტემების რეჟიმები, კერძოდ პროგრამირებული მართვა ავტომატურ რეჟიმში. აღწერილია რადიალური ჭედვის პროცესის მართვის პროგრამული კოდის შედგენის პროცედურა, მოცემულია ავტომატური მართვის ალგორითმები. ავტორი აგრეთვე იძლევა რეკომენდაციებს, რათა ეგმ-ის გამოყენებით შესაძლებელი იყოს ღერძსიმეტრიული დეტალების კონუსური უბნების დამუშავება ავტომატურ რეჟიმში, ანუ როგორ შეიძლება პროცესის მიმდინარეობა, როცა ტექნოლოგი მიუთითებს მხოლოდ დეტალის საბოლოო ზომებს, ხოლო ავტომატური სისტემა თვითონ ირჩევს დამუშავების რეჟიმს. ავტორის მიერ აღწერილი ახალი პროგრამა საშუალებას იძლევა რადიალურ-საჭედი დანადგარის თითქმის ყველა პარამეტრის, მათ შორის დარტყმის ძალის გაზომვას, რათა შემდგომ განხორციელდეს პროცესის მართვა, კერძოდ რადიალური საჭედი მანქანის მიმწოდებელი მექანიზმის სიჩქარის მდოვრე უსაფეხურო ცვლილება, საცემელების რხევების სიხშირის რეგულირება. ავტორის შეხედულებით რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის მომზადების დროს მნიშვნელოვანი დრო იხარჯება ნაჭედის ნახაზის შედგენაზე, საწყისი ნამზადის, ინსტრუმენტის, აღჭურვილობის, რადიალური მოჭიმვის სქემის შერჩევაზე და მართვის პროგრამის

შედგენაზე. ამასთან დაკავშირებით წარმოიშობა აუცილებლობა, რათა შეიქმნას რადიალური ქედვის ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზებული დაპროექტების კომპლექსური სისტემა, ასევე ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის ხარჯზე მოხდეს დაპროექტების ხარისხის ამაღლება, რაც შესაძლებელია მხოლოდ ლითონების წნევით დამუშავების დარგში უახლესი მიღწევების ათვისების შედეგად. ავტორი აღნიშნავს, რომ მართვის პროგრამის შედგენის დროს აუცილებელია არა მხოლოდ რადიალური მოჭიმვის სქემის სწორი შერჩევა, არამედ სატაცების და საცემელების სწორი განლაგება დამუშავების ყველა ეტაპზე. რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზებული დაგეგმვის კომპლექსური სისტემის შექმნა უზრუნველყოფს რადიალური ქედვის ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევას, დაგეგმარების ვადების რამოდენიმეჯერ შემცირებას და მართვის პროგრამების ხარისხის ამაღლებას [6].

ინტერესს წარმოადგენს ვ.ა. როსტოვიკოვის ნაშრომი, რომელიც ეხება მილესებრი ნაჭედების ცხელი რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგიას და მოწყობილობას. ავტორი აღნიშნავს, რომ ცხელი რადიალური მოჭიმვის უპირატესობანი ყველაზე უფრო სრულად გამოვლინდება რთული პროფილის ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების ქედვის დროს – მხედველობაშია მსხვილი ფოლადის ნაკეთობები მასით 1 დან 20 ტონამდე – საფეხურებიანი ლილვები და ღერძები, მაღალი წნევის სქელკედლიანი მილები, ცილინდრული და კონუსური ფორმის. ამ ნაკეთობების მილების ტრადიციული ხერხები – ქედვა პრესებზე, ცენტრიდანული ჩამოსხმა ხასიათდება მაღალი ლითონტევადობით და არ პასუხობს გაზრდილ მოთხოვნებს საექსპლუატაციო თვისებების მიმართ. ავტორი აღნიშნავს, რომ აღნიშნული ნაკეთობების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ამაღლება შესაძლებელია სპეციალური ხელსაწყოებით აღჭურვილ რადიალურ-საჭედ მანქანებზე. აქ მხედველობაშია ცხლადსაცივებელი მოკლე სამართულების გამოყენება ღრუ ნაჭედების მილებისას. ნაშრომში

მოყვანილია რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური სქემები, რომლებშიც მილის ნაჭედის მიღება ხდება ერთი და ორი სამართულით. ინტერესს წარმოადგენს ავტორის მიერ შესრულებული მილების ნაჭედების მიღების ტექნოლოგიური სქემების კლასიფიკაცია. ეს კლასიფიკაცია საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ამა თუ იმ ტექნოლოგიური სქემის შერჩევის მიზანშეწონილობა. კლასიფიკაციაში მოცემული ტექნოლოგიური სქემის რეალიზაციისათვის შემოთავაზებულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის აღჭურვილობის ტიპები და ამ მანქანის ბაზაზე შექმნილი ტექნოლოგიური კომპლექსის აღწერა. ეს კომპლექსი შეიცავს რგოლურ მეთოდურ ღუმელს, რადიალურ-საჭედ მანქანას ციფრული პროგრამირებული მართვით და პროცესის სრული მექანიზაციისათვის საჭირო მოწყობილობას, რაც უზრუნველყოფს ზუსტი ღერძსიმეტრიული დეტალების დამზადებას [7].

ვ. ლაზორკინის და ავტორების სტატიაში სწრაფმჭრელი ფოლადების ნამზადების და სხმულების რადიალური ჭედვის კვლევის შედეგებია ასახული. ავტორების მიერ შემუშავებულია რადიალური ჭედვის ხერხი ნამზადის მომეტებული მიწოდებით, რამაც უზრუნველყო პროცესის მწარმოებლობის გაზრდა. მათი აზრით რადიალური ჭედვის ტრადიციული მეთოდის მთავარ თავისებურებას წარმოადგენს ლითონის განივი განდევნის არარსებობა, ლითონის ნაკადები სიმეტრიულადაა განაწილებული ნამზადის ღერძის მიმართ. ლითონის ასეთი უპირატესი დინება, საკმარისი გაფართოების გარეშე და მცირე ერთეული მოჭიმვების პირობებში ვერ უზრუნველყოფს ლითონის სტრუქტურის ინტენსიურ დამუშავებას. ავტორების მიერ შემუშავებულ ხერხში, რომელშიც ნამზადზე დეფორმაციის დროს წარმოიქმნება ხრახნული გამონაშვერები და შემდგომ ხდება მათი დეფორმაცია, წარმოიქმნება ლითონის დამატებითი მიკროძვრებიწრიული მიმართულებით, რის შედეგად ყოველივე ერთეული მოჭიმვისას ლითონი გარდა ძირითადი მიმართულებისა, დამატებით გადაინაცვლებს ტანგენციური მიმართულებით. ასეთი გადაადგილებების დაგროვება იწვევს ლითონის ბოჭკოვანი სტრუქტურის დაგრებას ნამზადის

ღერძის ირგვლივ, რაც ძალიან ხელსაყრელია მისი მექნიკური თვისებების გაუმჯობესებისათვის. სტატიაში აღწერილია ჭედვის პროცესის ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდოლოგია და მოყვანილია ძირითადი შედეგები და დასკვნები. დადგენილია, რომ ლითონის მიკროსტრუქტურის დაგრეხა ცვლის მისი ანიზოტროპის ღერძების ორიენტაციას ნამზადის განივ კვეთში. ანიზოტროპის ცვლილება, რომელიც მიღწეულია ლითონის მიკროდინებების რეგულირებით უზრუნველყოფს მისი მექნიკური და საექსპლუატაციო თვისებების ამაღლებას. ასე, მაგალითად, ლეგირებული ფოლადის მრგვალი ნამზადის რადიალურმა ჭედვამ გაზრდილი მიწოდებით, ჭედვის ტრადიციულ ტექნოლოგიასთან შედარებით, გაზარდა სიმტკიცის ზღვარი და დარტყმითი სიბლანტე თითქმის 1,5-ჯერ. როგორც აღიშნავენ ავტორები, უფრო ინტენსიურმა რადიალურმა მოჭიმვამ შეცვალა ჭედვის ტემპერატურული რეჟიმი – დეფორმაციის თბური ეფექტის გამო ნამზადის ზედაპირული ტემპერატურა თითქმის 1000-ით უფრო მაღალი ხდება, რაც საშუალებას იძლევა დამუშავდეს სხმულები უფრო ვიწრო ტემპერატურულ ინტერვალში, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დაბალპლასტიკური ლითონებისა და შენადნობებისათვის, და ამით აცილებული იქნას ლითონის ზედაპირული ფენის გადაცივება და ბზარების გაჩენა. ავტორების აზრით, რადიალური ჭედვა მომეტებული მოჭიმვებით უზრუნველყოფს არა მხოლოდ პროცესის მაღალ მწარმოებლობას, არამედ საგრძნობლად აუმჯობესებს ნაჭედების ხარისხს [8].

ნამშრომში შემოთავაზებულია ნახვრეტიანი ნაჭედების მიღების ახალი ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც შედგება ღრუ ცილინდრული სხმულის ჩამოსხმის და მათი რადიალური ჭედვის ოპერაციებისაგან. პროცესის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ჩამოსხმის დროს ნამზადის სიღრუვის მისაღებად გამოყენებული იყო მილისებრი ღერო, რომელიც ამოვსებული იყო სპეციალური შემავსებლით, რამაც შეამცირა სხმულის შიგა ზედაპირზე ბზარების გაჩენის შესაძლებლობა. სხმულის

კრისტალიზაციის შემდეგ ხდებოდა შემავსებლის მოშორება, ხოლო მასში ჩარჩენილი მილისებრი ღერო, რომელიც დამზადებული იყო რბილი დაბალნახშირბადიანი ფოლადისაგან, შემდგომ სხმულის რადიალური ჭედვის დროს ასრულებდა თავისებური შეზეთვის როლს სამართულსა და დეფორმირებად ლითონს შორის. სტატიაში აღწერილია ნაჭედის დეფორმირებული მდგომარეობის ექსპერიმენტული შესწავლის მეთოდიკა. ამისათვის გამოყენებული იქნა მოდელური ნამზადი, რომელშიც შიგნით ჩატანილი იყო საკოორდინატო ბადე. ამ ბადის მეშვეობით დეფორმირებულ ნამზადში ადგენდნენ დეფორმაციების ინტენსივობას და ძაბვებს ნამზადის სხვადასხვა უბანებში. ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ შემუშავებული ტექნოლოგია უზრუნველყოფს სქელკედლიანი მილისებრი ნამზადების მიღებას ოპერაციათა მინიმალური რაოდენობით და ლითონის 15-20%-იან ეკონომიას [9].

სტატიაში განხილულია ტრაქტორის ლილვების ფორმირების ტექნოლოგია რადიალური ჭედვის გამოყენებით. აღნიშნულია, რომ ჭედვის ტრადიციული მეთოდის გამოყენების დროს ლითონის დანა-კარგები 40-50%-ს შეადგენს, ლითონის გამოყენების კოეფიციენტი 0,50- ს არ აღემატება, ხოლო ახალი ტექნოლოგიის შემთხვევაში ლითონის გამოყენების კოეფიციენტი 0,70-0,75 აღწევს. სტატიაში აღწერილია ნაჭედების ფორმის წარმოქმნის ორი სქემა: პირველი, როცა ნამზადის დამჭერი თავი მიწოდების დროს გადაადგილდება საცემელებისაკენ და მეორე სქემა, როცა დამჭერი თავი მოძრაობს საცემელებიდან. მეორე სქემა უფრო მიზანშეწონილია ნაჭედის ღერძის გამრუდების აცილების მიზნით. აღნიშნულია, რომ ფორმაწარმოქმნის რეჟიმი დამოკიდებულია დეფორმაციის ხარისხზე, მოჭიმვის სიდიდეზე, ნამზადის მიწოდების სიჩქარეზე, ინსტრუმენტის გეომეტრიულ პარამეტრებზე და მისაღები ნაკეთობის კონფიგურაციაზე [10].

ჭედვის ტექნოლოგიის გამართვის დროს გამოყენებულია იქნა სხვადასხვა ფორმის საცემელები – ბრტყელზედაპირიანი, ამოჭრილი, რადიუსიანი.

სტატიაში მოყვანილია აგრეთვე ექსპერიმენტული კვლევების მონაცემები, რის შედეგად დადგინდა, რომ ცხელი რადიალური მოჭიმვა დეფორმაციის ხარისხით 18%-მდე არ იწვევს ლითონის სტრუქტურის მარცვლების ცვლილებას.

საბოლოოდ გაკეთებულია დასკვნები იმის შესახებ, რომ თანამედროვე რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენებით შესაძლებელია ტრაქტორ 701-ის M ლილვების ჭედვა მინიმალური ნამეტებით და ლითონის მაღალი ხარისხით. მიზანშეწონილია ორმხრივ-რადიუსიანი ან ამოჭრილი საცემელების გამოყენება.

სტატიაში განხილულია ბაქოს მანქანათსაშენ ქარხანაში ექსპლუატაციაში მყოფი რადიალურ-საჭედი მანქანების მუშაობა. აღნიშნულ ქარხანაში ფუნქციონირებს ექვსი რადიალურ-საჭედი მანქანა, რომლებიც გამოშვებულია ავსტრიული ფირმის “GFM”-ის მიერ. ეს მანქანები ძირითადად გამოიყენება საბურღი დანადგარების ცილინდრული ფორმის დეტალების საჭედად. საწყის ნამზადად გამოიყენება ცხლადნაგლინი მილები [11].

სტატიაში შესრულებულია ქარხანაში არსებული ტექნოლოგიის მოკლე ანალიზი, ჩამოთვლილია მისი ნაკლოვანებები და დასახულია მათი აღმოფხვრის გზები. ავტორების მიერ ამ მოწყობილობების დატვირთულობის კოეფიციენტის ამაღლებისა და მწარმოებლობის გაზრდის მიზნით შესაძლებელია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის, კერძოდ სამართლებების სრულყოფის ღონისძიებები. მილისებრი ნამზადების რადიალური მოჭიმვის პროცესის გაუმჯობესებისათვის შემუშავებულია საცემელების ახალი კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს მოჭიმვების

ინტენსივობის გაზრდას და აქედან გამომდინარე, რადიალური-საჭედი მანქანის მწარმოებლობის ამაღლებას.

სტატიაში შემოთავაზებულია ახალი კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედი მანქანა, რომელიც აღჭურვილია ციკლური პროგრამული მართვის სისტემით. მანქანა განკუთვნილია საფეხურებიანი ლილვების და ღერძების ცხელი რადიალური ჭედვისთვის. შესაძლებელია მანქანის გამოყენება წნელების და მილების დაკალიბრებისათვის. დასამზადებელი დეტალების სიზუსტე გამოდის მეტი, ვიდრე ნამზადის სიზუსტეა. მანქანა, ფაქტობრივად, წარმოადგენს ციკლური პროგრამით მართვად ავტომატს. მანქანის შემადგენლობაში შედის სამჭედლო ბლოკი, დამჭერი თავი (მანიპულატორი), საცემელების მიახლოების მექანიზმი, ნამზადის ჩატვირთვის და ნაკეთობის გადმოტვირთვის მექანიზმები [12].

რადიალური ჭედვის პროცესთან დაკავშირებული ლიტერატურული წყაროებიდან ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ნაშრომია ი.ს. რადიუჩენკოს მონოგრაფია “როტაციული ჭედვა”, რომელშიც ჩამოყალიბებულია პროცესის თეორიული საფუძვლები, როტაციული და რადიალური ჭედვის თავისებურებები და განვითარების პერსპექტივები, მოყვანილია დეფორმირების ძალების განსაზღვრის მეთოდიკა, განხილულია მომჭიმავი მანქანების და მიმწოდებელი მექანიზმების კონსტრუქციები, ავტორის მიერ შემუშავებული რადიალური ჭედვით მისაღები დეტალების კლასიფიკაციის საფუძველზე, წარმოდგენილია ტექნოლოგიური პროცესის ანგარიშის მეთოდიკები, ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის და აღჭურვილობის კონსტრუქციები. მოყვანილი როტაციული და რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური საკითხები [13].

მონოგრაფიაში გაშუქებულია შემდეგი საკითხები:

1. როტაციული მოჭიმვის პროცესის თავისებურებანი და ზოგადი ცნებები;



2. როტაციული და რადიალური მოჭიმვის პროცესის ძირითადი პარამეტრები და მათზე მოქმედი ფაქტორები. რადიალური მოჭიმვის დროს დამაბული მდგომარეობა და დეფორმაციის მექანიკური სქემა;
3. როტაციული და რადიალურ-მომჭიმი მანქანების კლასიფიკაცია და კონსტრუქციები. როტაციული და რადიალურ-საჭედი მანქანების დეტალების და კვანძების გაანგარიშება, რეკომენდაციები მანქანების და კვანძების შერჩევისა და დაპროექტებისათვის;
4. როტაციული და რადიალური მოჭიმვის ტექნოლოგიის ძირითადი საკითხები. როტაციული ჭედვით მიღებული დეტალების კლასიფიკაცია. ტექნოლოგიური პროცესის დაგეგმარების თავისებურებანი;
5. ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის – საცემელების, სამართულების კონსტრუირება, დამზადება და რემონტი;
6. როტაციული და რადიალურ-საჭედი მანქანების გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობა. განხილულია მეთოდის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. შესრულებულია როტაციული და რადიალური ჭედვის შედარება ლითონების დამუშავების სხვა პროგრესულ მეთოდებთან.

მონოგრაფია ძირითადად განკუთვნილია როტაციული და რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქტორებისა და დამპროექტებლებისათვის, აგრეთვე დარგის ინჟინრებისათვის და ტექნოლოგებისათვის, რომლებიც დაკავებული არიან ამ მანქანების ექსპლუატაციით.

ი.ს. რადიუჩენკოს მეორე მონოგრაფიაში განხილულია რადიალური და როტაციული მოჭიმვის ისეთი მნიშვნელოვანი ასპექტები, როგორცაა დეფორმაციის ძალებისა და პროცესის მექანიკური სქემის ანალიზი. წიგნში შემოთავაზებული ანალიზური ფორმულები დეფორმაციის ძალების

განსაზღვრისათვის, განხილულია პროცესის კინემატიკა და მისი გავლენა ინსტრუმენტის პროფილის ზომების ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის [14].

წიგნში მოცემულია როტაციული და რადიალურ-საჭედი მანქანების კლასიფიკაცია, რეკომენდაციები ამ მანქანების შერჩევისათვის და დაპროექტებისათვის, განხილულია ძირითადი ტენდენციები მომჭიმი მანქანების სრულყოფისათვის. მნიშვნელოვანი ადგილი აქვს დათმობილი წიგნში პროცესის ტექნოლოგიას. განხილულია რადიალური ჭედვით მისაღები დეტალების კლასიფიკაცია, მათი დამუშავების ძირითადი მეთოდების და ხერხების დახასიათება, მოთხოვნები ნამზადებისა და დასამუშავებელი დეტალების მიმართ. აღწერილია ცილინდრული და კონუსური ფორმის, მთლიანი და ღრუ დეტალების დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები, მათ შორის ტექნოლოგიური ოპერაციები, რომლებიც დამახასიათებელია მხოლოდ როტაციული მოჭიმვისათვის. წიგნში შემოთავაზებულია როტაციული მოჭიმვის პროცესის მექანიზაციის და ავტომატიზაციის საკითხების გადაწყვეტის რეალური გზები. განხილულია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის – საცემელების და სახაზავების კონსტრუირების საკითხები, მასალების შერჩევა ინსტრუმენტებისათვის, ინსტრუმენტის დამზადების და რემონტის ხერხები.

განსაკუთრებით საინტერესოა წიგნში მოყვანილი რიცხოვრივი მაგალითები, რომლებიც ეხება ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრების გაანგარიშებას. ბოლო პარაგრაფში განხილულია რადიალური და როტაციულ-საჭედი მანქანების გამოყენების ეკონომიკური მიზანშეწონილობის საკითხები.

ძალიან მნიშვნელოვანია ვ.ი. ლიუბვინის მონოგრაფია, რომელიც მიძღვნილია როტაციული მოჭიმვით დეტალების დამუშავების პროცესისადმი. წიგნში განხილულია როტაციული მოჭიმვის პროცესის

თეორიული საფუძვლები, ლითონის დეფორმაცია მოჭიმვის სხვადასხვა სახეობების დროს, როტაციულ-მომჭიმი მანქანების სქემები და მათზე მუშაობის რეჟიმები [15].

განსაკუთრებული ყურადღება წიგნში ეთმობა ინსტრუმენტის – საცემელების, მატრიცების, სამართულების პროფილების, არსებული როტაციული მანქანების კონსტრუქციების აღწერას, მათი მოქმედების პრინციპის განხილვას.

მნიშვნელოვანია როტაციული მოჭიმვის პროცესის კინემატიკის და დინამიკის ანალიზი, წიგნში მოცემულია ელექტროძრავას შერჩევის მეთოდიკა, მქნევარას ზომების დასადგენი ფორმულები, როტაციულ-საჭედი მანქანების ძირითადი მუშა პარამეტრების გაანგარიშების საერთო მეთოდიკა.

წიგნში განხილულია როტაციული მოჭიმვის პროცესის ტექნოლოგიური თავისებურებანი, მათ შორის პროცესის გამოყენების შესაძლებლობანი, დეფორმაციის გავლენა ლითონის სტრუქტურაზე და მექანიკურ თვისებებზე.

წიგნის დასკვნით ნაწილში განხილულია გორგოლაჭიანი როტაციულ-საჭედი მანქანები – ერთშპინდელიანი და მრავალშპინდელიანი, როტაციულ-საჭედი ავტომატები, მოცემულია როტაციულ-საჭედი დგანის ორიგინალური სქემა.

წიგნი განკუთვნილია კონსტრუქტორების და ტექნოლოგებისათვის, რომლებიც მუშაობენ ლითონების წნევით დამუშავების დარგში.

## 1.2. საქართველოს მეცნიერების ნაშრომების მიმოხილვა

ქართულ სამეცნიერო ლიტერატურაში აღწერილია კვლევები, რომლებიც დაკავშირებულია რადიალური ჭედვის პროცესთან და მოწყობილობასთან.

ქართველი ავტორებისაგან აღსანიშნავია პროფესორ მ. მიქაუტაძეს შრომები, სადაც განხილულია რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები. ძალზე საფუძვლიანად ეს საკითხი განხილულია მ. მიქაუტაძის სადოქტორო დისერტაციაში [16].

სადისერტაციო ნაშრომში გაანალიზებულია საადიდვო მილნამზადების რადიალური ჭედვის მეთოდები და მანქანების შესაბამისი კონსტრუქციები. ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ მილნამზადების ბოლოების ჭედვის მეთოდები და მანქანები არ გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლობით, რთული და ძვირადღირებულია ექსპლუატაციაში და ამ პროცესის კვლევა და სრულყოფა, ხოლო მანქანების მოდერნიზაცია წარმოადგენს ძალზე აქტუალურ სამეცნიერო-ტექნიკურ პრობლემას.

სადისერტაციო ნაშრომში გადაწყვეტილია საკითხები, რომლებიც ეხება მილნამზადების ადიდვის წინ მოჭედვის ტექნოლოგიურ ოპერაციას ძირითად ტექნოლოგიურ პარამეტრებთან კავშირში, შემოთავაზებულია ახალი ხერხები, რომლებიც მკვეთრად აუმჯობესებენ აღნიშნული ოპერაციის მაჩვენებლებს.

დისერტაციაში თეორიულად გადაწყვეტილია მილნამზადების მოჭედვის დროს წარმოქმნილი ძალების განსაზღვრის ამოცანა. შემოთავაზებულია გორგოლაჭიანი ექსპერიმენტული მატრიცის კონსტრუქცია, დადგენილია გორგოლაჭების სასურველი რაოდენობა და დეფორმაციის მნიშვნელობა მილნამზადის გაფართოებასთან დამოკიდებულებაში. კვლევის შედეგები გამოყენებულია სამრეწველო მანქანის და ტექნოლოგიური აღჭურვილობის შექმნისთვის, რომელიც

საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ მიღების ბოლოების მოჭედვა ცივ მდგომარეობაში. ეს ძალიან ეკონომიური პროცესია, რადგან ის არ მოითხოვს ლითონის გახურებას და მასთან დაკავშირებულ საღუმელე დანადგარებს.

ნაშრომში დადგენილია მილნამზადების რადიალური ჭედვის პროცესის შემდგომი განვითარების გზები. დამუშავებულია ორიგინალური კონსტრუქციის მაღალმწარმოებლური რადიალურ-საჭედი მანქანა. თეორიულად შესწავლილია მანქანის დინამიკა, მიღებულია ფორმულები ძალოვანი პარამეტრების განსაზღვრისათვის მანქანის მუშა ელემენტებში.

მნიშვნელოვან ინტერესს წარმოადგენს თ. ჩხაიძის სადისერტაციო ნაშრომი, რომელიც ეძღვნება რთული პროფილის ნაკეთობების ფორმარმოქმნის რადიალური ჭედვის პროცესის და მოწყობილობის კვლევას და შემუშავებას. კერძოდ, სამუშაოში განხილულია საზეინკლო ინსტრუმენტების – ჯვარედინა სახრახნისების პლასტიკური დეფორმირებით მიღება რადიალურ საჭედ მანქანებზე [17].

სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებულია აღნიშნული ინსტრუმენტების მიღების სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესები და დადგენილია, რომ ამ მიზნისათვის ყველაზე ხელსაყრელია როტაციული ან რადიალური ჭედვა. დისერტაციაში შესრულებულია რადიალური ჭედვის პროცესის დეფორმაციის კერის შესწავლა, კონკრეტულად შესწავლილია დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, რისთვისაც გამოყენებული იქნა საკოორდინატო ბადეების მეთოდი. სპეციალურად შეიქმნა ექსპერიმენტული სტენდი, რომელიც შეიცავდა როტაციულ თავს და სპეციალურ გამზომ მოწყობილობას. ძალის გაზომვა ხდებოდა სპეციალური დინამომეტრით, ხოლო ძალის გრაფიკის ჩაწერა – ოსცილოგრაფზე.

დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი ხდებოდა ძვრის მეთოდის გამოყენებით. ამ მეთოდის საფუძველზე აგებულ იქნა ძვრის ხაზების ველი დეფორმაციის კერაში და გრაფო-ანალიზური ხერხით

გამოთვლილ იქნა დეფორმაციის ძალა, რომლის მნიშვნელობა საკმარისი სიზუსტით დაემთხვა ექსპერიმენტულ მნიშვნელობას.

დეფორმირებული მდგომარეობა შესწავლილ იქნა ინსტრუმენტის გეომეტრიული პარამეტრებისა და დეფორმაციის ხარისხთან დამოკიდებულებაში.

დისერტაციაში მოყვანილია აგრეთვე რადიალური ჭედვით და ჭრით მიღებული ინსტრუმენტების შედარებითი ანალიზი, რომელმაც დაადასტურა პლასტიკური დეფორმაციის უპირატესობა ჭრის პროცესთან შედარებით. მიღებული შედეგების საფუძველზე ავტორის მიერ შემუშავებული იქნა ნახევრადავტომატური დანადგარი ჯვარედინა სახრახნისების რადიალური ჭედვით მისაღებად. შემუშავებულია აგრეთვე ორიგინალური ტექნოლოგიური აღჭურვილობა წვრილი შლიციანი ჭანჭიკების დამზადებისათვის, ინსტრუმენტის ახალი კონსტრუქცია.

დისერტაციაში შესრულებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები და მიღებული შედეგები წარმოადგენს მნიშვნელოვან წვლილს რადიალური ჭედვის პროცესის შემდგომ განვითარებაში.

ს. მეზონიას სადისერტაციო ნაშრომში მნიშვნელოვანი ნაწილი მიძღვნილია რადიალური საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციების განხილვას. დადგენილია, რომ რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის მილადიდავ საამქროში მოქმედი რადიალურ-საჭედი მანქანები კონსტრუქციულად ძალზე რთულია და მუშაობაში არასაიმედო. ავტორის მიერ შემუშავებულია მილნამზადების მოქმედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები, რომლებსაც აქვს საცემელების მოძრაობაში მოყვანის სოლურ-ბერკეტული მექანიზმი [18]. მანქანები გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და ხანგრძლივი მუშაობით რემონტიდან რემონტამდე, რაც განპირობებულია მანქანის პრინციპიალური სქემით, რომელიც გამორიცხავს არასასურველი ძალების მოქმედებას და ამცირებს დეტალების ცვეთას. რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში დანერგილი იყო ასეთი

მანქანების სამი ტიპი: მცირე მანქანა (დეფორმირების ძალა 25ტ), საშუალო (45ტ) და დიდი მანქანა (60ტ).

ავტორის მიერ შემოთავაზებულია აგრეთვე სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანა, რომელსაც აქვს ექსცენტრულ-კულისური ამძრავი, რაც საშუალებას გვაძლევს მკვეთრად ავამაღლოთ საცემელების რხევითი სიხშირე იმისთვის, რომ მოვახდინოთ ძნელად დეფორმირებადი მაღალლეგირებული ფოლადების და მათი შენადნობებისაგან დამზადებული მილების დამუშავება და მთლიანად გამოვიყენოთ აღნიშნული მასალების პლასტიკურობის რესურსი.

დისერტაციაში შემოთავაზებულია აგრეთვე მილების ბოლოების დამფორმირებელი მოწყობილობა, რომელიც ჩართულია უშუალოდ მარედუცირებელი დგანის ხაზში, რაც გვაძლევს იმ დადებით ეფექტს, რომ არ არის საჭირო მილების გახურება ჭედვის წინ და თვით მოწყობილობა გამარტივებულია, რადგანაც არ არის საჭირო მილნამზადების მიმწოდებელი მექანიზმი.

რადიალურ-საჭედი მოწყობილობების ანგარიშის სრულყოფის მიზნით ავტორის მიერ ჩატარებულია თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები. დამუშავებულია დარტყმითი დატვირთვების ანგარიშის საინჟინრო მეთოდიკა, რომლის გამოყენება გათვლებში საშუალებას გვაძლევს საკმარისი სიზუსტით გამოვიანგარიშოთ დარტყმის ძალები რადიალურ-საჭედი მანქანების კვანძებში და დეტალებში.

ჩატარებულია აგრეთვე დარტყმითი ძალების გაზომვა მოქმედ რადიალურ-საჭედ მანქანებზე. ექსპერიმენტებისათვის გამოყენებულია ტენზომეტრიული მეთოდი. ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ დარტყმის ძალა ერთნაირადაა დამოკიდებული ისეთი ფაქტორებზე, როგორცაა ლითონის ტემპერატურა და საცემელების მუშა ზედაპირის კუთხე.

კ. უშვერიძის დისერტაციაში შესრულებულია მილნამზადების თავების მოჭედვის პროცესის კომპლექსური კვლევა – შესწავლილია დეფორმაციის შესაძლო სქემები და მათი რეალიზაციის პირობები, დეფორმაციის კერის პარამეტრები, მოქმედი ძაბვები და ძალები. შემუშავებულია რადიალურ-საჭედი მანქანის ახალი კონსტრუქცია და შესაბამისი ინსტრუმენტისა და მოწყობილობების გათვლის მეთოდიკა [19].

რადიალურ მანქანაზე მოჭედვის დროს დადგენილია მილნამზადების წინა თავების დეფორმირების პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები და შესაბამისად მოჭედვის ბუნებრივი პროცესის ანუ ღერძული ძალების გარეშე დეფორმირების სასაზღვრო ზედაპირები. მიღებულია განტოლებები კედლის სისქის გასქელების საანგარიშოდ მილნამზადის საწყისი მრგვალი პროფილის რელეს სამკუთხედში გასავლისას. მათემატიკური დაგეგმის მეთოდების გამოყენებით დადგენილია დეფორმაციის პარამეტრებისა და ღერძული ძალის მნიშვნელობები, თავისუფალი ჭედვის საზღვრები და პროცესის პარამეტრების მართვის შესაძლებლობა.

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დადგენილია მილნამზადის ინსტრუმენტის მიწოდების რეჟიმის გავლენა დეფორმაციულ პარამეტრებზე.

ავტორის მიერ შესრულებულია მილნამზადების თავების მოჭედვის ხერხებისა და მოწყობილობების ანალიზი, განხილულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში ლითონის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესაძლო სქემები, დადგენილია კავშირი ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის. მილისებრი ელემენტების დეფორმაციისათვის მიღებულია ი. პავლოვის ჰიპერბოლა, რაც საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ შეფარდება მილნამზადის თავის გრძივ და განივ დეფორმაციებს შორის ანუ მილის გაჭიმვასა და კედლის გასქელებას შორის.



დისერტაციაში განხილულია მილნამზადის სატაცი თავის ფორმის ოპტიმიზაცია, დადგენილია, რომ სატაცი თავის ყველაზე უფრო ხელსაყრელ კონფიგურაციას წარმოადგენს `რელის სამკუთხედთან` მიახლოებული განივკვეთი. მიღებულია საანგარიშო ფორმულები, მილნამზადის კედლის სისქის გასაანგარიშებლად `რელის რგოლის` პერიმეტრზე, რაც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ მილის კედლის სისქის ცვლილება პროცესის პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებაში და ისე წარვმართოთ დეფორმაციის პროცესი, რომ არ მოხდეს ლითონის გადინება საცემებს შორის ღრეჩოებში, რითაც მიღწეული იქნება ლითონის მაქსიმალური ეკონომია.

ავტორის მიერ ექსპერიმენტის დაგეგმვის მეთოდების გამოყენებით მიღებულია მათემატიკური მოდელები, რომლებიც ასახავენ ღერძული ძალის დამოკიდებულებას პროცესის პარამეტრებისაგან და ამის საფუძველზე დადგენილია თავისუფალი ჭედვის ზონის სასაზღვრო პირობები. მიღებულია ამ ზონის ამსახველი დიაგრამები, რომლებზედაც პარამეტრების საკოორდინატო სისტემაში აგებულია სასაზღვრო ზედაპირები. ეს საშუალებას გვაძლევს ისე შევარჩიოთ პროცესის პარამეტრები, კერძოდ ინსტრუმენტის კონუსურობის კუთხე, მილნამზადის მიწოდების ბიჯი და სხვა, რომ ადგილი არ ჰქონდეს ღერძული ძალების მოქმედებას დეფორმაციის კერაში ანუ მიღწეული იქნას მოჭედვის ბუნებრივი პროცესი.

შემოთავაზებულია აგრეთვე მოჭედვის პროცესის პარამეტრების ოპტიმიზაცია სატაც თავში გადასული ლითონის მოცულობის მინიმიზაციის პირობიდან გამომდინარე, რაც უზრუნველყოფს ლითონის დანაკარგების შემცირებას.

დისერტაციის ერთი თავი მთლიანად ეძღვნება მილნამზადების მოჭედვის პროცესის ექსპერიმენტალურ კვლევას. მიღებულია საანგარიშო ფორმულა, რომელიც აკავშირებს მილნამზადის სატაცი თავის სიმტკიცეს,

პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრთან, რაც საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სატაცი თავის სიმტკიცის შეფასება. დადგენილია, რომ ნამზადის დეფორმაციის კერაში მიწოდების ბიჯის შემცირება ზრდის მოჭედული თავის სიმტკიცეს, რაც უფრო სტაბილურს ხდის ადიდვის პროცესს.

დისერტაციაში მოყვანილია მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის პროფილის ოპტიმალური ზომების ანგარიშის მეთოდოლოგია. მიღებულია საანგარიშო ფორმულები, რომლებიც ითვალისწინებენ მრავალ ფაქტორს, კერძოდ მოჭიმვის ხარისხს, საცემის სიგრძეს, ხახუნის კოეფიციენტს. შემოთავაზებულია საცემის ახალი კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს მილნამზადების სატაცი თავების ხარისხოვან მოჭედვას.

ავტორის მიერ განხილულია როტაციული და რადიალური საჭედი მანქანების თანამედროვე კონსტრუქციები. ამ მანქანების კონსტრუქციების ანალიზის საფუძველზე ავტორის მიერ შემუშავებულია ახალი რგოლური ტიპის რადიალური საჭედი მანქანა, რომელიც მუშაობს მდორედ, უხმაუროდ და გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და ეკონომიურობით.

სტატიაში მოცემულია დარტყმითი ურთიერთქმედების ძალების შეფასება შლიცინი ნაკეთობების ფორმაწარმოქმნის დროს რადიალური ჭედვის მეთოდით. დარტყმის ფენომენოლოგიური თეორიის საფუძველზე მიღებულია დარტყმის მაქსიმალური ძალის განმსაზღვრელი მათემატიკური ფორმულა. ამ ფორმულის ანგარიშით დადგენილია, რომ დარტყმის ძალა თითქმის 35%-ით აღემატება სტატიკური დატვირთვის ძალას, ამიტომ განხილულ პროცესში ინსტრუმენტისა და ნამზადის ძალური ურთიერთობის ანგარიშში დარტყმითი ძალების გათვალისწინება აუცილებელია [20].

სტატიაში განხილულია მილნამზადის რადიალური მოჭედვისას დარტყმითი ურთიერთქმედების ძალების განსაზღვრის მეთოდები. მოყვანილია დარტყმის ძალების განსაზღვრის მეთოდი დარტყმის

ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე, იმავე განტოლების გამარტივებული ვარიანტის ამოხსნის მეთოდით, დარტყმის ძალის განსაზღვრის ენეგეტიკული მეთოდი. გამოყვანილია ფორმულები რადიალურ-საჭედი მანქანის საცემელებზე მოქმედი დარტყმითი ძალების გაანგარიშებისათვის. ავტორების მიერ დადგენილია, რომ ძალოვანი ფუნქციის და დარტყმის მაქსიმალური ძალის ზუსტი განსაზღვრისათვის აუცილებელია განსახილველი სისტემისათვის დარტყმის ძირითადი დიფერენციალური განტოლების შედგენა და მისი ამოხსნა, ხოლო თუ საკმარისია ამოცანის მიახლოებითი ამოხსნა, ეს შესაძლებელია ენერგეტიკული მეთოდით, რომელიც მინიმალური მათემატიკური ოპერაციების გამოყენებით საშუალებას იძლევა მივიღოთ დარტყმის ძალის ზედაზღვრული მნიშვნელობა [21].

სტატიაში მოყვანილია მომჭედ მანქანებში მოქმედი დარტყმითი ძალების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. დარტყმითი ძალების გაზომვისათვის გამოყენებული ტენზომეტრის მეთოდი, რის საფუძველზეც ჩაწერილია დარტყმითი დატვირთვების ოსცილოგრამები. ექსპერიმენტის შედეგები დამუშავებულია ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით და მიღებულია მათემატიკური ფორმულები, რომლებიც ასახავენ დარტყმითი ძალების დამოკიდებულებას რადიალური ჭედვის მთავარი ტექნოლოგიური პარამეტრებისაგან [22].

ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე ავტორების მიერ დადგენილია, რომ რადიალურ-საჭედ მანქანებზე მოქმედი დარტყმითი ძალები წარმოადგენენ იმპულსების თანმიმდევრობას, რომელთა ამპლიტუდები თანდათან იზრდება მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე დეფორმაციის კერის ლითონის შევსების შესაბამისად. დარტყმითი იმპულსების ამპლიტუდები დამოკიდებულია მილნამზადის ტემპერატურაზე და საცემელების მუშა ზედაპირის კუთხეზე. მიღებული რეგრესის განტოლებების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ დარტყმის ძალები თითქმის თანაბარ ხარისხშია დამოკიდებული კვლევის

ფაქტორებზე – ლითონის ტემპერატურაზე და საცემელების მუშა ზედაპირის კუთხეზე.

სტატიებში მოცემულია მილნამზადების მომჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები, რომლებიც წინამორბედთაგან გასხვავდება გაუმჯობესებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით. ავტორების მიერ შემუშავებულია ორი ტიპის მანქანები: მუშტა ტიპის მანქანა, რომლის მუშა ორგანოს ახასიათებს ბრუნვით-წინსვლითი მოძრაობა, რაც საშუალებას გვაძლევს შევასრულოთ ჭედვის პროცესი მილის მიწოდების გარეშე და სოლურ-ბერკეტული მანქანა, რომელიც აღჭურვილია სპეციალური ცანგური მაბრუნავ-მიმწოდებელი მექანიზმით [23, 24].

სტატიაში მოცემულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსი-ტეტის ლითონების წნევით დამუშავების კათედრაზე შექმნილი რადიალურ-საჭედი მანქანების (ხელმძღვანელი მ. მიქაუტაძე) კონსტრუქციული სქემები და ტექნიკური მახასიათებლები. მანქანები არის სოლურ-ბერკეტული ტიპის, ისინი გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით, ელემენტები ხანგრძლივობით. მოცემულია სამი ტიპის (24, 45 და 60 ტონიანი) მანქანის მახასიათებლები. მანქანები დანერგული იყო რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის მილამდიდავ საამქროში. მანქანების ხანგრძლივი წარმატებული ექსპლუატაციის გამოცდილებამ გამოავლინა მათი მთელი რიგი უპირატესობები საზღვარგარეთულ ანალოგებთან შედარებით, მაგალითად, საექსპლუატაციო საიმედოობა და ნაკლები ხარჯები მომსახურებაზე [25].

ამ მანქანების კონსტრუქცია დაცულია საავტორო მოწმობით [26] და საქართველოს პატენტით [27].

სტატიაში გაანალიზებულია ფირმა „კიესილრინგ“-ის მანქანების მუშაობა. დადგენილია, რომ ეს მანქანები გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლურობით, უხმაუროა მუშაობაში, მაგრამ საიმედოობის მხრივ არ არის უნაკლო. მანქანები შეიცავს ძვირადღირებულ დეფიციტურ

დეტალებს. მთავარი ნაკლი ამ მანქანების მდგომარეობს იმაში, რომ ოთხივე ბერკეტს, რომელზედაც დამაგრებულია საცემელები აქვს სხვადასხვა მხარის სიგრძე, რაც გამოიწვევს ბერკეტების მუშაობის არათანაბარ პირობებს, როგორც დატვირთულობის, ისე ცვეთის თვალსაზრისით. ავტორების მიერ შემოთავაზებულ მანქანაში ბერკეტებს გააჩნია ერთიდაიგივე სიგრძე, რაც გამორიცხავს ზემოთაღნიშნულ ნაკლოვანებებს [28].

სტატიაში განხილულია ავტომობილების და ტრაქტორების ნახევარღერძების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიის საკითხები. შემოთავაზებულია რადიალურ-საჭედი მანქანის ახალი კონსტრუქცია. მანქანა განკუთვნილია ზომაგრძელი, ღერძსიმეტრიული გლუვი და საფეხურებიანი დეტალების ჭედვისათვის. მანქანის სამჭედლო ბლოკის მთავარ კვანძს წარმოადგენს ექცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმი. ასეთი მანქანის დანერგვა წარმოებაში უზრუნველყოფს ავტომობილებისა და ტრაქტორების ლილვების, ნახევარღერძების და სხვა ღერძსიმეტრიული დეტალის ნამზადების მიღებას მინიმალური დანახარჯებით, აგრეთვე ლითონის ეკონომიას და ნამზადების მაღალ სიზუსტეს [29].

სტატიაში განხილულია ელექტრომაგნიტური რადიალურ-საჭედი მანქანის კონსტრუქცია, რომელიც განკუთვნილია ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების მისაღებად [30].

მანქანის საბაზო ვარიანტს წარმოადგენს მილნამზადის მოსაჭედი სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა. მანქანის ახალ კონსტრუქციაში გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური ამძრავი, რომლითაც ხდება სოლური ცოციას უკუქცევითი-წინსვლითი მოძრაობა. მანქანას აქვს დეფორმაციის სიდიდის სარეგულირებელი კვანძი, რაც საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოთ საფეხურებიანი ლილვების და ღერძების ჭედვა. ელექტრომაგნიტური ამძრავი უზრუნველყოფს მანქანის მაღალ სწრაფქმედებას, რაც საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ ბერკეტების

დარტყმითი მოძრაობის სიხშირე და დავამუშავოთ დაბალი პლასტიკურობის მქონე მაღალლევირებული ფოლადების და მათი შენადნობების ნამზადები.

სტატიაში შემოთავაზებულია საჭედ-ამდიდავი დგანი, რომელიც შეიცავს სამჭედლო ბლოკს და მბრუნავ ამდიდავ ფილერს, რომლებიც ერთ კომპლექსშია გაერთიანებული. დგანში შემავალი მბრუნავი ამდიდავი ფილერი განკუთვნილია სამჭედლო ბლოკიდან გამოსული ნაჭედის დაკალიბრებისათვის. აღნიშნულ დანადგარში შეთავსებულია ორი ტექნოლოგიური ოპერაცია – ჭედვა და დაკალიბრება. დგანზე შესაძლებელია მაღალი სიზუსტის ღერძსიმეტრიული ნაკეთობების მიღება ძნელადდეფორ-მირებადი შენადნობებისაგან [31].

ნაშრომში შემუშავებულია ზომაგრძელ ნაკეთობათა რადიალური ჭედვის დანადგარის რაციონალური სქემა და კონსტრუქცია. რადიალური ჭედვის პროცესების ანალიზის საფუძველზე შერჩეულია დეფორმაციის ოთხსაცემელებიანი სქემა, რომელშიც საცემელები განივ ჭრილში წარმოქმნიან ჩაკეტილ კონტურს, ხოლო გრძივი მიმართულებით წყვილ-წყვილად დაძრული არიან ერთმანეთის მიმართ. ასეთი სქემა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მაღალი სიზუსტის ნაკეთობები [32].

ნაშრომში შემოთავაზებულია ორბარბაციანი რადიალური საჭედი მანქანა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული ნაკეთობები. ასეთი სქემა საშუალებას გვაძლევს მკვეთრად ავამაღლოთ ლითონის გამოყენების კოეფიციენტი.

სტატიაში მოცემულია რადიალურ-საჭედი მანქანების ამძრავის მქნევარას ზომების და ელექტომრავას სიმძლავრის ანგარიშის მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ზემოთაღნიშნული პარამეტრები ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობის მნიშვნელობიდან გამომდინარე. მიღებული ფორმულები არ მოითხოვს

ვრცელ გამოთვლებს, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია საინჟინრო პრაქტიკაში [33].

ნაშრომში შემუშავებულია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტი და ახალი კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედი მანქანა ღერძსიმეტრიული დეტალების შიგა ზედაპირის რთული კონფიგურაციის პლასტიკური ფორმირებისათვის. მოცემული საანგარიშო ფორმულები ინსტრუმენტის – საცემელების და სამართულის ძირითადი ზომების განსაზღვრისათვის. ავტორების მიერ შემოთავაზებულია ახალი კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედი მანქანა საიარაღო ლულების ჭედვისათვის. მანქანის მომჭიმავ მექანიზმში გამოყენებულია სოლის გადაადგილებისათვის ღრუ ცილინდრული მიმმართველი, რომელიც საშუალებას იძლევა დავამუშავოთ გრძელი დეტალები. სავარაუდოდ, მანქანას ექნება ფუნქციონირების მაღალი საიმედოობა, შემადგენელი დეტალების ხანგრძლივობა, მდოვრე მუშაობა და დაბალი ხმაური, რაც განპირობებულია მისი სქემით [34].

სტატიაში შემოთავაზებულია ადიდვისთვის მილნამზადების მომჭედი რადიალურ-საჭედი მანქანის ახალი კონსტრუქცია და მისი მუშაობის პრინციპი. მანქანა არის რგოლური ტიპის. მისი უპირატესობა არსებულ ანალოგებთან გამოიხატება მაღალ საიმედოობაში, რაც განპირობებულია მისი კონსტრუქციული თავისებურებებით [35]. კერძოდ, მანქანის დამწნევი რგოლის ფორმა ხასიათდება მდოვრე გადასვლით მუშტა გამონაშვერიდან ღრმულამდე, რაც უზრუნველყოფს უხმაურო, მდოვრე მუშაობას. ავტორების მიერ ამ მანქანაზე მიღებულია პატენტი [36].

ნაშრომში შერულებულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის ანალიზი. მოცემულია ფორმულა ეკონომიკური ეფექტურობის ანგარიშისათვის. ეს ფორმულა საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ მანქანების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა, რის საფუძველზე შეიძლება მოვახდინოთ მანქანების

ეფექტურობის საორიენტაციო შედარება და მათი კონსტრუქციების სხვადასხვა ვარიანტებიდან შევარჩიოთ ოპტიმალური ვარიანტი [37].

სტატიაში მოყვანილია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების ამძრავის ტრანსმისიაში დინამიკური დატვირთვების თეორიული კვლევის შედეგები. მიღებულია ამძრავის მუშაობის რეზონანსული რეჟიმების აცილების პირობები. სტატიაში მოცემულია ავტორების მიერ გამოყვანილი არაერთგვაროვანი მუდმივკოეფიციენტიანი დიფერენციალური განტოლება, რომელიც ადეკვატურად აღწერს დინამიკურ პროცესს რადიალურ-საჭედი მანქანის ამძრავში. მიღებული განტოლების ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ მანქანის ტრანსმისიაში მოქმედი დრეკადი ძალების მომენტი მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს მაშინ, როცა ამგზნები ძალის სიხშირე თავისი მნიშვნელობით უახლოვდება სისტემის საკუთარი რხევების სიხშირეს. ავტორები აკეთებენ დასკვნას, რომ ამგზნები ძალების სიხშირე განისაზღვრება საცემელების დარტყმების რიცხვით დროის ერთეულში, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს მანქანის ერთ-ერთ მთავარ პარამეტრს და ამის გამო მისი შეცვლა მიზანშეწონილი არ არის. რეზონანსული რეჟიმების თავიდან აცილებისათვის რჩება მხოლოდ სისტემის საკუთარი სიხშირის ვარირების შესაძლებლობა, რაც შეიძლება კონსტრუქტორის მიერ განხორციელდეს მექანიზმის სტრუქტურული სქემის შეცვლით ან სისტემის ელემენტების დრეკად-მასური პარამეტრების სათანადო შერჩევით მანქანის დაპროექტების საწყის ეტაპზე [38].

სტატიაში შემოთავაზებულია რადიალურ-საჭედი მანქანების ახალი კონსტრუქციები, რომლებიც განკუთვნილია ღერძსიმეტრიული ნამზადების ჭედვისთვის, როგორცაა მთლიანი მრგვალი და მართკუთხა პროფილები, საფეხურებიანი ლილვები და ღერძები, ასევე მილისები შიგა სპირალური დაკუთხვით. მანქანებს გააჩნია მოჭიმვის მექანიზმის რაციონალური სქემა, რომელიც შეიცავს სოლურ-ბერკეტულ მექანიზმს საცემელების რხევითი მოძრაობისათვის, რაც უზრუნველყოფს მაღალ ეფექტურობას [39].



ნაშრომში ავტორების მიერ განხილულია რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების, მათ შორის შიგაკუთხვილიანი და სპირალურშლიცებიანი დეტალების ჭედვისათვის განკუთვნილი მანქანის მოდერნიზებული ვარიანტი და ნამზადების მიმწოდებელი მოწყობილობის ახალი კონსტრუქცია. მანქანის გამოყენება წარმოებაში უზრუნველყოფს მაღალი სიზუსტის დეტალების მიღებას ლითონის მინიმალური დანაკარგებით [40].

ნაშრომებში მოცემულია ტურბინების როტორების ფრთების პროფილირებული ნამზადების მიღება რადიალური ჭედვის მეთოდით. განხილულია თანამედროვე ტურბინულ დანადგარებში გამოყენებული კომპოზიტური როტორები, აგრეთვე სხვა კვანძები და დეტალები, რომლებიც მიიღება სხვადასხვა მარკის ფოლადებისაგან შედუღებით, მათ შორის შიგა წვის ძრავების შებერვის ტურბოკომპრესორების კომპოზიტური როტორები, როდესაც როტორის დისკოების პერიფერიული ნაწილი დამზადებულია აუსტენიტური, ხოლო ცენტრალური ნაწილი – პერლიტური კლასის ფოლადებისაგან. შემოთავაზებულია ტექნოლოგიური პროცესი და რადიალურ საჭედი მანქანები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ძნელადდეფორმირებადი, დაბალპლას-ტიკური შენადნობებისაგან და მაღალლეგირებული ფოლადებისაგან ტურბინების როტორების ფრთების პროფილირებული ნამზადების მიღებას პლასტიკური დამუშავების მეთოდით, რაც ძალიან ხელსაყრელია ძვირადღირებული ლითონების ეკონომიის მიზნით [41,42].

სტატიაში განხილულია ამჟამად არსებული რადიალურ-საჭედი მანქანები და მათი გამოყენების სფეროები. მანქანების კონსტრუქციების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. დადგენილია, რომ ყველაზე რაციონალური ტიპი დამზადების და ექსპლუატაციის თვალსაზრისით არის ბერკეტული მანქანები, რომლებსაც მიეკუთვნება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ლითონების

წნევით დამუშავების კათედრაზე შექმნილი მანქანები და რომლებიც დანერგილი იყო რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში [43].

სტატიაში განხილულია რთული კონფიგურაციის შიგა ზედაპირის მქონე ღერძსიმეტრიული დეტალების, მათ შორის ცეცხლსასროლი იარაღის ლულების, რადიალურ-საჭედი მანქანები. მანქანების შექმნის დროს ცენტრალური მრუდმხარა ბარბაცა მექანიზმი, რომლითაც აღჭურვილი იყო წინამორბედი კონსტრუქციები შეცვლილი იქნა დეზაქსიალურ მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმით, რამაც საშუალება მოგვცა ვაწარმოოთ ზომაგრძელი დეტალების ჭედვა. სტატიაში მოცემულია აგრეთვე საჭედი ინსტრუმენტის – საცემელის და სამართულის ნახაზები. განხილულია საცემელებს შორის მუშა არის შეცვლის მექანიზმის კონსტრუქცია. ეს მექანიზმი საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოოთ საფეხურებიანი დეტალების ჭედვა [44].

ნაშრომში მოცემულია ბარბაცა ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანის კონსტრუქცია. ამ ტიპის მანქანები ამჟამად ითვლება ყველაზე სრულყოფილად და გამოიყენება მაღალი სიზუსტის დეტალების ჭედვისათვის. მანქანის თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მანქანის ცოციების ამძრავი გატანილია მანქანის გარეთ და წარმოადგენს განცალკევებულ კვანძს, რამაც ძალიან გაამარტივა მანქანის კონსტრუქცია და გაზარდა მისი საიმედოობა [45].

პატენტი გაცემულია ორბარბაციან სოლურ-ბერკეტულ რადიალურ-საჭედ მანქანაზე, რომელიც განკუთვნილია ზომაგრძელი დეტალების დამუშავებისათვის [46].

სტატიაში განხილულია რადიალურ-საჭედ მანქანებში მოქმედი დარტყმითი ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება დეფორმაციის კერაში ლითონის ჭედვის დროს. დადგენილია, რომ დარტყმის მაქსიმალური ძალა რადიალური ჭედვის დროს მანქანის მოძრავი ნაწილების დაყვანილი კონტეიკური ენერჯის პროპორციულია და აგრეთვე დამოკიდებულია

დასამუშავებელი მანქანის მექანიკურ თვისებებზე. გამოყვანილია დარტყმის მაქსიმალური ძალის საანგარიშო ფორმულები [47].

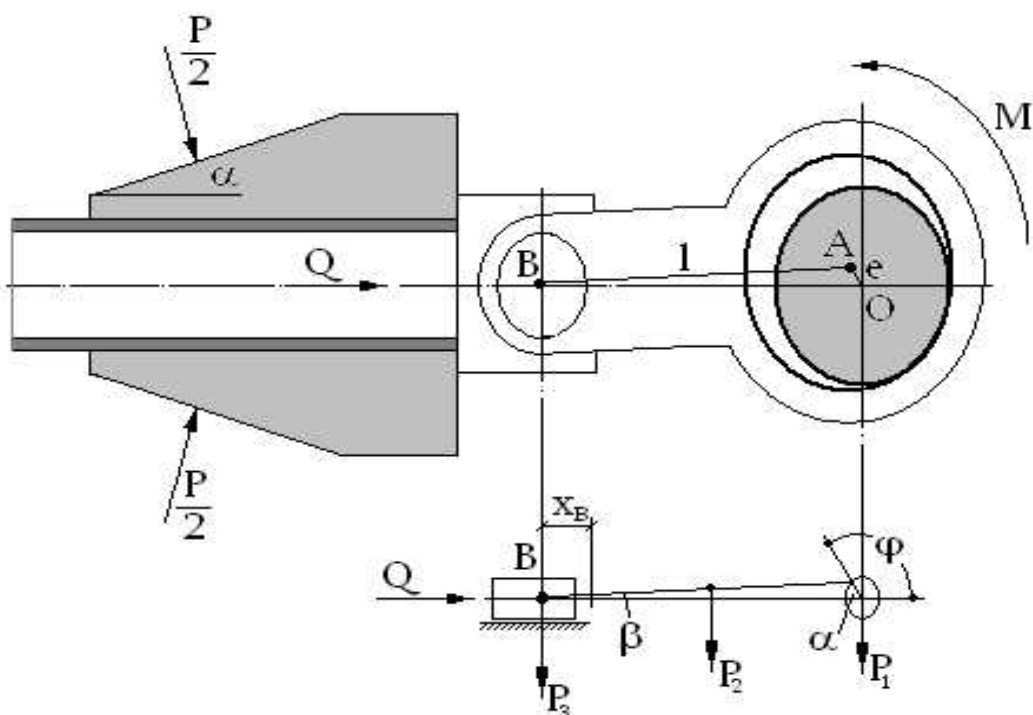
## 2. შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1. რადიალურ-საჭედი მანქანის კინემატიკური პარამეტრების

#### თეორიული კვლევა და სრულყოფა

ცნობილია, რომ აჩქარებული ან შენელებული მოძრაობის პირობებში მანქანებში ვითარდება დინამიკური პროცესები, რაც იწვევს მანქანის კვანძებში ვიბრაციას, რხევებს და სხვა უარყოფით ეფექტებს.

ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, რომ რადიალურ საჭედი მანქანების ნორმალური დინამიკური რეჟიმების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია მისი მოძრავი ნაწილების თანაბარი მოძრაობის მიღწევა. ამასთან დაკავშირებით აქ განიხილება სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ საჭედი მანქანის ამძრავი მექანიზმის ექსცენტრული ლილვის თანაბარი ბრუნვითი მოძრაობის პირობები. მექანიზმის სქემა მოცემულია ნახ.3-ზე.



ნახ.3. რადიალურ-საჭედი მანქანის ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმის სქემა

ამ სქემაზე აღნიშნულია:  $P_1, P_2, P_3$  – შესაბამისად, ექსცენტრული ლილვის, ბარბაცა და სოლური ცოციას წონებია;  $Q$  – ღერძული ძალა სოლურ ცოციაზე, რომელიც უდრის:

$$Q = 4 \cdot \frac{P}{2} \cdot \operatorname{tg} r = 2P \cdot \operatorname{tg} r;$$

$\frac{P}{2}$  – გორგოლაჭების მხრიდან სოლური ცოციას წახნაგებზე მოქმედი ძალებია;  $e$  – ექსცენტრული ლილვის ექსცენტრისიტი;  $l$  – ბარბაცას სიგრძე;  $M$  – მანქანის ამძრავის მომენტი.

საკითხის გადაწყვეტას ვახდენთ ანალიზური მექანიკის მეთოდით [49,50]. განზოგადოებულ კოორდინატად მივიჩნევთ ექსცენტრული ლილვის მობრუნების  $\xi$  კუთხეს და განვსაზღვრავთ განზოგადოებულ ძალას. ამასთან  $P_1, P_2, P_3$  ძალების მუშაობას უგულვებელვყოფთ, ვინაიდან ეს ძალები  $Q$  ძალასთან შედარებით უმნიშვნელოა.

ვადგენთ მუშაობათა ბალანსის განტოლებას:

$$uA = uA(M) + uA(Q). \quad (1)$$

მაბრუნე  $M$  მომენტის ელემენტარული მუშაობა ტოლია:

$$uA(M) = M u(\xi).$$

$Q$  ძალის ელემენტარული მუშაობა უდრის:

$$uA(Q) = -Q \cdot uX_B.$$

განვსაზღვროთ  $uX_B$  გამოსახულებიდან  $S = r(1 - \operatorname{Cos} r)$ , სადაც  $r$  არის მრუდმხარას სიგრძე (მოცემულ შემთხვევაში ექსცენტრისიტი -  $e$ );  $\alpha$  - კუთხეა მრუდმხარასა და  $X$  ღერძს შორის:

$$uX_B = uS = r \operatorname{Sin} r \cdot u r = e \operatorname{Sin} r \cdot u r.$$

გამოვსახოთ  $\alpha$  კუთხე  $\varphi$  კუთხით (იხ.ნახ.1.1):

$$r = 180^\circ - \xi.$$

მაშინ ამ გამოსახულების დიფერენცირების შემდეგ გვექნება:  $u r = -u \xi$ ;

$$uX_B = -e \operatorname{Sin}(180^\circ - \xi) \cdot u \xi = e \operatorname{Sin} \xi \cdot u \xi;$$

$$uA(Q) = -Q \cdot e \sin \zeta \cdot u \zeta.$$

თუ ელემენტარული მუშაობების ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ გამოსახულებაში (1), მივიღებთ:

$$uA = (M - Qe \sin \zeta) \cdot u \zeta \quad (2)$$

ამ განტოლებიდან განზოგადოებული ძალა უდრის:

$$Q_{\zeta} = M - Qe \sin \zeta.$$

ვადგენთ ლაგრანჟის მე-II რიგის განტოლებას [51]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E}{\partial \dot{\zeta}} \right) - \frac{\partial E}{\partial \zeta} = Q_{\zeta}. \quad (3)$$

განვსაზღვროთ სოლური ცოცისა მამოძრავებელი მექანიზმის კინეტიკური ენერგია. ამ მექანიზმის შემადგენლობაშია ექსცენტრული ლილვი, ბარბაცა და თვით სოლური ცოცია, ამიტომ მისი კინეტიკური ენერგია იქნება:

$$E = E_1 + E_2 + E_3. \quad (4)$$

ექსცენტრული ლილვის კინეტიკური ენერგია უდრის:

$$E_1 = \frac{1}{2} I_1 \dot{\zeta}^2,$$

სადაც  $I_1$  არის ექსცენტრული ლილვის ინერციის მომენტი; თუ ექსცენტრულ ლილვს შევცვლით ექვივალენტური ცილინდრით, რომლის რადიუსია  $R_{eqv}$ , მივიღებთ:

$$I_1 = \frac{1}{2} \frac{P_1}{g} R_{eqv}^2.$$

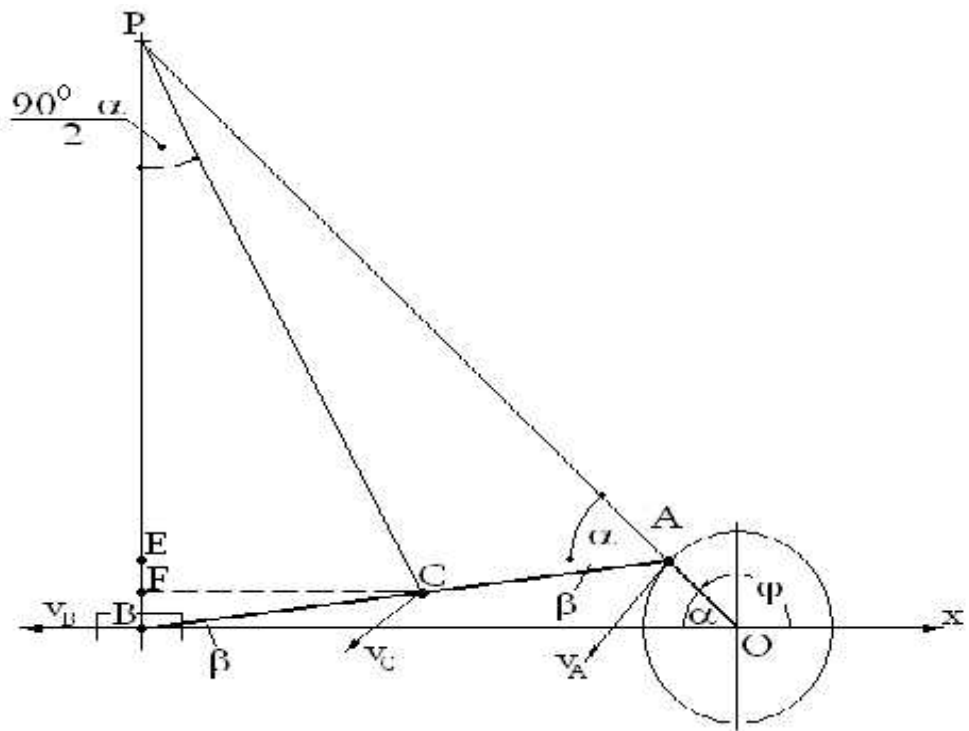
ბარბაცას, რომელის ბრტყელ-პარალელურ მოძრაობას ასრულებს, კინეტიკური ენერგია უდრის:

$$E_2 = \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} v_c^2 + \frac{1}{2} I_c \dot{S}^2,$$

სადაც  $v_c$  არის ბარბაცას ინერციის ცენტრის სიჩქარე;  $I_c$  – ბარბაცას ინერციის მომენტი მისი ინერციის ცენტრის მიმართ;  $S_2$  – ბარბაცას კუთხური სიჩქარე.

გამოვსახოთ  $v_c$  და  $S_2$  განზოგადოებული { კოორდინატით და განზოგადოებულ { კუთხური სიჩქარით, რისთვისაც უნდა განვსაზღვროთ ექსცენტრულ ბარბაცა მექანიზმის სიჩქარეთა მყისიერი ცენტრი და გამოვთვალოთ A წერტილის მყისიერი რადიუსი.

მივმართოთ სქემას ნახ.4-ზე.



ნახ.4. მექანიზმის სიჩქარეთა მყისიერი ცენტრის განსაზღვრის სქემა

A წერტილის მყისიერი რადიუსი უდრის:  $AP = \frac{l \cos \delta}{\cos \gamma}$ , თუ მივიღებთ

მხედველობაში, რომ  $l \sin \delta = e \sin \gamma$ ;  $\sin \delta = \frac{e}{l} \sin \gamma$ ;  $\cos \delta = \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l}\right)^2 \sin^2 \gamma}$ ,

გვექნება:

$$AP = \frac{l \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l}\right)^2 \sin^2 \gamma}}{\cos \gamma}.$$

ჩავსვათ რა  $\alpha$ -ს ნაცვლად  $180^\circ - \phi$  სიდიდეს, მივიღებთ:

$$AP = \frac{l\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2(180^\circ - \gamma)}{\cos(180^\circ - \gamma)} = \frac{l\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2\gamma}{\cos\gamma}.$$

მაშინ კუთხური სიჩქარე  $\check{S}_2$  იქნება:

$$\check{S}_2 = \frac{v_A}{AP} = \frac{e\check{\gamma}}{AP} = \frac{e\check{\gamma} \cdot \cos\gamma}{l\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2\gamma} = \frac{\gamma\cos\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2\gamma} \cdot \check{\gamma}.$$

ბარბაცას ინერციის ცენტრის სიჩქარე  $v_c$  შეგვიძლია განვსაზღვროთ როგორც ბარბაცის კუთხური სიჩქარის ნამრავლი მანძილზე წერტილიდან სიჩქარეთა მყისიერ ცენტრამდე, ე.ი.

$$v_c = \check{S}_2 \cdot PC.$$

კუთხის სიმცირის გამო  $FC$  მონაკვეთი შეიძლება გაუტოლოთ ბარბაცის ნახევარსიგრძეს, ე.ი.  $FC = l/2$ . გარდა ამისა, გარკვეული მიახლოებით შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ მონაკვეთი  $PC$  ჰყოფს  $ABP$  სამკუთხედის წვეროსთან მყოფ  $P$  კუთხეს შუაზე და ამიტომ კუთხე  $BPC$  იქნება  $\frac{90^\circ - \gamma}{2}$ . ამის გათვალისწინებით მანძილი ბარბაცას ინერციის ცენტრიდან პოლუსამდე უდრის:

$$PC = \frac{l}{2\sin\left(\frac{90^\circ - \gamma}{2}\right)}.$$

ვინაიდან  $\gamma = 180^\circ - \gamma$ , ვღებულობთ:

$$PC = \frac{l}{2\sin\left(\frac{90^\circ - \gamma + \gamma}{2}\right)} = \frac{l}{2\sin\left(\frac{\gamma - 90^\circ}{2}\right)}.$$

შევიტანთ რა  $\check{S}_2$  და  $PC$  -ს მნიშვნელობებს  $v_c$  სიჩქარის ფორმულაში მივიღებთ:

$$v_c = \frac{\gamma\cos\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2\gamma} \cdot \check{\gamma} \cdot \frac{l}{2\sin\left(\frac{\gamma - 90^\circ}{2}\right)} = \frac{e\check{\gamma}}{2\sqrt{1-\gamma^2}\sin^2\gamma \cdot \sin\left(\frac{\gamma - 90^\circ}{2}\right)}.$$

თუ  $v_c$  და  $\check{S}_2$  მნიშვნელობებს ჩავსვამთ კინეტიკური ენერჯის ფორმულაში, გვექნება:



$$\begin{aligned}
E_2 &= \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} \frac{e^2 \xi^2}{4(1-\cos^2 \xi) \cdot \sin^2(\frac{\xi - 90^\circ}{2})} + \frac{1}{2} \frac{P_2 l^2}{12g} \frac{\cos^2 \xi \cdot \xi^2}{(1-\cos^2 \xi)} = \\
&= \frac{P_2 e^2}{24g} \left[ 3 \cdot \frac{1}{(1-\cos^2 \xi) \cdot \sin^2(\frac{\xi - 90^\circ}{2})} + \frac{\xi^2 \cdot \frac{l^2}{e^2} \cdot \cos^2 \xi}{1-\cos^2 \xi} \right] \cdot \xi^2 = \\
&= \frac{P_2 e^2}{24g} \left[ \frac{1}{1-\cos^2 \xi} \left( \frac{3}{1-\cos(\xi - 180^\circ)} + \cos^2 \xi \right) \right] \cdot \xi^2 = \\
&= \frac{P_2 e^2}{24g} \left[ \frac{1}{1-\cos^2 \xi} \left( \frac{6}{1-\cos \xi} + \cos^2 \xi \right) \right] \cdot \xi^2.
\end{aligned}$$

სოლური ცოცხის კინეტიკური ენერგია უდრის:

$$E_3 = \frac{1}{2} \frac{P_3}{g} v_B^2.$$

სოლური ცოცხის გადადგილება განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = e(1 - \cos r) = e \cdot [1 - \cos(180^\circ - \xi)] = e(1 - \cos \xi).$$

სოლური ცოცხის სიჩქარე იქნება:

$$v_B = \dot{S} = e \cdot \sin \xi \cdot \dot{\xi}.$$

სოლური ცოცხის კინეტიკური ენერგია უდრის:

$$E_3 = \frac{1}{2} \frac{P_3}{g} \cdot e^2 \sin^2 \xi \cdot \dot{\xi}^2 = \frac{P_3 e^2}{2g} \sin^2 \xi \cdot \dot{\xi}^2.$$

ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმის კინეტიკური ენერგია იქნება:

$$\begin{aligned}
E &= \frac{1}{2} \frac{P_1}{g} R_{eqv}^2 \dot{\xi}^2 + \frac{P_2 e^2}{24g} \left[ \frac{1}{1-\cos^2 \xi} \left( \frac{6}{1-\cos \xi} + \cos^2 \xi \right) \right] \cdot \dot{\xi}^2 + \frac{P_3 e^2}{2g} \sin^2 \xi \cdot \dot{\xi}^2 = \\
&= \frac{e^2}{24g} \left\{ 12P_1 \left( \frac{R_{eqv}}{e} \right)^2 + P_2 \left[ \frac{1}{1-\cos^2 \xi} \left( \frac{6}{1-\cos \xi} + \cos^2 \xi \right) \right] + 12P_3 \sin^2 \xi \right\} \cdot \dot{\xi}^2
\end{aligned} \tag{5}$$

თუ შევიტანთ აღნიშვნას:

$$I' = \frac{e^2}{12g} \left\{ 12P_1 \left( \frac{R_{eqv}}{e} \right)^2 + P_2 \left[ \frac{1}{1-\sin^2\{\}} \left( \frac{6}{1-\cos\{\}} + \cos^2\{\} \right) + 12P_3 \sin^2\{\} \right] \right\} \quad (6)$$

მაშინ ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმის კინეტიკური ენერგია შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$E = \frac{1}{2} I' \zeta^2,$$

სადაც  $I'$  – მექანიზმის ინერციის დაყვანილი მომენტი.

განვსაზღვროთ კინეტიკური ენერგიის კერძო წარმოებული განზოგადოებული  $\zeta$  სიჩქარის მიმართ:

$$\frac{\partial E}{\partial \zeta} = \frac{1}{2} I' \cdot 2\zeta = I' \zeta,$$

მიღებული შედეგის გაწარმოებით ვღებულობთ:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E}{\partial \zeta} = I' \dot{\zeta}$$

კინეტიკური ენერგიის კერძო წარმოებული განზოგადოებული  $\zeta$  კუთხის მიმართ იქნება [54]:

$$\frac{\partial E}{\partial \zeta} = \frac{1}{2} \frac{dI'}{d\zeta} \cdot \zeta^2,$$

$$\frac{dI'}{d\zeta} = \frac{e^2}{12g} \left\{ P_2 \frac{\sin 2\zeta}{(1-\sin^2\zeta)^2} \left( \frac{6}{1-\cos\zeta} + \cos^2\zeta \right) - \frac{1}{1-\sin^2\zeta} \left[ \frac{6\sin\zeta}{(1-\cos\zeta)^2} + \sin 2\zeta \right] + 24P_3 \sin 2\zeta \right\}.$$

მიღებული წარმოებულების განტოლებაში (2) ჩასმის შემდეგ გვექნება:

$$I' \dot{\zeta} + \frac{1}{2} \frac{dI'}{d\zeta} \zeta^2 = M - Qe \sin\zeta.$$

ეს განტოლება წარმოადგენს სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანის ექსცენტრულ ბარბაცა მექანიზმის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას.

ამ განტოლებიდან განისაზღვრება მატრუნი მომენტის ცვალებადობის კანონზომიერება, რომელიც უზრუნველყოფს ექსცენტრული ლილვის

თანაბარ ბრუნვას, ე.ი. მისი კუთხური სიჩქარის მუდმივობას  $\dot{\zeta} = \dot{\zeta}$ , ამასთან  $\zeta = 0$ :

$$M = \frac{1}{2} \left( \frac{dI'}{d\zeta} \zeta^2 + 2Qe \sin \zeta \right) \quad (7)$$

რადიალურ-საჭედი მანქანის ექსცენტრული ლილვის თანაბარი ბრუნვის უზრუნველყოფისათვის, გარდა ზემოთაღნიშნულისა დიდი მნიშვნელობა აქვს ამპრავის დეტალების ინერციის მომენტების ზუსტად განსაზღვრას. განსაკუთრებით ეს ეხება რადიალურ-საჭედი მანქანის შვიგ-მქნევარას, რომელის დაყენებულია ექსცენტრულ ლილვზე.

შვიგ-მქნევარას მასის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ ანგარიშის ენერგეტიკულ მეთოდს. ვადგენთ ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებას შვიგ-მქნევარასათვის:

$$\frac{I\check{S}_0^2}{2} - \frac{I\check{S}^2}{2} = A_p - \gamma N_{el} t_{def} \quad (8)$$

აქ  $I$  არის მანქანის ექსცენტრულ ლილვზე დაყვანილი მბრუნავი დეტალების ინერციის მომენტების ჯამი;  $\check{S}_0$  – ექსცენტრულ ლილვის ნომინალური კუთხური სიჩქარეა;  $\check{S}$  – ნომინალური კუთხური სიჩქარე დაფორმირების პროცესის ბოლოს;  $A_p$  – ნამზადის პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობა, რომელიც განისაზღვრება ცნობილი მეთოდიკის მიხედვით;  $\gamma$  – მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი;  $N_{ei}$  – ელექტროძრავას სიმძლავრე;  $t_{def}$  – ნამზადის დეფორმაციის დრო.

ინერციის მომენტი შეგვიძლია გამოვსახოთ მქნევარა მომენტის მეშვეობით:

$$I = \frac{GD_i^2}{4g}$$

ვინადან მანქანის ამპრავი შეიცავს ღვედურ გადაცემას, მიზანშეწონილია მასები ნაწილობრივ განვალაგოთ სწრაფმავალ ლილვზე, ე.ი. ელექტროძრავას ლილვზე. ასეთ შემთხვევაში მქნევარა მომენტი იქნება:

$$GD^2 = i^2 (GD_1^2 + GD_2^2) \cdot \gamma + GD_3^2 \quad (9)$$

სადაც  $i$  – ღვედური გადაცემის რიცხვი;  $\gamma$  – ამპრავი მ.ქ.კ.;

$GD_1^2$  – ელექტროძრავას როტორის მქნევარა მომენტი;

$GD_2^2$  – სწრაფმავალი შკივის მქნევარა მომენტი;

$GD_3^2$  – შკივ-მქნევარას მომენტი.

შემოვიყვანოთ ექსცენტრულ ლილვის ბრუნთა რიცხვის შემცირების კოეფიციენტი  $p$ . მაშინ ენერგეტიკული ბალანსის განტოლება შეგვიძლია ასეთნაირად გარდავქმნათ [57]:

$$GD^2 = \frac{76,5(A_p - \gamma N_{el} t_{def})}{\dot{S}_o^2 (1 - p)} \quad (10)$$

ერთი ნამზადის დეფორმაციის დრო უდრის:  $t_{def} = \frac{l}{S}$ ;  $S = \frac{60v}{N}$ , სადაც

$l$  – ნამზადის სიგრძეა;  $v$  – ნამზადის მიწოდების სიჩქარეა;  $N$  – საცემელების დარტყმების სიხშირე.

თუ პაუზას ნამზადების დამუშავებებს შორის აღვნიშნავთ  $\ddagger_0$  – ით,

მივიღებთ მანქანის მუშაობის ინტენსივობის კოეფიციენტს:  $k = \frac{t_{def}}{t_{def} + \ddagger_0}$ . ეს

კოეფიციენტი წინასწარ არის მოცემული და მისი გათვალისწინებით პაუზების დრო უდრის:

$$\ddagger_0 = \left(\frac{1}{k} - 1\right)t_{def}.$$

ერთი ნამზადის დეფორმაციის დრო უდრის:  $t_{def} = \frac{l}{S}$ ;  $S = \frac{60v}{N}$ .

სტაბილური მუშაობის პირობა გულისხმობს, რომ ერთი ნამზადის ჭედვის დამთავრებიდან მეორე ნამზადის დამუშავების დაწყებამდე მანქანამ უნდა აღიდგინოს თავისი პირვანდელი სიჩქარე, ე.ი.  $\ddagger_0 = t_{Rest}$ .

მანქანის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებას სიჩქარის აღდგენის პერიოდისათვის ასეთი სახე ექნება:

$$GD^2 (\dot{S}^2 - \dot{S}_0^2) = -78,5\gamma N_{el} t_{Rest} \quad (11)$$

საიდანაც პირვანდელი სიჩქარის აღდგენის დრო უდრის:

$$t_{Re.st} = \frac{GD^2(\check{S}_0^2 - \check{S}^2)}{78,5yN_{el}} = \frac{GD^2(1-p^2)\check{S}_0^2}{78,5yN_{el}} = \frac{A_p - yN_{el}t_{def}}{yN_{el}}.$$

მეორე მხრივ:  $t_{Re.st} = t_{def} \left( \frac{1}{k} - 1 \right).$

ამის გათვალისწინებით ვღებულობთ პლასტიკური დეფორმაციის მუშაობის და ელექტროძრავას სიმძლავრის ფორმულებს:

$$A_p = \frac{yN_{el}t_{def}}{k}; \quad N_{el} = \frac{kA_p}{yt_{def}}.$$

თუ  $A_p$  და  $N_{el}$  მნიშვნელობებს შევიტანთ ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებაში მოვიღებთ მქნევარა მომენტის მნიშვნელობას, რომელიც უზრუნველყოფს რადიალურ საჭედი მანქანის ექსცენტრული ლითონის თანაბარ ბრუნვას.

## 2.2. რადიალური ჭედვის პროცესის ძალოვანი პარამეტრის

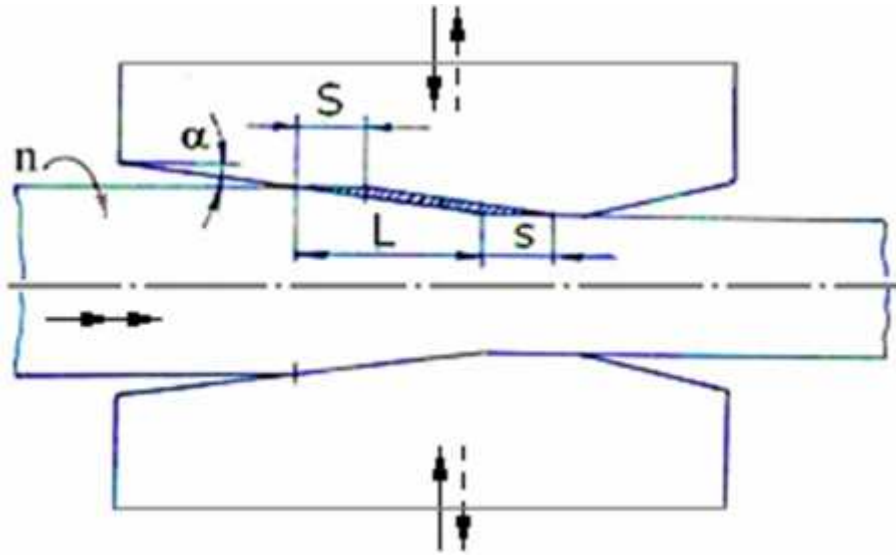
### განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება

რადიალური ჭედვის პროცესში პლასტიკურ დეფორმირებას განიცდის ნამზადის ის ნაწილი, რომელიც იმყოფება საცემელების ზონაში, ანუ დეფორმაციის კერაში. დეფორმაციის კერას წარმოადგენს ნამზადის მოცულობის ნაწილი, რომელიც შემოფარგლულია ლითონის საცემელებთან სეხების უბნით. აქ ლითონი განიცდის პლასტიკურ დეფორმაციას.

დეფორმაციის კერის სქემა მოცემულია ნახ.5-ზე.

დეფორმაციის კერა რადიალურ ჭედვის დროს ხასიათდება შემდეგი გეომეტრიული პარამეტრებით: დეფორმაციის კერის სიგრძით,  $l$ ; დეფორმაციის კერის სიგანით,  $b$ ; საკონტაქტო კუთხით,  $\alpha$ ; ნამზადის დიამეტრალური მოჭიმვით,  $\Delta d$ ; საცემელების მუშა ნაწილის დახრის

კუთხით ნამზადის ღერძის მიმართ,  $\alpha$ ; ნამზადი გრძივი მიწოდების მნიშვნელობით  $S$ .



ნახ.5. დეფორმაციის კერის სქემა

ნახ. 5.-დან გამომდინარე დეფორმაციის კერის სიგრძე უდრის:

$$L = \frac{d_0 - d_1}{2 \operatorname{tg} \alpha} + S \quad (12)$$

სადაც  $d_0$  არის ნამზადის საწყისი დიამეტრი, მმ;

$d_1$  – ნაჭედის დიამეტრი, მმ;

$\alpha$  – ინსტრუმენტის კონუსის კუთხე, გრად;

$S$  – ნამზადის გრძივი მიწოდება, მმ.

ნამზადის მიწოდება  $S$  ერთეულ მოჭიმვებს შორის განისაზღვრება ფორმულიდან [3]:

$$S = \frac{v}{N},$$

სადაც:  $v$  არის მანიპულატორის გრძივი გადაადგილების სიჩქარე, მმ/წმ;

$N$  არის რადიალურ-საჭედი მანქანის დარტყმების სიხშირე, წამ<sup>-1</sup>.

დეფორმაციის კერის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრია მისი სიგანე

*b*. ჩვეულებრივ, მიღებულია, რომ ნამზადისა და საცემელების

კონტაქტირება ხდება მთლიან პერამეტრზე, ანუ დეფორმაციის კერის სიგანე უდრის ნამზადის საშუალო დიამეტრს დეფორმაციის კერაში. მაგრამ ეს დებულება ექსპერიმენტულად ვერ დასტურდება. ამიტომ რადიალური ჭედვისას დეფორმაციის კერის სიგანის განსაზღვრისათვის, შეგვიძლია გამოვიყენოთ დეფორმაციის კერის სიგანის ფორმულა, რომელიც გამოყვანილია განივ-ხრახნული გლინვის პროცესისათვის, როცა მილნამზადის გლინვა მიმდინარეობს ოთხ გლინში:

$$b = 2\sqrt{2r \cdot \Delta r} \quad (13)$$

სადაც  $r$  - არის ნამზადის საშუალო რადიუსი დეფორმაციის კერაში;

$\Delta r$  – ნამზადის რადიალური მოჭიმვა მოცემულ კვეთში.

ჯამური საკონტაქტო ფართობი ნამზადსა და ინსტრუმენტს შორის უდრის:

$$F_{\text{kont}} = l \cdot b = 2l\sqrt{2r \cdot \Delta r} \quad (14)$$

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია უფრო მარტივი ფორმულა, რომლითაც შეგვიძლია ვიანგარიშოთ საკონტაქტო ფართი რადიალური ჭედვის პროცესში საცემელების ნებისმიერი რაოდენობისათვის, ამასთან გათვლების სიზუსტე სრულიად საკმარისია საინჟინრო ამოცანებისათვის:

$$F_{\text{kont}} = f \frac{d_0 + d_1}{2} \cdot l. \quad (15)$$

საშუალო საკონტაქტო წნევა მოცემულ შემთხვევაში შეგვიძლია ვიანგარიშოთ მეთოდოკით, რომელიც შემოთავაზებულია აკადემიკოს ა.ი. ცელკოვის მიერ გლინვის პროცესისათვის, რომლის თანახმად საშუალო საკონტაქტო წნევა უდრის:

$$\bar{p} = n_x n_{\dagger} \dagger_{\text{Fact}} \quad (16)$$

ამ გამოსახულების პირველი წევრი  $n_x$ , რომელიც ითვალისწინებს საშუალო ნორმალური ძაბვის გავლენას საშუალო საკონტაქტო წნევაზე უდრის:

$$n_x = \frac{2}{\sqrt{3 + \tau_{\dagger}^2}},$$

სადაც  $\sim_{\dagger} = 2 \cdot \frac{\dagger_2 - \dagger_3}{\dagger_1 - \dagger_3} - 1$  იცვლება (1-1,15)-ის ფარგლებში.

როდესაც გვაქვს ბრტყელი დეფორმაცია და საშუალო ნორმალური

$$\text{მაბვ } \dagger_2 = \frac{\dagger_1 + \dagger_3}{2}, \sim_{\dagger} \text{ უდრის: } \sim_{\dagger} = 2 \cdot \frac{\frac{\dagger_1 + \dagger_3}{2} - \dagger_3}{\dagger_1 - \dagger_3} - 1 = \frac{\dagger_1 + \dagger_3 - 2\dagger_3}{\dagger_1 - \dagger_3} = 0.$$

მაშასადამე,

$$n_x = \frac{2}{\sqrt{3 + \sim_{\dagger}^2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15 \quad (17)$$

საშუალო საკონტაქტო წნევის ფორმულის მეორე კოეფიციენტი  $n_{\dagger}$  წარმოადგენს დაძაბული მდგომარეობის კოეფიციენტს და ის ხშირად უფრო დიდ გავლენას ახდენს საშუალო საკონტაქტო წნევაზე, ვიდრე სხვა დანარჩენი კოეფიციენტები.

ორგანზომილებიანი დეფორმირებული მდგომარეობისათვის ეს კოეფიციენტი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც სამი კოეფიციენტის ნამრავლი:

$$n_{\dagger} = n'_{\dagger} n''_{\dagger} n'''_{\dagger} \quad (18)$$

$n'_{\dagger}$  არის ხახუნის გავლენის კოეფიციენტი, რომელიც, გარდა ხახუნისა, დამოკიდებულია არრეთვე დეფორმაციის კერის გეომეტრიულ პარამეტრზე. მრგვალი ნამზადის რადიალური ჭედვის დროს ეს პარამეტრი გამოითვლება ფორმულით:

$$m = \frac{1}{d_0 + d_1} \left( \frac{\Delta d}{\text{tg} \gamma} + \frac{2\nu}{nn_1} \right),$$

სადაც  $\Delta d$  არის ნამზადის რადიალური მოჭიმვა, მმ;

$$\gamma - \text{მუშა ინსტრუმენტის კონუსის კუთხეა, გრად; } \gamma = \arctg \frac{d_0 - d_1}{2d_0};$$

$d_0$  – ნამზადის საწყისი დიამეტრი, მმ;

$d_1$  – ნაჭედის დიამეტრი, მმ;

$\nu$  – ნამზადის ღერძული მიწოდების სიჩქარეა, რომელიც უდრის ნამზადის მიმწოდებელი მანიპულატორის სიჩქარეს, მმ/წმ;



$n$  – საცემელების რაოდენობა;  $n = 3$  ან  $4$ ;

$n_1$  – ნამზადის ბრუნთა რიცხვია მიწოდების დროს, ბრუნნი/წუთ.

ზემოთმოყვანილი ფორმულა მართებულია, როცა  $v \leq l_k n n_1$ , აქ  $l_k$  არის ინსტრუმენტის დამაკალიბრებელი უბნის სიგრძე. როცა  $v > l_k n n_1$ , მაშინ  $m$  პარამეტრი გამოითვლება ფორმულით:

$$m = \frac{\operatorname{tg} \Gamma \left( \frac{\Delta d}{\operatorname{tg} \Gamma} + \frac{v}{n n_1} + l_k \right)}{d_0 + d_1 + \left( \frac{v}{n n_1} - l_k \right)} \quad (19)$$

მართკუთხა ნამზადების დეფორმაციის დროს  $m$  პარამეტრი უდრის:

$$m = \frac{1}{h_0 + h_1} \left( \frac{\Delta d}{\operatorname{tg} \Gamma} + \frac{2v}{N} \right), \text{ როცა } v \leq l_k N; \quad m = \frac{\left( \frac{\Delta h}{\operatorname{tg} \Gamma} + \frac{v}{N} + l_k \right)}{h_0 + h_1 + \left( \frac{v}{n n_1} - l_k \right) \operatorname{tg} \Gamma}, \text{ როცა } v > l_k N,$$

სადაც  $h_0$  არის ნამზადის საწყისი სიმაღლე, მმ;  $h_1$  – ნაჭედის სიმაღლეა, მმ.

ზემოთმოყვანილი ფორმულებიდან ნათლად ჩანს, რომ  $m$  პარამეტრი დამოკიდებულია დეფორმაციის რეჟიმზე და ინსტრუმენტის ზომებზე.

როგორც აღვნიშნეთ  $n'_+$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია  $m$  პარამეტრზე. როცა  $m \leq 1$ , გარე ხახუნის გავლენა უმნიშვნელოა და კოეფიციენტი  $n'_+ = 1,0$ . როცა  $1 < m \leq 2$ , მაშინ  $n'_+$  კოეფიციენტის საანგარიშოდ გამოიყენება ფორმულა:  $n'_+ = 1 + \frac{1}{6} m$ .

როცა  $2 < m \leq 4$ , მრგვალი განივი კვეთის ნამზადების რადიალური ჭედვისას გამოიყენება ფორმულა:

$$n'_+ = \frac{2d_x}{\Delta d(u' - 1)} \left[ \left( \frac{d_x}{d_0 - \Delta d} \right)^{u'} - 1 \right],$$

$$\text{სადაც } \frac{d_x}{d_0 - \Delta d} = \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + (u'^2 - 1) \left( \frac{d_0}{d_0 - \Delta d} \right)^{u'}}}{u' + 1} \right]^{1/u'};$$

$l$  – დეფორმაციის კერის სიგრძეა;  $d_x$  – ნეიტრალური კვეთის დიამეტრი.

მართკუთხა განივიკვეთის ნამზადისათვის  $n'_+$  უდრის:

$$n'_+ = \frac{2h_x}{\Delta h(u'' - 1)} \left[ \left( \frac{h_x}{h_0 - \Delta h} \right)^{u''} - 1 \right],$$

სადაც  $\frac{h_x}{h_0 - \Delta h} = \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + (u''^2 - 1) \left( \frac{h_0}{h_0 - \Delta h} \right)^{u''}}}{u'' + 1} \right]^{1/u''}$ ;  $u'' = -(2l/\Delta h)$ .

როცა  $m > 4$ ,  $n'_+$  კოეფიციენტი უდრის:  $n'_+ = 1 + \frac{1}{4}m$ .

$n''_+$  არის გარე ზონების გავლენის კოეფიციენტი, რომელიც დეფორმაციის კერის გეომეტრიულ პარამეტრზე. გარე ზონების გავლენის კოეფიციენტი, როცა  $m \leq 1$ , უდრის:  $n''_+ = 1 + 2,6e^{-3(0,4+m)^2}$ , სადაც  $e$  არის ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია;  $e = 2,73$ . როცა  $m > 1$ , გარე ზონები გავლენას არ ახდენს საკონტაქტო წნევაზე და  $n''_+ = 1$ .

რადიალური ჭედვის პროცესში ადგილი აქვს ნამზადის კუმშვას საჭედი მანქანის საცემელებსა და მანიპულატორის სატაცებს შორის, რაც, ცხადია, გავლენას ახდენს საკონტაქტო წნევაზე, რაც შეგვიძლია გავითვალისწინოთ  $n'''_+$  კოეფიციენტით:

$$n'''_+ = C \left( 1 + \frac{\dagger_0 + \dagger_1}{2\bar{p}} \right),$$

სადაც  $C$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ცოტაოდენ 1-ზე ნაკლებია და ითვალისწინებს საშუალო საკონტაქტო წნევაზე გარეგანი ხახუნის დავლენის შემცირებას; შეგვიძლია მივიღოთ  $C \approx 1,0$ ;  $\dagger_0$  – ძაბვაა ნამზადში

დეფორმაციის კერაში შესვლის მხარეზე;  $\dagger_0 = \frac{P_0}{F_0}$ ;  $P_0$  – მანიპულატორის

მიწოლის ძალა;  $F_0$  – ნამზადის განივკვეთის ფართობი;  $\dagger_1$  – ძაბვა ნამზადში

დეფორმაციის კერის გამოსავალ მხარეზე;  $\dagger_1 = \frac{P_1}{F_1}$ ;  $P_1$  – ნაჭედის მიმღები

მოწყობილობის მხრიდან მოქმედი ძალა;  $F_1$  – ნაჭედის განივი კვეთის ფართი;  $\bar{p}$  – საშუალო საკონტაქტო წნევა, როცა ნამზადზე მიწოლას ან მის გაჭიმვას ადგილი არა აქვს.

ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობა  $\sigma_{Fact}$  დამოკიდებულია ლითონის მექანიკურ თვისებებზე და დეფორმირების პირობებზე – გლინვის ტემპერატურაზე, დეფორმაციის ხარისხსა და სიჩქარეზე, ე.ი.

$$\sigma_{Fact} = n_T n_v n_u \sigma_s \quad (20)$$

სადაც  $n_T$  არის ტემპერატურის გავლენის კოეფიციენტი;

$n_v$  – დეფორმაციის ხარისხის გავლენის კოეფიციენტი;

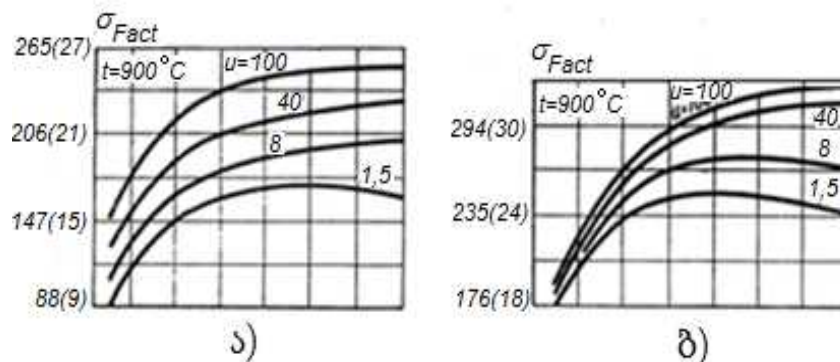
$n_u$  – დეფორმაციის სიჩქარის გავლენის კოეფიციენტი;

$\sigma_s$  – ლითონის დენადობის ზღვარი.

ლითონების პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღობის მონაცემები მოყვანილია საცნობერო ლიტერატურაში ცხრილების და გრაფიკების სახით, საიდანაც შეგვიძლია დავადგინოთ მისი რიცხობრივი მნიშვნელობა.

ნახ.6.-ზე წარმოდგენილია ფოლადების დენადობის ზღვრის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, დეფორმაციის ხარისხსზე და დეფორმაციის სიჩქარეზე დასმის პროცესში -  $\sigma_{Fact}$  მოცემულია მნ/მ<sup>2</sup> (კგ/მმ<sup>2</sup>), ხოლო დეფორმაციის სიჩქარე – წამ-1.

ცდები ტარდებოდა სპეციალურ საცდელ მანქანაზე – პლასტომეტრზე, რომელიც გამოირჩევა იმით, რომ უზრუნველყოფს დეფორმაციის სიჩქარის მუდმივობას მიუხედავად იმისა, რომ დასმის დროს ნიმუშის სიმაღლე განუწყვეტლივ მცირდება.



**ნახ.6. ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობს გრაფიკები:**

ა – დაბალნახშირბადიანი ფოლადი; ბ – უჟანგავი ფოლადი

ეს გრაფიკები გამოიყენება ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებში ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობის განსაზღვრისათვის.

ამ მიზნისათვის შემუშავებულია აგრეთვე თერმომექანიკური კოეფიციენტების მეთოდი, რომელიც ძალიან მოხერხებულია ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის განსაზღვრისათვის. მეთოდის თანახმად ხდება პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის გაანგარიშება ემპირიული ფორმულებით ტემპერატურის, დეფორმაციის ხარისხის და დეფორმაციის სიჩქარის მიხედვით.

ამჟამად მიღებულია საანგარიშო ფორმულები სხვადასხვა მარკის ფოლადებისა და შენადნობებისათვის. ნაწილი ამ ფორმულებისა მოყვანილია ქვემოთ ცხრილში 1.

**ცხრილი 1: პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის ემპირიული ფორმულები**

ფოლადი ან შენადნობი	$t^0, C$	$v, \%$	$u, \text{წამ}^{-1}$	$\dagger$ ფაქტ, მპა (კგძ/მმ <sup>2</sup> )
ფოლადი 45	800 - 1200	0,05 - 0,40	0,1 - 100	$\dagger = \frac{133v^{0,252} \cdot u^{0,143}}{e^{0,0025t}}$
12XH3A	900 - 1200	0,05 - 0,40	0,1 - 100	$\dagger = \frac{230v^{0,252} \cdot u^{0,143}}{e^{0,0029t}}$
17 2	900 - 1200	0,05 - 0,40	0,1 - 100	$\dagger = \frac{70v^{0,28} \cdot u^{0,087}}{e^{0,0037t}}$
435	900 - 1200	0,05 - 0,25	0,1 - 100	$\dagger = \frac{890v^{0,35} \cdot u^{0,098}}{e^{0,0032t}}$

ცივად გლინვის პროცესებში ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის წინაღობის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ სხვადასხვა ემპირიული ფორმულებით. ასეთი ფორმულები, რომლებიც ლითონის

წინააღმდეგობის პლასტიკური დეფორმაციის ხარისხზე დამოკიდებულებას ასახავენ, ამჟამად მიღებულია 130-ზე მეტი მარკის ფოლადებისათვის.

ქვემოთ მოყვანილია პლასტიკური დეფორმაციის წინააღმდეგობის ფორმულების მაგალითები ზოგიერთი გავრცელებული მარკის ფოლადებისათვის:

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

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

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

$$\text{ფოლადი Y9 A} - \sigma_{0,2} = 30 + 12,7v^{0,41}; \sigma_B = 60 + 1,5v^{0,8};$$

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

ზემოთმოყვანილი ფორმულების პირველი წევრი ახასიათებს ფოლადის მექანიკურ თვისებებს, ხოლო მეორე წევრი გამოხატავს საწყისი მექანიკური მახასიათებლის ნამატს დეფორმაციის ხარისხიდან გამომდინარე.

### 2.3. დეფორმაციის ძალის გაანგარიშება (ნამზადი D20)

- ნამზადის საწყისი დიამეტრი  $d_0 = 20$  მმ;
- ნამზადის საბოლოო დიამეტრი  $d_1 = 16$  მმ;
- საცემელების მუშა ზედაპირის კუთხე  $r = 4^{\circ}36'$ ;  $tg r = 0,081$ ;  
 $Sin r = 0,082$ ;  $Cos r = 0,9968$ .

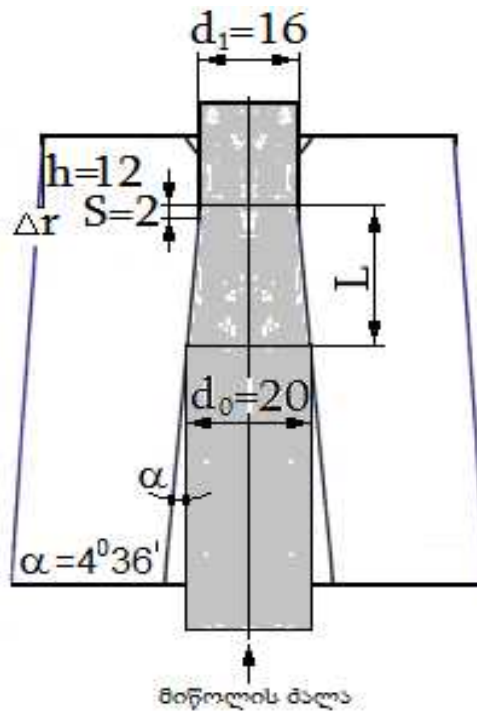
ნახ.7.-ზე მოცემულია მოჭიმვის ძალის საანგარიშო სქემა.

1) დეფორმაციის კერის სიგრძე უდრის:

$$L = \frac{d_0 - d_1}{2tg r} + S = \frac{20 - 16}{2 \cdot 0,081} + 2 = 26,7 \text{ მმ} = 0,0267 \text{ მ}$$

2) საკონტაქტო ფართობი ტოლია:

$$F_{\text{kont}} = f \frac{d_0 + d_1}{2} \cdot l = 3,14 \cdot \frac{20 + 16}{2} \cdot 26,7 = 1509 \text{ მმ}^2 = 1509 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2.$$



ნახ.7. მოჭიმვის ძალის საანგარიშო სქემა

3) საშუალო საკონტაქტო წნევა უდრის:

$$\bar{p} = n_x n_+ \uparrow_{\text{Fact}},$$

აქ  $n_x$ , რომელიც ითვალისწინებს საშუალო ნორმალური ძაბვის გავლენას

საშუალო საკონტაქტო წნევაზე უდრის:  $n_x = 1,15$ ;

$n_+$  – დაძაბული მდგომარეობის კოეფიციენტი უდრის  $n_+ = n'_+ n''_+ n'''_+$ ;

$n'_+$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ხახუნის გავლენას

დამოკიდებულია დეფორმაციის კერის პარამეტრზე  $m$ :

$$m = \frac{1}{d_0 + d_1} \left( \frac{\Delta d}{\text{tg} \zeta} + \frac{2v}{nn_1} \right),$$

სადაც  $\Delta d$  არის ნამზადის დიამეტრალური მოჭიმვა, რომელიც განისაზღვრება წნეხის სვლით ( $h = 12$  მმ);  $\Delta d = 2\Delta r$ , აქ  $\Delta r$  – რადიალური მოჭიმვა, რომელიც ტოლია  $\Delta r = h \cdot \text{tg} \zeta$ , სადაც  $\zeta$  – მუშა ინსტრუმენტის გარე კონუსის კუთხ  $\zeta = 4^\circ 38'$ ;  $\text{tg} \zeta = \text{tg} 4^\circ 38' = 0,08125$ ;  $\Delta r = 12 \cdot 0,08125 = 0,975 \approx 1$ ;

$\Delta d = 2 \cdot 1 = 2$  მმ;  $\nu$  – ნამზადის მიწოდების სიჩქარე; მიწოდება ხდება ხელით სამართავი ხრახნიანი მექანიზმით, რომლის ხრახკუთხვილის ბიჯი  $t = 2$  მმ; ერთი ბრუნისათვის საჭირო დრო დაახლოებით შეადგენს 5 წამს, მაშინ:  $\nu = \frac{2}{5} = 0,4$  მმ/წამ;  $n$  – საცემელების რაოდენობა;  $n = 4$ ;  $n_1$  – ნამზადის ბრუნთა რიცხვი მიჭოდების დროს:  $n_1 = 12$  ბრუნ/წუთ.

$$\text{მაშასადამე, } m = \frac{1}{20+16} \left( \frac{2}{0,081} + \frac{2 \cdot 0,4}{4 \cdot 12} \right) = 0,028(24,7 + 0,016) = 0,69.$$

როცა  $m < 1$ , გარე ხახუნის გავლენა მცირეა და შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ  $n'_1 = 1,0$ .

გარე ზონების გავლენის კოეფიციენტი, როცა  $m \leq 1$ , უდრის:

$$n''_1 = 1 + 2,6e^{-3(0,4+m)^2},$$

სადაც  $e$  არის ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია;  $e = 2,73$ .

$$\text{მაშასადამე, } n''_1 = 1 + 2,6e^{-3(0,4+0,7)^2} = 1 + \frac{2,6}{2,72^{3,63}} = 1 + \frac{2,6}{37,8} = 10,7.$$

ნამზადის ღერძული კუმშვის კოეფიციენტით  $n'''_1$  უდრის:

$$n'''_1 = C \left( 1 + \frac{t_0 + t_1}{2\bar{p}} \right),$$

სადაც  $C$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ცოტაოდენ 1-ზე ნაკლებია და შეგვიძლია მივიღოთ  $C \approx 1,0$ ;  $t_0$  – ძაბვაა ნამზადში დეფორმაციის კერაში შესვლის მხრიდან;  $t_0 = \frac{P_0}{F_0}$ ;  $t_1$  – ძაბვა ნამზადში დეფორმაციის კერის გამო-სავალ მხარეზე;  $t_1 = 0$ ;  $\bar{p}$  – საშუალო საკონტაქტო წნევა, როცა ნამზადზე მიწოლას ან მის გაჭიმვას ადგილი არა აქვს.

მაშასადამე, საშუალო საკონტაქტო წნევა უდრის:

$$\bar{p} = n_x n'_1 n''_1 n'''_1 t_s = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,07 \cdot 50 = 61,5 \text{ მპა (6,15 კგ/მმ}^2\text{)},$$

სადაც  $t_s = 50$  მპა (5 კგ/მმ<sup>2</sup>) არის ტყვიის ნიმუშის კუმშვაზე დენადობის ზღვარი.

განვსაზღვროთ დეფორმაციის ძალა, ნამზადზე მანიპულატორის მიწოლის ძალის გათვალისწინების გარეშე:

$$P' = \bar{p}' \cdot F_{kont} = 61,5 \cdot 10^6 \cdot 1509 \cdot 10^{-6} = 92800 \text{ ნ (9280 კგძ)}$$

ღერძული ძალა ინსტრუმენტზე ასეთ შემთხვევაში უდრის:

$$R' = P' \cdot tg \zeta = 92800 \cdot 0,08125 = 7540 \text{ ნ (754 კგძ)}.$$

ძაბვა ნაძზადში იქნება:  $\dagger_0 = \frac{R'}{F_0}$ , სადაც  $F_0$  არის ნაძზადის განივკვეთის

ფართობი:

$$F_0 = \frac{f d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ მმ}^2 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2;$$

$$\dagger_0 = \frac{7540}{314 \cdot 10^{-6}} = 24 \cdot 10^6 \text{ პა} = 24 \text{ მპა (2,4 კგძ/მმ}^2\text{)}.$$

მაშინ კოეფიციენტი  $n_{\dagger}''' = 1,0 \cdot (1 + \frac{24}{2 \cdot 615}) = 1,195$ .

საშუალო საკონტაქტო წნევა ინსტრუმენტზე მანიპულატორის მიწოლის ძალის გათვალისწინებით უდრის:

$$\bar{p} = 1,195 \cdot 61,5 = 73,5 \text{ მპა (7,35 კგძ/მმ}^2\text{)}.$$

4) დეფორმაციის ძალა ტოლია:

$$P = \bar{p} F_{kont} = 73,5 \cdot 1509 \cdot 10^6 = 1109105 \text{ (11091 კგძ)}.$$

ანალოგიურად, მიიღება მოჭიმვის ძალების მნიშვნელობები დეფორმაციის კერის პარამეტრების სხვადასხვა სიდიდეებზე. ცხრილში 2. მოცემულია ანგარიშის საბოლოო შედეგები.

ცხრილი 2. მოჭიმვის ძალების საანგარიშო მნიშვნელობები

№	$d_0$	$d_1$	$h$	$\Delta r$	$\Delta d = 2\Delta r$	$r$	$L$	$F_{Kont}$	$P$
	მმ	მმ	მმ	მმ	მმ	გრად	მმ	მმ <sup>2</sup>	ნ
1	20	16	12	1	2	4,36	26,7	1509	110910
2	20	16	8	0,665	1,33	4,36	26,7	1509	51200
3	24	16	12	1	2	4,36	49,4	3102	257400
4	24	16	8	0,665	1,33	4,36	49,4	3102	118400
5	20	16	12	1	2	8,0	16,3	921	67700
6	20	16	8	0,665	1,33	8,0	16,3	921	31200
7	24	16	12	1	2	8,0	30,5	1916	157200
8	24	16	8	0,665	1,33	8,0	30,5	1916	77200



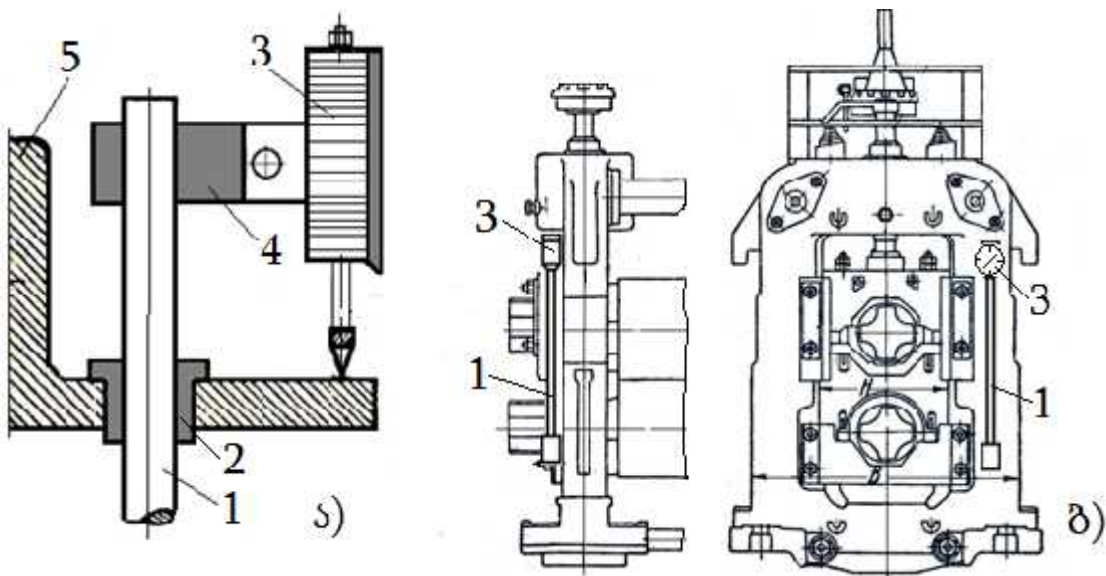
## 2.4. რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა

### 2.4.1. ლითონების წნევით დამუშავების დანადგარებში ძალების გამზომი ხელსაწყოების მიმოხილვა

ამჟამად ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებში ლითონის წნევის განმსაზღვრელი მრავალი ხელსაწყოები არსებობს, რომლებიც თავიანთი მოქმედების პრინციპით განსხვავდება ერთმანეთისაგან. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

#### სადგარის დრეკადი დეფორმაციის განმსაზღვრელი ხელსაწყოები

აღნიშნული ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი ემყარება დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებში ძაბვასა და დეფორმაციას შორის სწორხაზოვანი დამოკიდებულების კანონს. მოცემულ შემთხვევაში დრეკად დეფორმაციას განიცდის სადგარი და სწორედ მისი მცირეოდენი წაგრძელებით ვმსჯელობთ მასზე მოქმედი გამჭიმავი ძალის სიდიდეზე, რომელიც პირდაპირ კავშირშია გლინებზე ლითონის წნევასთან. ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი ხელსაწყო სქემა, რომელიც აღნიშნულ პრინციპს ემყარება, მოცემულია მე-8 ნახ-ზე.



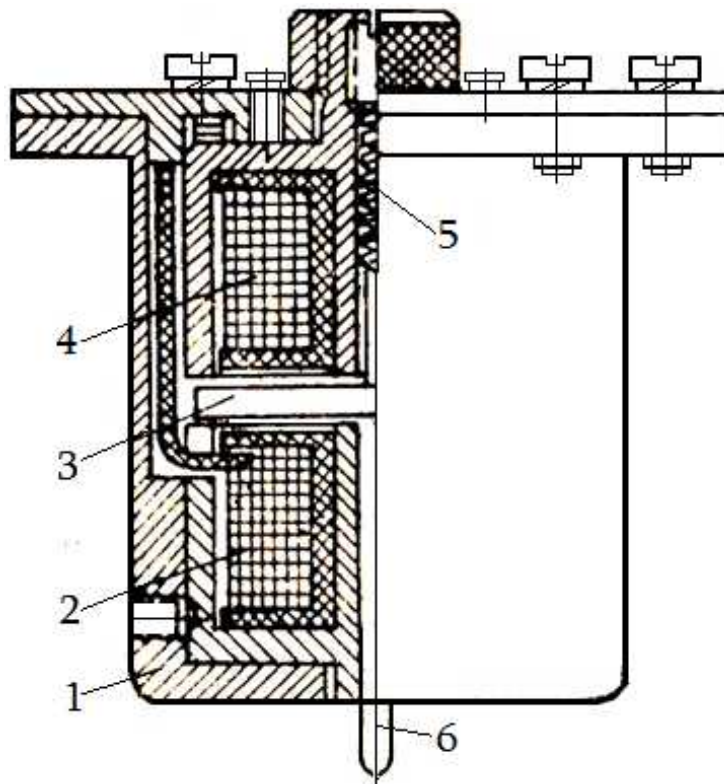
**ნახ.8. გლინებზე ლითონის წნევის განსაზღვრა ციფრული ინდიკატორით:**

ა - დეფორმაციის გამზომის ზედა ნაწილი; ბ - ხელსაწყო დაყენების სქემა

ღეროს 1 ქვედა ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული სადგარში, ხოლო ზედას თავისუფლად შეუძლია მოძრაობა მილისაში 2. ღეროს ზედა ბოლოზე ხისტად არის დამაგრებული ინდიკატორთან 3 შეერთებული მილისა 4. ინდიკატორის ფეხი (6) დადებულია სადგარის ზედა ნაწილზე ხისტად დამაგრებულ კუთხოვანაზე 5. მუშაობის დაწყების წინ ინდიკატორს მისი ციფერბლატის შემობრუნებით აყენებენ ნულზე.

ინდიკატორულ დანადგარს გააჩნია თავისი დაგრადუირებული მრუდი, რომელიც გვიჩვენებს (მილიმეტრის მესადებში) ინდიკატორის ისრის გადაადგილების დამოკიდებულებას საძიებელ დატვირთვასთან (ტონებში). მისი გაზომვის სიზუსტე 0,01 მმ-მდეა.

უფრო ზუსტი გაზომვებისათვის იყენებენ ინდუქციურ გადამწოდებს, რომელთა სიზუსტე აღწევს 1 მიკრონს. ნახ.9.-ზე წარმოდგენილია ЦНИИТ-МАШ-ის სისტემის ინდუქციური გადამწოდი. ამ გადამწოდს ამაგრებენ ღეროზე 1 (იხ. ნახ.8ა), ისე, რომ მისი ფეხი 6 ეხებოდეს კუთხოვანას 2.

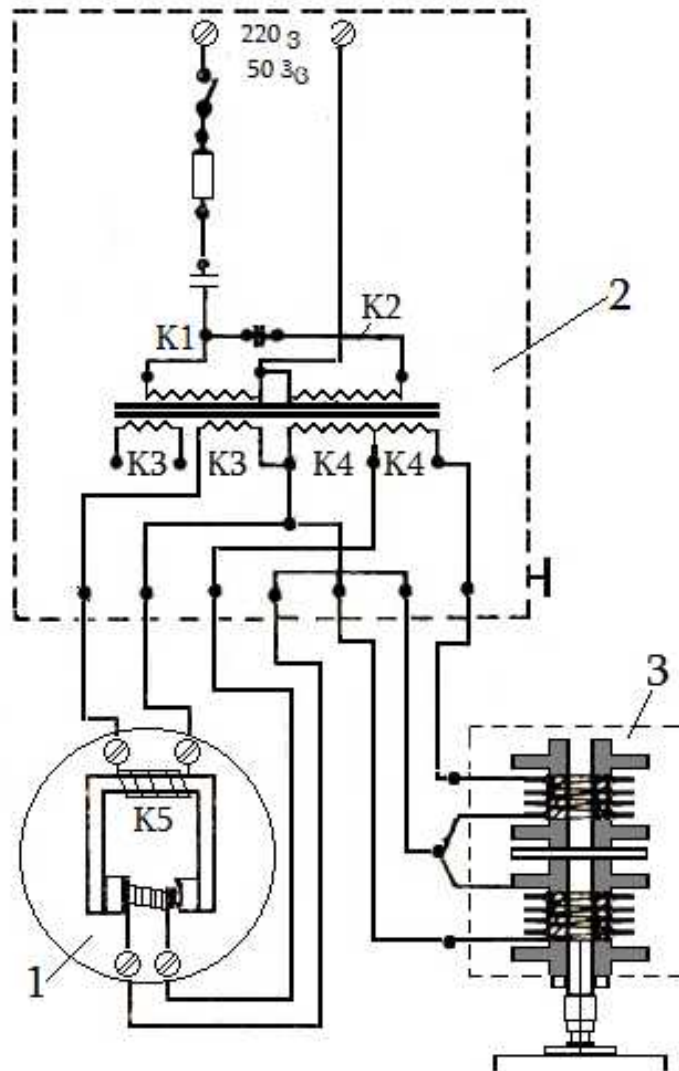


ნახ.9. ინდუქციური გადამწოდი:

1-კორპუსი; 1 და 4-ხვია; 3-ლუზა; 5-ზამბარა; 6-ფეხი

სადგარის გაჭიმვისას ფეხი 6, რომლის მეორე ბოლოზეც 3 ღუზა არის დამაგრებული, გადაადგილებს გადამწოდს ინდუქციური ხვიების 2 და 4 მიმართ. ღუზასა 3 და ხვიებს 2 და 4 შორის ღრეჩოს შეცვლით, რის გამო იცვლება მათი ინდუქციური წინააღმდეგობა. ვინაიდან აღნიშნული ხვიები ქმნიან ბოგირს და მხრებს (ნახ.10.), რომელთა შორისაც ღრეჩოს შეცვლით დავარდვით წონასწორობა, ამიტომ მათ ნეიტრალურ ხაზში (დიაგონალში) გაჩნდება დენი, რომელიც გამოიწვევს გალვანომეტრის ისრის გადახრას.

ბოგირის დანარჩენი ორი მხარი შექმნილია მკვებავი ინდუქტიური ხვიებისაგან K<sub>3</sub> და K<sub>4</sub>. სქემა იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან (220 ვ) K<sub>1</sub> და K<sub>2</sub> ხვიების გავლით.



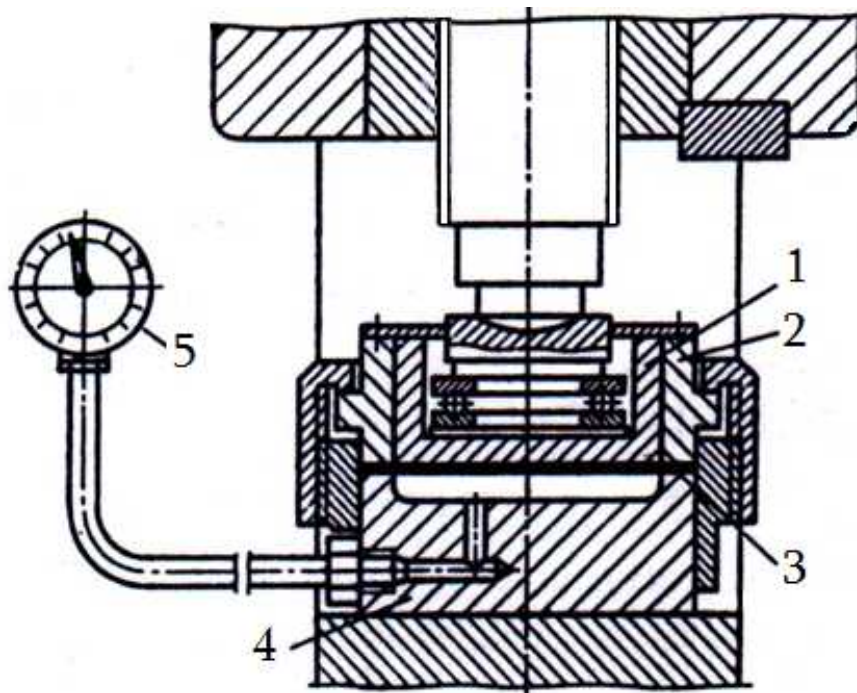
ნახ. 10. ინდუქციური გადამწოდის ელექტრული სქემა

სადგარის დეფორმაციის შეწყვეტისთანავე გადამწოდი უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას და ბოგირის მხრების წონასწორობის აღდგენის შემდეგ გალვანომეტრის 1 ისარი დგება ნულზე.

### ჰიდრავლიკური მესდოზა

ჰიდრავლიკური მესდოზის მოქმედების პრინციპი მეტად მარტივია და ნათლად ჩანს მე-11. ნახ-დან.

ჰიდრავლიკური მესდოზა შეიცავს შედგენილ კორპუს-ჭიქას 2,4 და ყვინთას 3. კორპუს-ჭიქაში ყვინთას ქვეშ ჩასხმულია სითხე - გლიცერინი. სითხის გაჟონვის აცილების მიზნით ყვინთა და სითხეს შორის დაყენებულია რეზინის მემბრანა 3, რომლის ნაპირები მოჭერილია კორპუსსა და ჭიქას შორის.



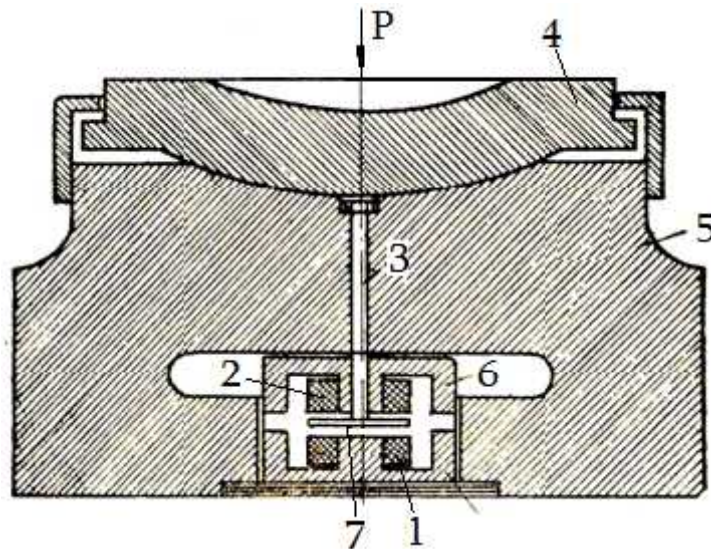
ნახ.11. ჰიდრავლიკური მესდოზა

ჰიდრავლიკურ მესდოზას ათავსებენ დგანის დამწნევი ხრახნის ქვეშ. წნევის სიდიდეს კი გვიჩვენებს დაგრადულირებული მანომეტრი 5.

ჰიდრავლიკური მესდოზა კონსტრუქციით მარტივია და მოქმედებაში საიმედო. მისი გამოყენება ზალების გასაზომად შესაძლებელია როგორც საგლინ დგანებზე, ასევე ლითონების წნევით დამუშავების სხვა მანქანებში.

### ინდუქციური მესდოზა

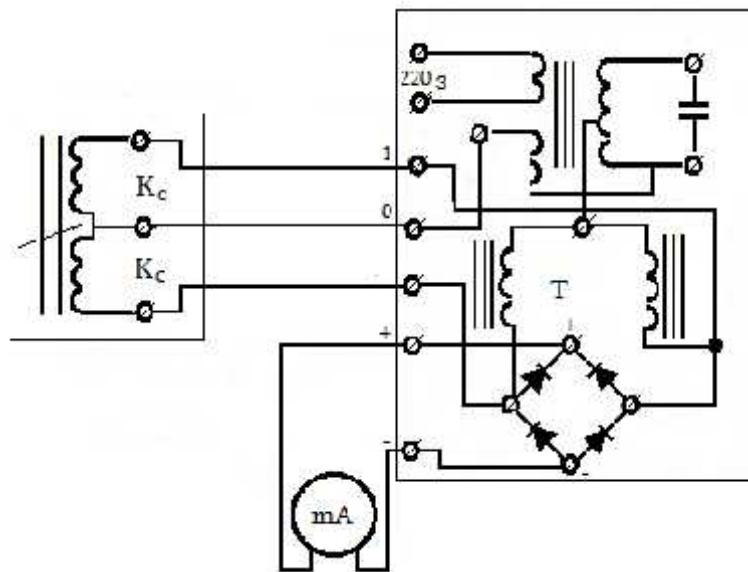
ინდუქციური მესდოზის მუშაობის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ გასა-ზომი ძალის  $P$  საქუსლეზე 4 დაწოლისას (ნახ. 12.) კორპუსის 5 ზედა ნაწილი განიცდის დრეკად ღუნვას და ღეროს 3 გადაადგილებს ქვემოთ. ამ ღეროსთან ერთად გადაადგილდება ფოლადის ღუზა 7. ინდუქციური კოჭების ხვიები 1 და 2 დამაგრებულია გულარზე 6. ვინაიდან 1 და 2 ხვიებს შორის ღრეჩო მუდმივია, ღუზის გადაადგილებით მივიღებთ ზედა ღრეჩოს გაზრდას ქვედას ხარჯზე. ამის შედეგად ხვიათა თვითინდუქციის კოეფიციენტი და, მაშასადამე, მათი ინდუქციური წინააღმდეგობაც შეიცვლება, რაც გამოიწვევს ხვიებში დენის ცვლილებას, რომელიც გაიზომება მილიამპერმეტრის საშუალებით.



ნახ.12. ინდუქციური მესდოზა

ინდუქციური მესდოზის ელექტრული სქემა (ნახ.13) წარმოადგენს ბოგირს, რომლის მხრებშიც ჩართულია რეაქციული  $K_c$  ხვიები და ძაბვის 110-დან 10 ვოლტამდე დამდაბლებული ტრანსფორმატორის  $T$  პირველადი

გრაგნილი. სქემა მგრძნობიარეა ქსელის ძაბვის ცვლილებებისადმი, ამიტომ გამოიყენებენ ძაბვის სტაბილიზატორს C, რომელიც აგრეთვე ძაბვის (220-დან 110 ვოლტზე) ტრანსფორმატორს წარმოსდგენს. დენის გამმართველ მოწყობილობას წარმოადგენს კუპროქსი.



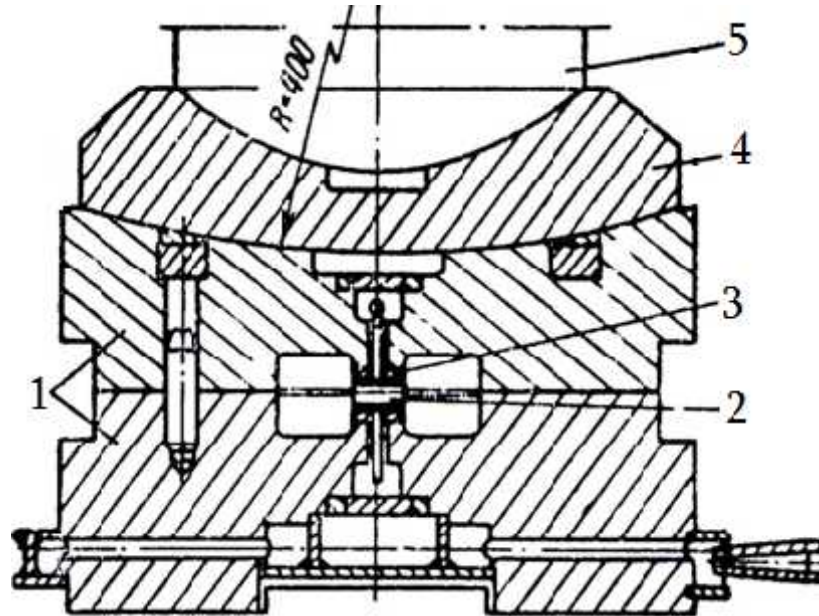
ნახ.13. ინდუქციური მესდოზის ელექტრული სქემა

მესდოზის დაგრადუირებას ახდენენ წნეხზე და აგებენ გრადუირების მრუდს - აბსცისაზე გადაზომავენ წნევას ტონებში, ხოლო ორდინატზე დენის ძალას მილიამპერმეტრებში.

### კონდენსატორული მესდოზა

კონდენსატორული მესდოზა (ნახ.14) შედგება ფოლადის კორპუსისაგან 1, რომელშიც მოთავსებულია ორი მრგვალი ფირფიტა 2. ეს ფირფიტები დამზადებულია უჟანგავი ფოლადისაგან და მათ აქვს სუფთად გახეხილი ზედაპირები. ფირფიტები 2 იზოლირებულია კორპუსისაგან ებინიტის შუასადებებით 3 და მათ შორის არის 0,1 მმ სისქის ჰაერის ღრეჩო.

მაშასადამე, ფირფიტები ფაქტობრივად ჰქმნიან კონდესატორს, რომელსაც მათი ფართობის პროპორციული გარკვეული ტევადობა გააჩნია.



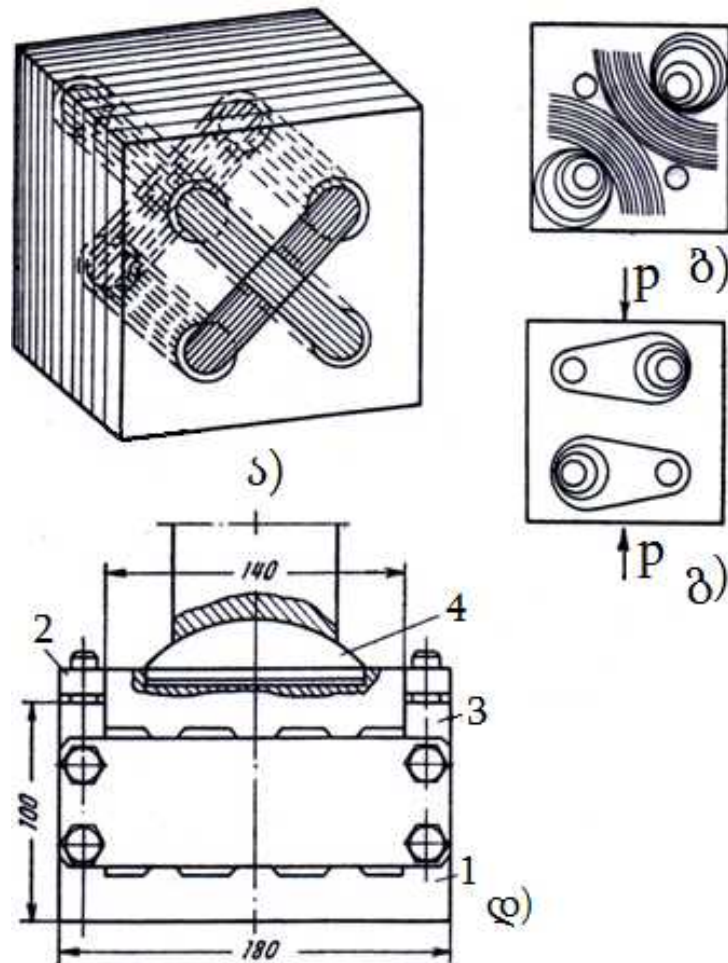
ნახ.14. კონდენსატორული მესღოზა

როდესაც დამწნევი ხრახნისაგან 5 ძალა საქუსლის მეშვეობით გადაეცემა მესღოზას, ეს უკანასქნელი დრეკადად დეფორმირდება და ჰაერის ღრეჩოს სისქე მცირდება, რაც შეცვლის კონდესატორის ტევადობას და დენის ძალას იმ წრედში, რომელშიც ეს კონდესატორია ჩართული.

### მაგნიტოსტრიქციული მესღოზა

მაგნიტოსტრიქციული ანუ მაგნიტოდრეკადი მესღოზის (ნახ.15) მოქმედება დამყარებულია მაგნიტოსტრიქციის მოვლენაზე, რომელიც მდგომარეობს მაგნიტურ ველში მყოფი ფერომაგნიტური მასალის მაგნიტური შეღწევადობის შეცვლაში, რაც გამოწვეულია მისი დრეკადი დეფორმაციით. მესღოზის გადამწოდი შედგება ტრანსფორმატორული ფოლადის ფირფიტების პაკეტისაგან; ფირფიტების სისქე უდრის 0,5 მმ, ხოლო პაკეტის - (100-200) მმ. პაკეტის დიაგონალებში გაკეთებულია

გამჭოლი ნახვრეტები, რომლებშიც ჩაწყობილია ორი ურთიერთპერპენდიკულარული გრაგნილი.



**ნახ.15. მაგნიტოსტრიქციული მესდოზა:**

ა - კოჭების განლაგების სქემა; ბ - მაგნიტური ძალწირების მიმართულება; გ - მაგნიტური ნაკადის შეცვლა დატვირთვის დროს; დ - მესდოზა საერთო ხედი

პირველადი გრაგნილი შეიცავს 1 მმ-იანი მავთულის 50-100 ხვიას და მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან, ხოლო მეორადი - 150-300 ხვიას და ის მიერთებულია გალვანომეტრთან ან ოსცილოგრაფთან.

როცა მესდოზა დაუტვირთავია მაგნიტური წალწირებით შემოწვდომილია მხოლოდ პირველადი გრაგნილი (ნახ. 15 ბ), რომელშიც დენი გადის. მესდოზის პაკეტზე დატვირთვის მოდების შემთხვევაში (ნახ. 15 გ) ფირფიტების მაგნიტური შეღწევადობა მცირდება ვერტიკალური მიმართულებით და მატულობს ჰორიზონტალური მიმართულებით; ამის



შედეგად მეორად გრაგნილში დაინდუცირდება ელექტრომაგნიტური ძალა, რასაც გვიჩვენებს გალვანომეტრი.

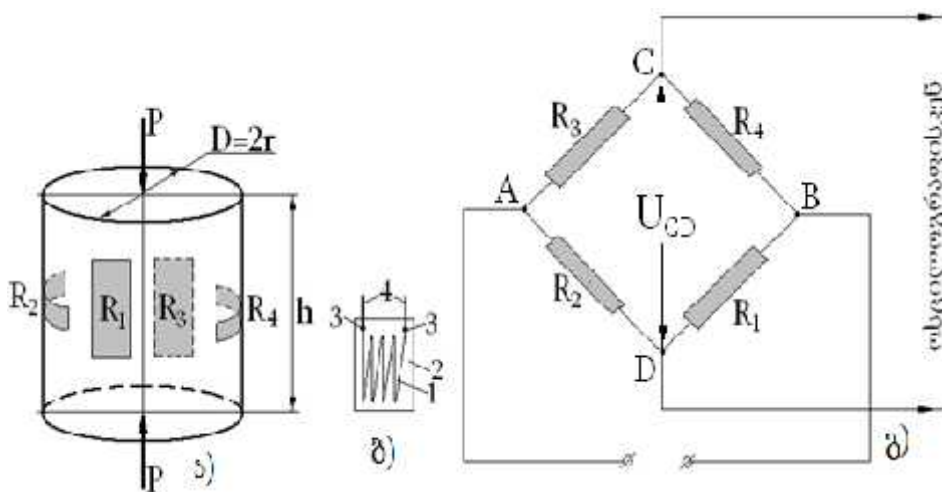
კონსტრუქციულად მაგნიტოსტრიქციული მესდოზა (ნახ. 15 დ) შედგება კორპუსისაგან 1, სახურავისგან 2, გვერდითი მიმჭერი თამასებისაგან 3, რომლებიც აფიქაირებენ სამი პაკეტის მდგომარეობას კორპუსის შიგნით და საქუსლესაგან 4.

მაგნიტოსტრიქციულ მესდოზას ახასიათებს მაღალი მგრძობიარობა და დაბალი ინერციულობა, ის იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან და მის გამოსავალ სიგნალს არ სჭირდება გაძლიერება.

### მავთულგადამწოდინი მესდოზა

გლინვის წარმოებაში ძალების გასაზომად ფართო გამოყენება ჰპოვა მავთულგადამწოდინი მესდოზებმა (ნახ. 16).

მავთულგადამწოდინი მესდოზა შეიცავს დრეკად ელემენტს ღეროს, მილისას ან სხვა ფორმის დეტალის სახით, რომლის ზედაპირზე აწებებენ მავთულგადამწოდებს გრძივი და განივი მიმართულებით (იხ.ნახ. 16ა). მავთულგადამწოდების შეერთება შეიძლება იყოს ელექტროწინალობის ბოგირის (იხ.ნახ.16გ) ან ნახევარბოგირის სქემით.

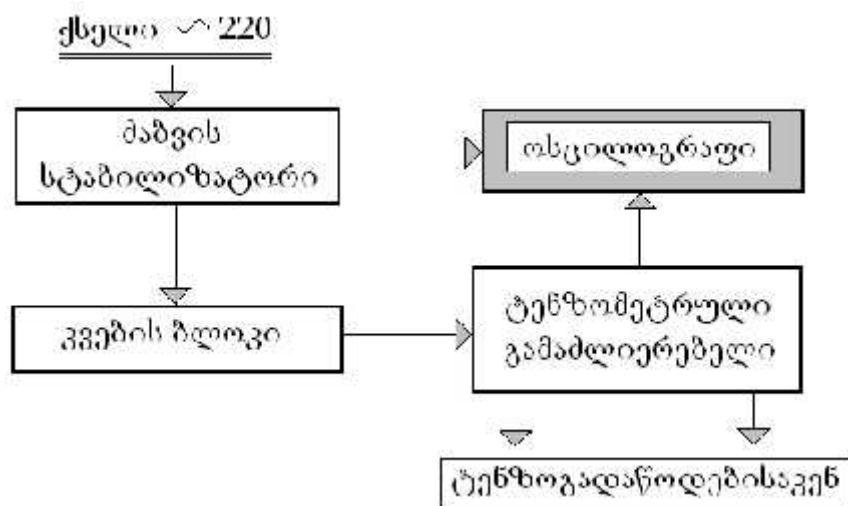


ნახ. 16. მავთულგადამწოდინი მესდოზა

ა - მესდოზის დრეკადი ელემენტი; ბ - მავთულგადამწოდი (1. მავთული; 2. ქაღალდის ფუბე; 3. მინარჩილი; 4. გამოსავალი წვეროები); გ - მავთულ-გადამწოდების შეერთების სქემა

მესლოზა უერთდება ტენზომეტრულ აპარატურას, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.17-ზე.

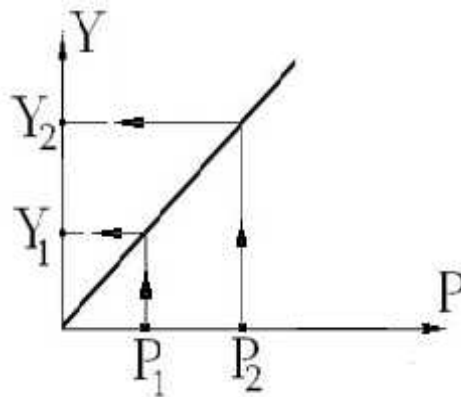
მავთულგადამწოდინი მესლოზის მოქმედების პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს. ძალით დატვირთვის დროს მესლოზის დრეკადი ელემენტი განიცდის დეფორმაციას, რომელიც დატვირთვის პროპორციულია. შესაბამისად დეფორმირდება მის ზედაპირზე დაწეპებული მავთულგადამწოდების (იხ.ნახ.16ა) მავთულები - დრეკადი ელემენტის კუმშვის დროს გრძივად მიმართული მავთულგადამწოდების მავთულების სიგრძე შემცირდება, მათი განივკვეთის ფართობი გაიზრდება, რაც გამოიწვევს ელექტროწინააღმდეგობის შემცირებას, ხოლო განივად დაწეპებული მავთულგადამწოდების მავთულებში კი პირიქით – ელექტროწინააღმდეგობა გაიზრდება. მავთულგადამწოდების დეფორმაცია და მასთან დაკავშირებული ელექტროწინააღმდეგობის შეცვლა გამოიწვევს ელექტრული ბოგირის (იხ.ნახ.9გ) დებალანსს და ელექტრული სიგნალის გაჩენას, ამასთან ეს სიგნალი მით უფრო ძლიერი იქნება, რაც უფრო დიდი იქნება მესლოზის დატვირთვა. გაძლიერების შემდეგ სიგნალი ფიქსირდება მარეგისტრირებელი აპარატურის, მაგალითად, ოსცილოგრაფის მიერ (იხ.ნახ.17).



ნახ.17. ტენზომეტრული აპარატურის ჩართვის ბლოკ-სქემა

ოსცილოგრაფის საშუალებით მესდოზის სიგნალს დატვირთვის მთელი პროცესის მსვლელობაში აფიქსირებენ ფოტოლენტზე. ზოგ შემთხვევაში სარგებლობენ ჩვეულებრივი მილიამპერმეტრით. მიღებული ჩანაწერის მასშტაბი განისაზღვრება მესდოზის ტარირებით (გრადუირებით). ამ მიზნით მესდოზას ტვირთავენ წინასწარ ცნობილი ძალით და აფიქსირებენ მესდოზასთან დაკავშირებული ჩამწერი მოწყობილობის (ოსცილოგრაფი, მილიამპერმეტრი) ჩვენებას.

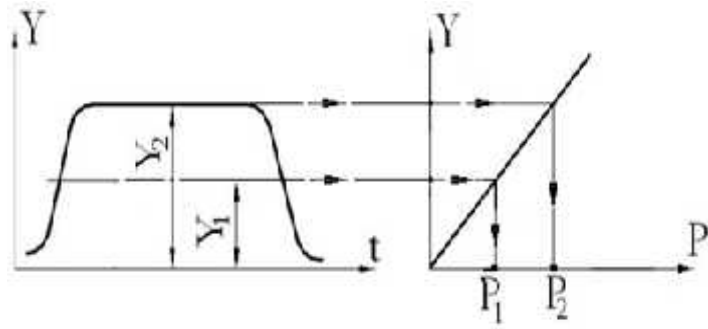
მესდოზის სხვადასხვა ძალებით დატვირთვის მონაცემების მიხედვით აგებენ ტარირების გრაფიკს სადაც არის მესდოზის დატვირთვის ძალა; მეორადი ხელსაწყო ჩვენებაა (ნახ.18).



ნახ.18. მესდოზის ტარირების გრაფიკი

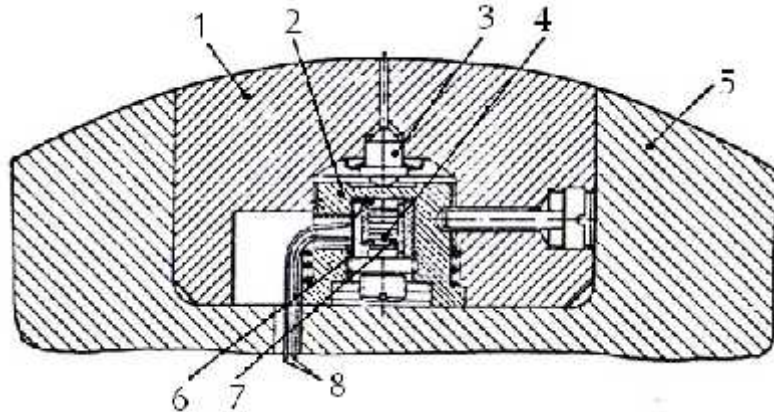
ტარირების შემდეგ მესდოზებს აყენებენ საგლინავ დგანში დამწვევი ხრახნების ქვეშ და აერთებენ საზომ აპარატურასთან. ჩვეულებრივად, მესდოზებს აყენებენ ორივე დამწვევი ხრახნის ქვეშ, ამასთან შესაძლოა მესდოზების ჩვენებები დაფიქსირდეს ცალ-ცალკე ან როგორც ჯამური სიგნალი. უკანასკნელ შემთხვევაში მესდოზებს პარალელურად მიაერთებენ საზომ აპარატურასთან.

გაზომვის შედეგად და ტარირების გრაფიკის გამიყენებით მიიღება გლინვის წნევა (ნახ. 19).



ნახ. 19. ოსცილოგრამის დამუშავება ტარირების გრაფიკის გამოყენებით

ამჟამად გლინებზე ლითონის წნევას ექსპერიმენტულად ზომავენ სპეციალური მესდოზებით, რომლებიც უშუალოდ გლინებში ჩამონტაჟებული. ნახ. 20-ზე წარმოდგენილია გლინზე ლითონის წნევის ექსპერიმენტულად განსაზღვრისათვის განკუთვნილი ასეთი მოწყობილობის პრინციპიული სქემა.



ნახ.20. ნახშირის მესდოზა გლინვის ძალის გაზომვისათვის:

1.სადები; 2. მესდოზის კორპუსი; 3.წკირი; 4.ნახშირის ელემენტი; 5.გლინი; 6. ნახ-შირის ელემენტის კორპუსი; 7. საიზოლაციო მილისა; 8. მავთულები

გლინის კასრში გაკეთებულია კილო, რომელშიც ჩაყენებულია სადები მასდოზით. სადების რადიალურ ნახვრეტში იმყოფება წკირი (დიამეტრი 1 – 2 მმ), რომელიც თავისი ფუძით ეყრდნობა მესდოზას. მესდოზა წარმოადგენს ცილინდრულ ჭიქას, რომელშიც იმყოფება კონდენსატორის ფირფიტები (კონდენსატორული მესდოზა), ნახშირის ელემენტები (ნახშირის მესდოზა), შეიძლება აგრეთვე თვით ცილინდრულ

ჭიქაზე იყოს დაწეპებული მავთულგადამწოდები (მავთულ-გადამწოდებიანი მესდოზა).

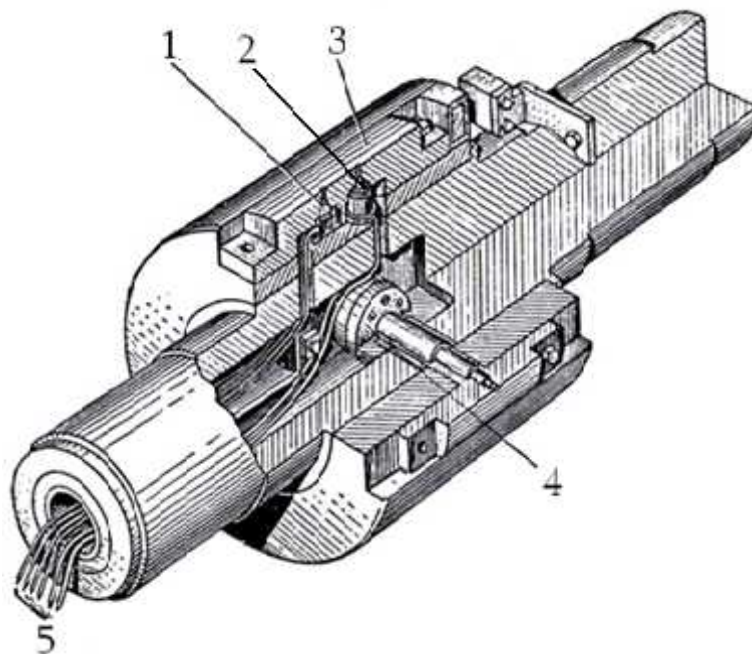
გლინვის დროს მესდოზის წკირი, გაივლის რა დეფორმაციის ზონას, აღიქვამს ლითონის წნევას და გადასცემს მას მესდოზას, რის გამო იცვლება კონდენ-სატორის ტევადობა ან ნახშირის ელემენტების და მავთულ-გადამწოდების მავთულის ელექტროწინააღმდეგობა. ამ ცვლილების იმპულსი მავთულებით, რომლებიც გამოყვანილია გლინის ღერძული ნახვრეტიდან, მიეწოდება ელექტრულ სქემას და გარკვეული გარდაქმნის შემდეგ ოსცილოგრაფს ან სხვა რომელიმე მარეგისტრირებელ ხელსაწყოს, რომელიც აფიქსირებს გლინზე მოქმადი ძალის ცვლილებას გლინვის პროცესის განმავლობაში.

ნახ.21-ზე წარმოდგენილია გლინში სამი მესდოზის ჩაყენების სქემა – ორი მესდოზა (ნახშირის) დგას ერთ სიბრტყეში (პოზ.2), ხოლო მესამე მესდოზა (კონდენსატორული) დაძრულია მათ მიმართ 90 გრადუსით (პოზ.4).

მესდოზების ასეთი ჩაყენება საშუალებას გვაძლევს გამოვიკლიოთ გლინვის წნევის განაწილება გლინის სიგანეზე და ერთი ტიპის მესდოზების ჩვენება ვაკონტროლოთ მეორე ტიპის მესდოზებით.

ლაბორატორიულ პირობებში მცირე დატვირთვების (25 – 30 კნ) შესაძლებელია დინამომეტრების გამოყენება. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ДОСМ 3 -5 ტიპის დინამომეტრი (ნახ.22).

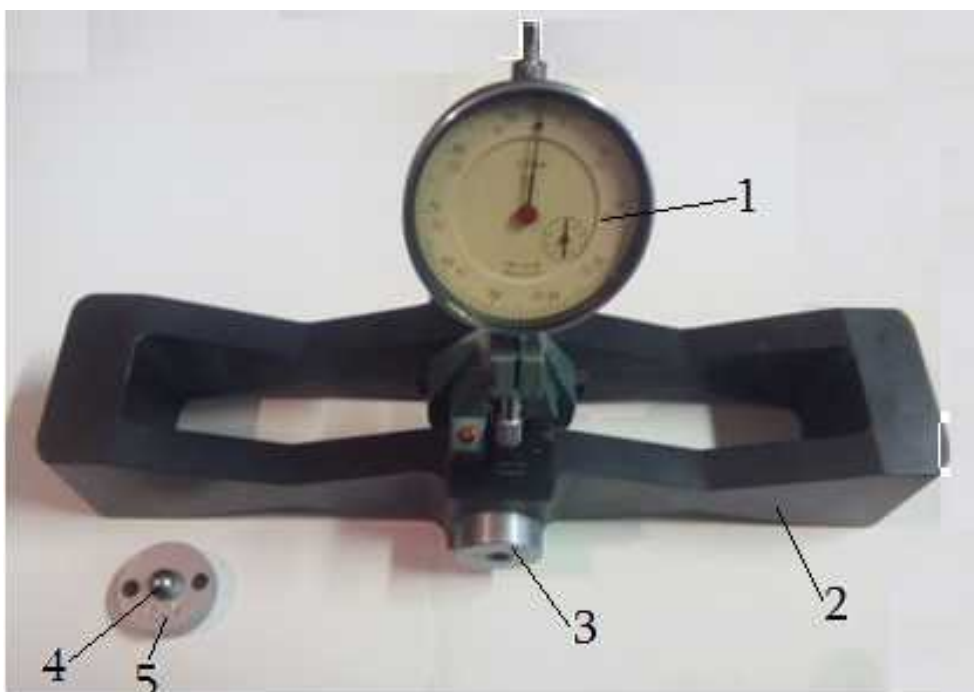
დინამომეტრი ДОСМ 3 -5 მიეკუთვნება სანიმუშო საზომ მოწყობილობებს და გამოიყენება საცდელი მანქანების ძალის მზომების შესამოწმებლად, აგრეთვე - სტატიკური ძალების მაღალი სიზუსტით გაზომვისათვის.



**ნახ.21. გლინში სამი მესდოზის ჩაყენება:**

1,2. ნახშირის მესდოზები; 3. საღებო; 4. ტევადობითი მესდოზა; 5. მავთულები

დინამომეტრის ტექნიკური მახასიათებლები და ძირითადი პარამეტრები მოცემულია ცხრილში 3.



**ნახ.22. დინამომეტრი ДОСМ 3 -5:**

1 - ინდიკატორი; 2 - დრეკადი კავი; 3 - საყრდენი; 4 - ბურთულა; 5 - ბალიში

ცხრილი 3: დინამომეტრის ДОСМ 3 -5 ტექნიკური მახასიათებლები

№	პარამეტრი	მნიშვნელობა
1	მინიმალური დატვირთვა, კგ	500
2	მაქსიმალური დატვირთვა, კგ	5000
3	სკალის დანაყოფის სხვაობა, კგ	7,5
4	ჩვენების ცვლილება შემოწმებებშორისი პერიოდში (1 წელი), %	0,7
5	ტემპერატურული კოეფიციენტი, გრად <sup>-1</sup>	0,0003 ± 0,00005
6	ჩვენების სხვაობა პირდაპირი და საწინააღმდეგო დატვირთვებაზე, %	0,8
7	მგრძნობიარების ზღუდე, %	0,02
8	გაბარიტები: სიგრძე x სიგანე x სიმაღლე, მმ	280 x165 x116
9	წონა, კგ	4

ამრიგად, ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებში მოქმედი ძალების გამზომი არსებული ხელსაწყოების კონსტრუქციების ზემოთმოყვანილი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თავისი მოქმედების პრინციპით, დამზადებით და გამოყენების თვალსაზრისით ყველაზე მარტივი და ხელსაყრელია ჰიდრავლიკური მესდოზა, ხოლო გაზომვის სიზუსტიდან გამომდინარე უპირატესობა ენიჭება ტენზორეზი-სტორულ გადამწოდებს.

#### 2.4.2. რადიალური მოჭიმვის ექსპერიმენტული მოწყობილობის შემუშავება

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩვენს ამოცანას წარმოადგენს რადიალური მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალების ექსპერიმენტული კვლევა. ამ მიზნის მისაღწევად შემუშავებულ იქნა რადიალური მოჭიმვის

სპეციალური მოწყობილობა, რომელმაც სტანდარტული გამისაცდელი პრესის დახმარებით საშუალება მოგვცა რადიალური დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე დაგვედგინა ცილინდრული ფორმის ტყვიის ნიმუშებზე მოქმედი ძალები.

ეს მოწყობილობა (ნახ.23) დამზადდა რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მექანიკურ საამქროში.

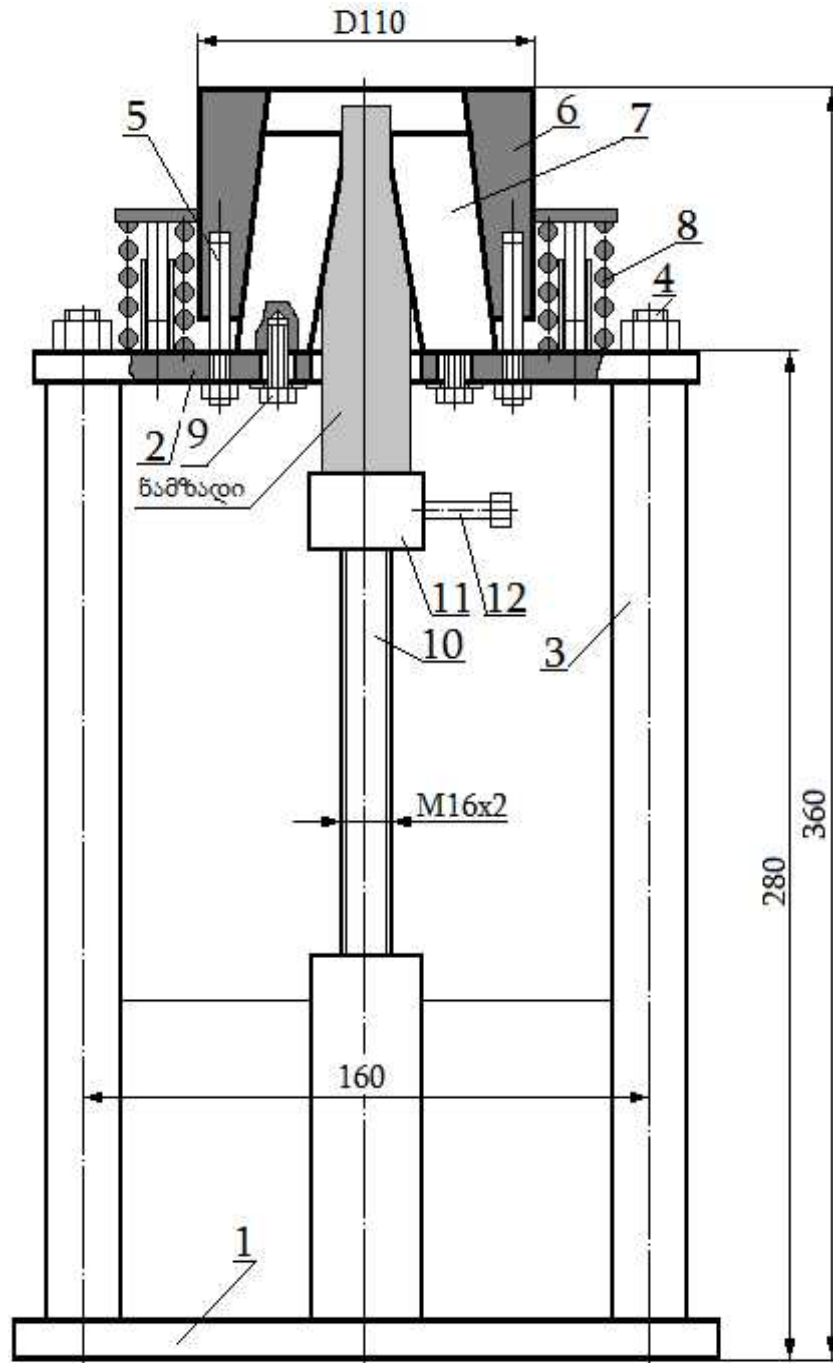


ნახ. 23. მოწყობილობა რადიალური მოჭიმვისათვის

მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა მოცემულია ნახ. 24-ზე. მოწყობილობა შეიცავს სადგარს, რომელიც შედგენილია ქვედა 1, ზედა 2



ფილებისაგან, ოთხი მილისებრი კოლონისაგან 3. ეს დეტალები ერთმანეთთან შეერთებულია სარქვებით 4. სადგარის ზედა ფილაზე 2 დამაგრებულია ორი მიმართველი შტიფტი, რომლებზედაც გადაადგილდება დამწოლი მილისა 6. დამწოლი მილისა 6 თავისი შიგა კონუსური ზედაპირით შეუღლებულია მომჭერების 7 გარე კონუსურ ზედაპირებთან. ასეთი მომჭერი ოთხი ცალია.



ნახ. 24. მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა

მომჭერების შიგა ზედაპირი დახრილია საჭედი მანქანების საცემელების მუშა ზედაპირის ანალოგიურად. მომჭერების გვერდით ზედაპირებზე ამოჭრილია ცილინდრული ჩაღრმავებები, რომლებშიც ჩაწყობილია ზამბარები (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის) - ეს ზამბარები უზრუნველყოფენ მომჭერების გარე კონუსური ზედაპირების მუდმივ კონტაქტს დამწოლი მილისას კონუსურ ზედაპირთან. დამწოლი მილისა 6 დაყრდნობილია ორ ზამბარაზე 8. ყოველივე მომჭერის 7 ფუძეში ჩახრახნილია ჭანჭიკი 9, რომლის დანიშნელებაა მომჭერის დაკავება ღერძული გადაადგილებიდან. ნამზადის მიწოდება დეფორმაციის კერაში ხდება ხრახნით 10, რომლის წინა თავზე დამაგრებულია მუდმივ ნამზადის დამჭერის ბუდე 11. ჭანჭიკი 12 აფიქსირებს ნამზადს დამჭერის ბუდეში.

რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა ასეთნაირად მუშაობს. ნიმუში ქვედა დაბოლოება ჩამაგრდება ნამზადის დამჭერის ბუდეში 11 ჭანჭიკით 12. მოწყობილობა მოთავსდება პრესის მაგიდაზე. ამის შემდეგ ხდება ნიმუშის მიწოდება დეფორმაციის კერაში ხრახნით 10 მანამ, სანამ ნიმუშის წინა ტირსი არ მიაღწევს მომჭერების 7 შიგა ზედაპირს. ჩაირთვება პრესი, რომლის ყვინთა გადაადგილებს დამწოლ მილისას 6 ქვედა მიმართულებით ანგარიშით გათვალისწინებულ მანძილზე. დამწოლი მილისა თავისი შიგა კონუსური ზედაპირით აწვება მომჭერების 7 გარე კონუსურ ზედაპირებს და აიძულებს მათ მიუახლოვდნენ ერთმანეთს, რის შედეგადაც ხორციელდება ლითონის პლასტიკური დეფორმაცია და ნიმუშის დიამეტრის მოჭიმვა გარკვეულ სიდიდეზე. შემდეგ ხდება პრესის რევერსი და დამწოლი მილისა 6 ზამბარების 8 მეშვეობით უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. ასევე საწყის მდგომარეობაში მოდის მომჭერები 7 და ათავისუფლებენ ადგილს დეფორმაციის კერაში ნიმუშის მომდევნო მიწოდებისათვის და შემდგომი მოჭიმვისათვის.

### 2.4.3. ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდის და შედეგები

რადიალური მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალების ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მასალების გამოცდის ლაბორატორიის პრესზე, რომელიც ფაქტობრივად წარმოადგენს კუმშვაზე გამოსაცდელ მანქანას MC – 500.

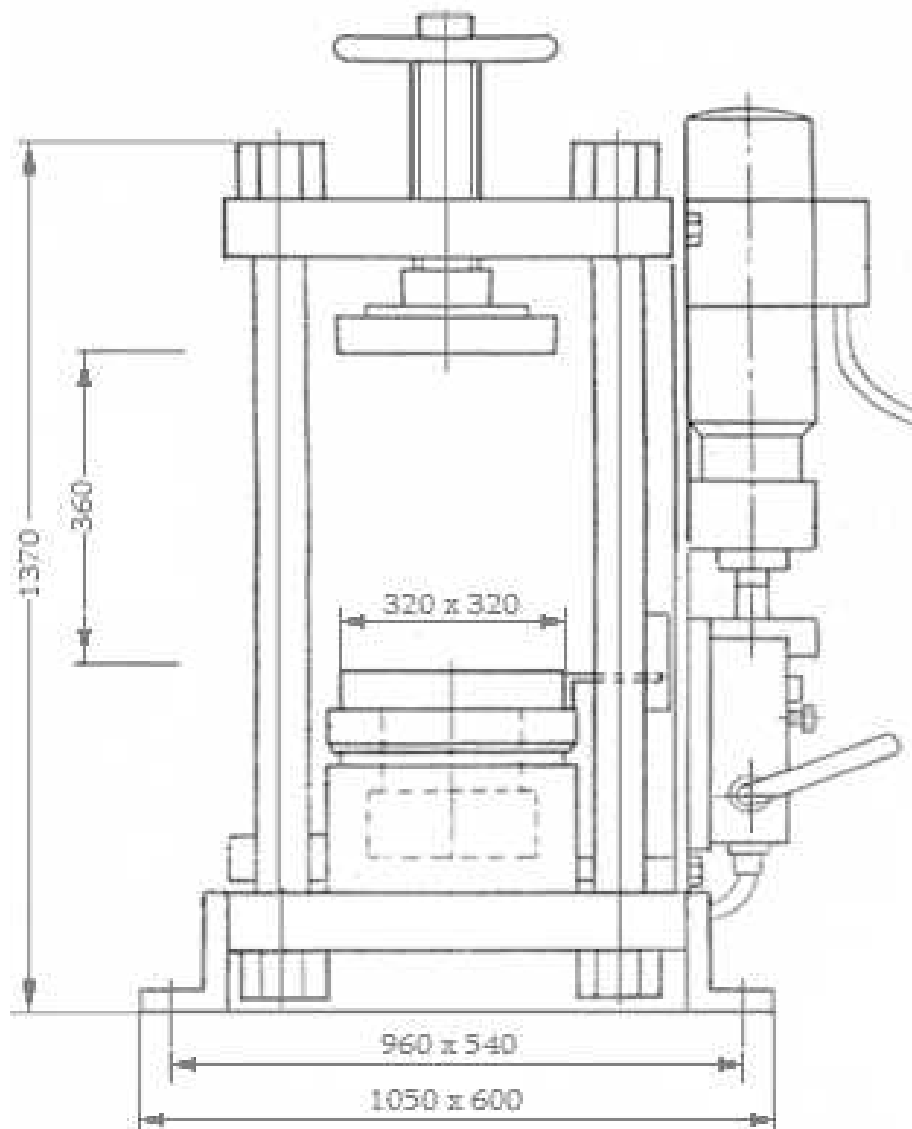
ნახ.25-ზე წარმოდგენილია საცდელი პრესი, მის მაგიდაზე დამაგრებული რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობით.

საცდელი პრესი განკუთვნილია სამშენებლო მასალების სტანდარტული ნიმუშების სტატიკური გამოკვლევისათვის კუმშვაზე. პრესი აღჭურვილია ჰიდრავლიკური ტიპის ძალის გამზომი ხელსაწყოთი, რომლის გაზომვის დიაპაზონი მერყეობს 20 -200 კნ და 50 – 500 კნ ფარგლებში.



ნახ.25. საცდელი პრესი MC – 500 და რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა

ნახ.26-ზე მოცემულია საცდელი პრესის სქემატური ნახაზი.



ნახ.26. საცდელი პრესის სქემატური ნახაზი

პრესის ტექნიკური მახასიათებლები:

- დამტვირთავი მოწყობილობის ტიპი: ორკოლონიანი, ვერტიკალური;
- მუშა ცილინდრის დიამეტრი: 160 მმ;
- მუშა ცილინდრის ფართობი: 201 სმ<sup>2</sup>;
- მუშა ცილინდრის დგუშის სვლა: 50 მმ;
- მუშა ცილინდრის დგუშის საყენებელი სვლა: 150 მმ;

- საყრდენი ფილების ზომები: 320 x 320 მმ;
- სამუშაო არის სიმაღლე: 360 მმ;
- მაღალი წნევის ტუმბოს ტიპი: ყვინთიანი, არარეგულირებადი;
- ნომინალური მუშა წნევა: 25 მპა;
- ტუმბოს მწარმოებლობა:  $1,3 \times 10^{-5}$  მ<sup>3</sup>/წამ;
- ლილვის ბრუნთა რიცხვი: 930 ბრუნ/წუთ;
- ზეთის რეკომენდირებული მარკები: MC-14, MC-20;
- გაბარიტული ზომები: სიგრძე x სიგანე x სიმაღლე - 1050 x 600 x 1370 მმ;
- მასა; 420 კგ.

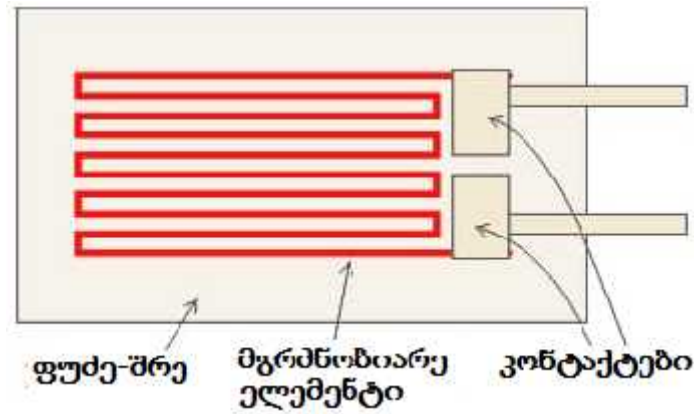
საცდელი წნეხი აღჭურვილია ჰიდრავლიკური ტიპის ძალის გამზომი ხელსაწყოთი, რომლის გაზომვის დიაპაზონი მერყეობს 20 – 500 კნ ფარგლებში.

ექსპერიმენტის უფრო ზუსტად ჩატარების მიზნით წნეხის ძალას ვზომავდით მემბრანული ტიპის ტენზომეტრული სენსორით M50 (ნახ.27). ამ ტიპის ტენზოგადამწოდებს აქვს მცირე ზომის დრეკადი ელემენტები, რის გამო უზრუნველყოფილია ამ ხელსაწყოების მონტაჟის სიმარტივე ნებისმიერ გამზომ სისტემაში. ტენზომეტრული სენსორები M50 განკუთვნილია ძალების ფართო სპექტრის გაზომვისათვის 1 კნ-დან 500 კნ-მდე (50 ტ).



ნახ.27. ტენზომეტრული სენსორი M50

ტენზომეტრული სენსორს აქვს მავთულგადამწოდეზი (ნახ.28), რომლებიც გამოიყენება კუმშვის ან გაჭიმვის დეფორმაციის დაფიქსირებისათვის.



ნახ.28. მავთულგადამწოდი

**ცხრილი 4. ტენზომეტრული სენსორის M50 ტექნიკური მახასიათებლები**

პარამეტრები	ერთეული	პარამეტრების მნიშვნელობები	
გაზომვის მაქსიმალური ზღვარი (გმზ)	კნ	5; 10; 20; 30; 50	
სიზუსტის კლასი ( 30129)		1	C3
სამოწმებელი ინტერვალების რიცხვი		1000	3000
მინიმალური სამოწმებელი ინტერვალი		გმზ / 5000	გმზ / 10000
გადაცემის მუშა კოეფიციენტი (გმკ)	/	$2 \pm 0,010$	$2 \pm 0,002$
გადაცემის საწყისი კოეფიციენტი (გსკ)	% გმკ-დან	< 3	< 3
კომბინირებული ცდომილება	% გმკ-დან	$\pm 0,040$	$\pm 0,020$
ცოცვადობა (30 წუთ)	% გმკ-დან	$\pm 0,049$	$\pm 0,025$
გსკ-ს ცვლილება ტემპერატურისაგან	% გსკ / °	$\pm 0,0028$	$\pm 0,0014$
გმკ-ს ცვლილება ტემპერატურისაგან	% გმკ / °	$\pm 0,0022$	$\pm 0,0011$

პარამეტრები	ერთეული	პარამეტრების მნიშვნელობები
მუდმივი დენის მაქსიმალური ძაბვა		12
შემავალი წინააღმდეგობა	ომი	750 ±15
გამოსავალი წინააღმდეგობა	ომი	700 ±1
იზოლაციის წინააღმდეგობა	გომი	5
თერმოკომპენსაციის დიაპაზონი	°	-10... +40
ტემპერატურის მუშა დიაპაზონი	°	-30... +50
შენახვის ტემპერატურის დიაპაზონი	°	-40... +50
დაცულობის ხარისხი ( 14254)		IP68
დასაშვები გადატვირთვა არა უმეტეს 1 საათის განმავლობაში	% გნზ-დან	25
დამრღვევი დატვირთვა	% გნზ-დან	300
გადამწოდის მასალა		უქანგავი ფოლადი

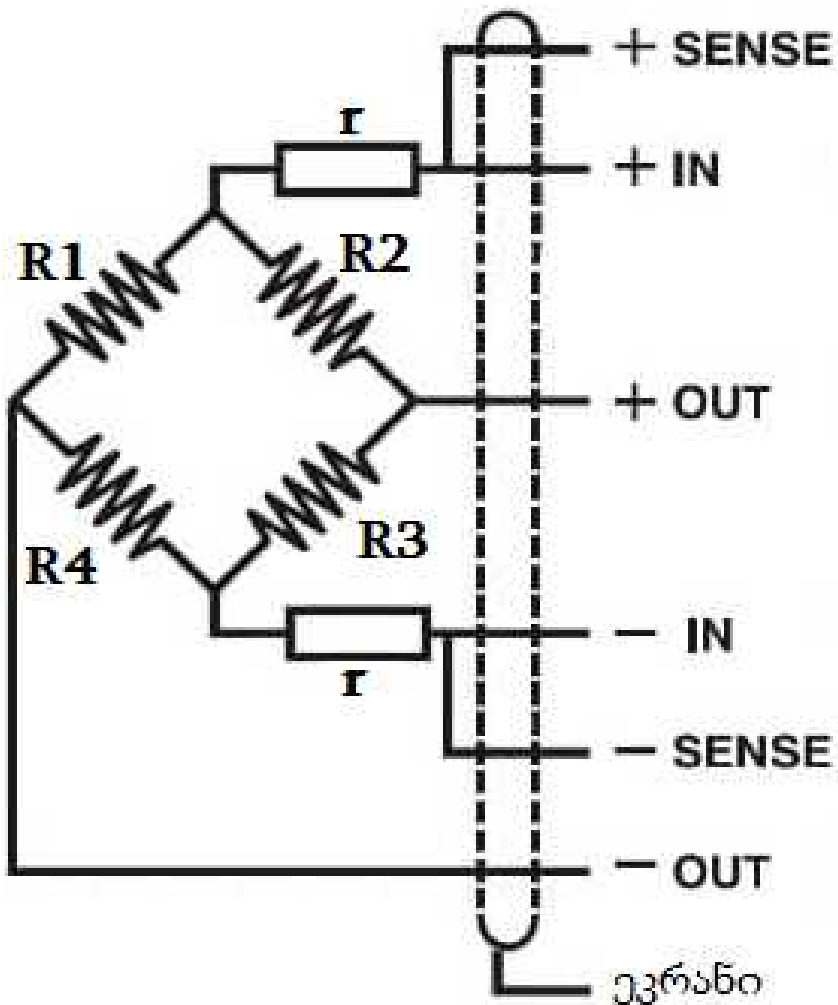
ანალოგური  
გამოსავალი  
4... 20 /0...  
5  
სიზუსტის  
კლასი 3  
30129  
აფეთქებაუსაფრთხო  
შესრულება  
კაბელის სიგრძე  
2... 100 მ  
გარანტია 4  
წელი  
შესრულებული  
ა უქანგავი  
ფოლადისაგან  
ჰერმეტიზებული  
ია ლაზერული  
შედულებით  
დაცულია

### გაბარიტული ზომები

გზ, კვ	H, მმ	R, მმ	მასა, კგ	კაბელის სიგრძე, მ
5	39	30	1,5	3
10	42	55	1,5	3

გარსაკრით IP68	20	42	55	1,5	3
	30	43	55	1,5	3
	50	44	55	1,5	

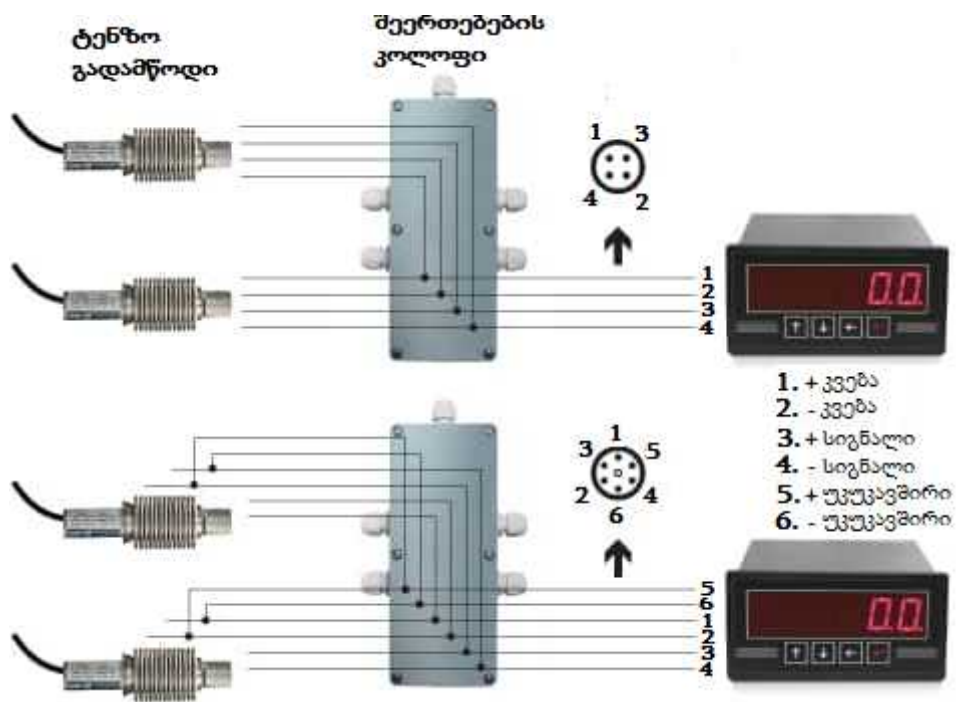
ტენზომეტრულ სენსორში M50 მავთულგადამწოდები შეერთებულია ელექტროწინალობის ბოგირის სქემით (იხ.ნახ.29).



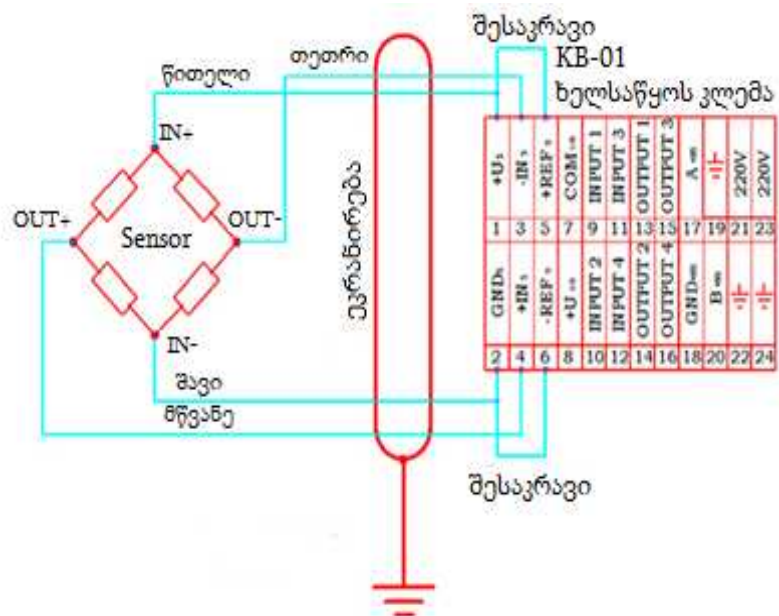
ნახ.29. მავთულგადამწოდების შეერთების სქემა

ნახ.30-ზე წარმოდგენილია სენსორების შეერთება გამზომ ხელსაწყოთან (მილივოლტმეტრი), ხოლო ნახ.31-ზე - გამზომი ხელსაწყო კლემების დასახელება.





ნახ.30. სენსორების შერთება გამზომ ხელსაწყოთან

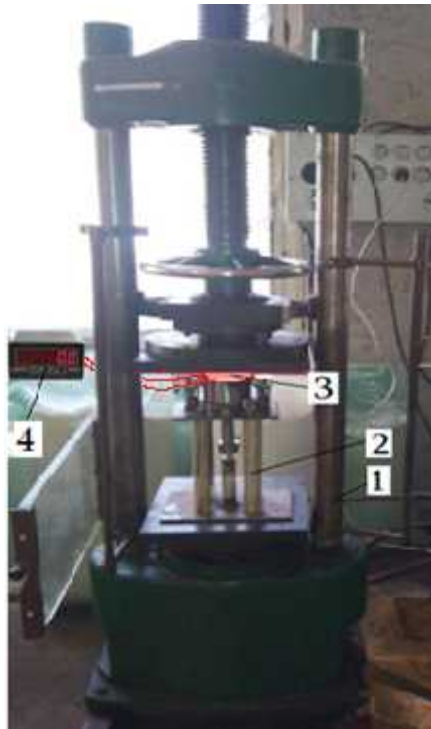


კონტაქტების დანიშნულება

- GND (-5V გადამწოდის კვება)
- "U" (+5V გადამწოდის კვება)
- +IN შესასვლელი AIII
- IN გასასვლელი AIII
- REF - უკუკავშირის შესასვლელი
- REF - უკუკავშირის გასასვლელი

ნახ.31. გამზომი ხელსაწყო კლემების დასახელება

ნახ.32-ზე წარმოდგენილია საცდელი წნეხი რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობით.



ნახ.32. საცდელი წნეხი MC – 500

1 - წნეხი; 2 - რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობა; 3 - ტენზო-სენსორი MK15;  
4 - მილივოლტმეტრი

### I. მოჭიმვის ძალის ნიმუშის დიამეტრზე და ერთეულ მოჭიმვაზე დამოკიდებულების კვლევა

#### საცდელი ნიმუშები:

- მასალა - ტყვია; სიმტკიცე გაჭიმვაზე 12 – 13 მპა, კუმშვაზე - 50 მპა;
- ზომები: დიამეტრი 20; 24 მმ; სიგრძე 100 მმ.

#### დეფორმაციის რეჟიმი:

- საერთო დიამეტრალური მოჭიმვა :
- ნიმუშისათვის D20 – 4 მმ; ნიმუშისათვის D24 – 8 მმ;
- ერთეული მოჭიმვა ორივე ნიმუშისათვის:  $\max \Delta d = 2$  მმ;  $\min \Delta d = 1,33$  მმ.

ჩატარდა ცდების ოთხ-ოთხი სერია - გამოიცადა ნიმუშები D20 და D24. ნიმუშების მიწოდება დეფორმაციის კერაში შეადგენდა 2 მმ-ს. ყოველივე ცდის პროცესში ხდებოდა ძალის გამზომის ჩვენების დაფიქსირება. დეფორმირებული ნიმუშები ნაჩვენებია ნახ.33-ზე.



ნახ.33. დეფორმირებული ნიმუშები:  
ა - D20; ბ - D24

ექსპერიმენტის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში.

ცხრილი 5: მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - 1

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ზამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ნახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ნახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ნახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	20	12	2	2,30	1,8	50	6,15	0,0615	6,09
2	4	20	12	2	5,80	1,8	400	49,23	0,4923	48,74
3	6	20	12	2	7,60	1,8	580	71,38	0,7138	70,67
4	8	20	12	2	8,40	1,8	660	81,23	0,8123	80,42
5	10	20	12	2	10,2	1,8	840	103,38	1,0338	102,35
6	12	20	12	2	11,8	1,8	1000	123,08	1,2308	121,85
7	14	20	12	2	12,4	1,8	1060	130,46	1,3046	129,16
8	16	20	12	2	12,6	1,8	1080	132,92	1,3292	131,59
9	18	20	12	2	12,4	1,8	1060	130,46	1,3046	129,16
10	20	20	12	2	12,0	1,8	1020	125,54	1,2554	124,28
11	22	20	12	2	12,5	1,8	1070	131,69	1,3169	130,37
12	24	20	12	2	12,7	1,8	1090	134,15	1,3415	132,81
13	26	20	8	1,33	6,00	1,8	420	51,69	0,5169	51,17

ცხრილი 6: მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - 2

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ზამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ზახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	20	12	2	2,40	1,80	0,60	7,38	0,073	7,31
2	4	20	12	2	5,90	1,80	4,10	50,46	0,504	49,96
3	6	20	12	2	7,80	1,80	6,00	73,85	0,738	73,11
4	8	20	12	2	8,60	1,80	6,80	83,69	0,836	82,85
5	10	20	12	2	10,40	1,80	8,60	105,85	1,058	104,79
6	12	20	12	2	11,90	1,80	10,10	124,31	1,243	123,07
7	14	20	12	2	12,50	1,80	10,70	131,69	1,316	130,37
8	16	20	12	2	12,50	1,80	10,70	131,69	1,316	130,37
9	18	20	12	2	12,30	1,80	10,50	129,23	1,292	127,94
10	20	20	12	2	12,10	1,80	10,30	126,77	1,267	125,50
11	22	20	12	2	12,60	1,80	10,80	132,92	1,329	131,59
12	24	20	12	2	12,50	1,80	10,70	131,69	1,316	130,37
13	26	20	8	1,33	5,90	1,80	4,10	50,46	50,46	49,96

ცხრილი 7: მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - 3

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ზამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ზახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	20	12	2	2,40	1,8	0,06	7,38	0,073	7,31
2	4	20	12	2	6,10	1,8	4,30	52,94	0,529	52,41
3	6	20	12	2	8,00	1,8	6,20	76,31	0,763	75,54
4	8	20	12	2	9,80	1,8	8,00	98,46	0,984	97,48
5	10	20	12	2	9,60	1,8	7,80	96,00	0,960	95,04

6	12	20	12	2	12,0	1,8	10,20	125,54	1,255	124,28
7	14	20	12	2	12,3	1,8	10,50	129,23	1,292	127,94
8	16	20	12	2	12,8	1,8	11,00	135,38	1,353	134,03
9	18	20	12	2	11,9	1,8	10,10	124,31	1,243	123,07
10	20	20	12	2	11,8	1,8	10,00	123,08	1,230	121,85
11	22	20	12	2	12,7	1,8	10,90	134,15	1,341	132,81
12	24	20	12	2	12,3	1,8	10,50	129,23	1,292	127,94
13	26	20	8	1,33	6,10	1,8	4,30	5294	0,053	52,41

ცხრილი 8: მოჭიმვის ძალის მნიშვნელობა: ნიმუში D20 - 4

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ზამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ზახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ზახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	20	12	2	2,50	180	0,70	8,62	0,086	8,53
2	4	20	12	2	6,20	1,80	4,40	54,15	0,541	53,61
3	6	20	12	2	8,60	1,80	6,80	83,69	0,836	82,85
4	8	20	12	2	9,20	1,80	7,40	91,08	0,910	90,17
5	10	20	12	2	9,80	1,80	8,00	98,46	0,984	97,48
6	12	20	12	2	12,30	1,80	10,50	129,23	1,29	127,94
7	14	20	12	2	12,80	1,80	11,00	135,38	1,35	134,03
8	16	20	12	2	12,50	1,80	10,70	131,69	1,31	130,37
9	18	20	12	2	11,40	1,80	9,60	118,15	1,18	116,97
10	20	20	12	2	13,30	1,80	11,50	141,54	1,41	140,12
11	22	20	12	2	12,60	1,80	10,80	132,92	1,32	131,59
12	24	20	12	2	12,10	1,80	10,30	126,77	1,26	125,50
13	26	20	8	1,33	6,00	1,80	4,20	51,69	0,516	51,17

ცხრილი 9: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობა - ნიმუში D20

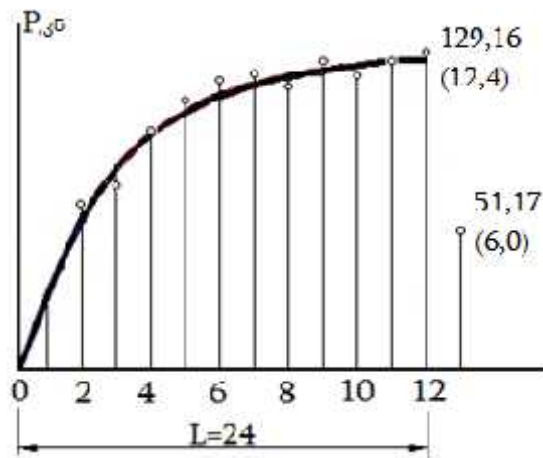
	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ხამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ხახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	20	12	2	2,40	1,80	0,60	7,38	0,073	7,31
2	4	20	12	2	6,00	1,80	4,20	51,69	0,516	51,17
3	6	20	12	2	8,00	1,80	6,20	76,31	0,763	75,54
4	8	20	12	2	9,00	1,80	7,20	88,62	0,886	87,73
5	10	20	12	2	10,00	1,80	8,20	100,92	1,00	99,91
6	12	20	12	2	12,00	1,80	10,20	125,54	1,25	124,28
7	14	20	12	2	12,50	1,80	10,70	131,69	1,31	130,37
8	16	20	12	2	12,60	1,80	10,80	132,92	1,32	131,59
9	18	20	12	2	12,00	1,80	10,20	125,54	1,25	124,28
10	20	20	12	2	12,30	1,80	10,50	129,23	1,29	127,94
11	22	20	12	2	12,60	1,80	10,80	132,92	1,32	131,59
12	24	20	12	2	12,40	1,80	10,60	130,46	1,30	129,16
13	26	20	8	1,33	6,00	1,80	4,20	51,69	0,51	51,17

ცხრილი 10: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობა - ნიმუში D24

№	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{ხამ}$ , კნ	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ დეფორმა- ციის კერაში	$P_{ხახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	24	12	2	6,00	1,80	4,20	51,69	0,51	51,17
2	4	24	12	2	8,00	1,80	6,20	76,31	0,76	75,55
3	6	24	12	2	12,00	1,80	10,20	125,54	1,25	124,28
4	8	24	12	2	13,20	1,80	11,40	140,31	1,40	138,91

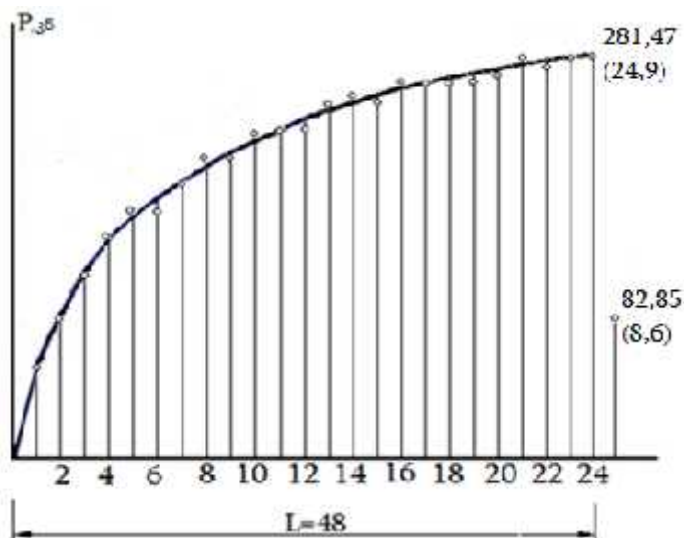
5	10	24	12	2	13,80	1,80	11,40	140,31	1,40	138,91
6	12	24	12	2	14,40	1,80	12,60	155,08	1,55	153,53
7	14	24	12	2	16,20	1,80	14,40	177,23	1,77	175,46
8	16	24	12	2	18,00	1,80	16,20	199,38	1,99	197,39
9	18	24	12	2	18,00	1,80	16,20	199,38	1,99	197,39
10	20	24	12	2	19,40	1,80	17,60	216,62	2,16	214,45
11	22	24	12	2	19,40	1,80	17,60	216,62	2,16	214,45
12	24	24	12	2	19,50	1,80	17,70	217,85	2,17	215,67
13	26	24	12	2	21,00	1,80	19,20	236,31	2,36	233,95
14	28	24	12	2	21,60	1,80	19,80	243,69	2,43	241,25
15	30	24	12	2	21,30	1,80	19,50	240,00	2,40	237,60
16	32	24	12	2	22,80	1,80	21,00	258,46	2,58	255,88
17	34	24	12	2	22,80	1,80	21,00	258,46	2,58	255,88
18	36	24	12	2	23,70	1,80	20,90	257,23	2,57	254,66
19	38	24	12	2	23,10	1,80	21,30	262,15	2,62	259,53
20	40	24	12	2	23,70	1,80	21,90	269,54	2,69	266,84
21	42	24	12	2	23,70	1,80	21,90	269,54	2,69	266,84
22	44	24	12	2	24,90	1,80	23,10	284,31	2,84	281,47
23	46	24	12	2	24,00	1,80	22,20	273,23	2,73	270,50
24	48	24	12	2	24,60	1,80	22,80	280,62	2,80	277,81
25	50	24	12	2	24,90	1,80	23,10	284,31	2,84	281,47
26	52	24	8	1,33	8,60	1,80	6,80	83,69	0,83	82,85

ცდების შედეგების საფუძველზე აგებულია გრაფიკები (ნახ.34,35), რომლებიც გვიჩვენებენ თუ როგორ იზრდება მოჭიმვის ძალა დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების პროცესში.



**ნახ.34. მოჭიმვის ძალის დამოკიდებულება დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების ხარისხზე - ნამზადი D20; პრესის ძალა  $P=12,4$  კნ, დეფორმაციის ძალა 129,16 კნ**

მიღებული გრაფიკების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ორივე ვარიანტში (ნამზადები D20 და D24) დეფორმაციის კერის ლითონის შევსების პროცესში რადიალური მოჭიმვის ძალა ჯერ შედარებით სწრაფად იზრდება (ცდები №1,2,3,4,5 და 6), შემდეგ კი უფრო ნელა უახლოვდება დეფორმაციის დაყმარებული პროცესის ძალას.



**ნახ. 35. მოჭიმვის ძალის დამოკიდებულება დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების ხარისხზე - ნამზადი D24; პრესის ძალა  $P=24,90$  კნ, დეფორმაციის ძალა 281,47კნ**



როგორც გვიჩვენა ექსპერიმენტმა გამოსაკვლევი ფაქტორები - ნამზადის დიამეტრი და დიამეტრალური მოჭიმვა - თითქმის თანაბარ გავლენას ახდენენ რადიალური მოჭიმვის ძალაზე, რაც ნათლად ჩანს ცდების შედეგების შედარებიდან - ნამზადისათვის D20 პრესის მაქსიმალური ძალა უდრის 12,40 კნ, ხოლო D24-თვის - ძალა უდრის 24,90 კნ, რაც თითქმის 2-ჯერ მეტია. მოჭიმვის გაზრდით 1,33-დან 2,0-მდე პირველ შემთხვევაში (ნამზადი D20) პრესის მაქსიმალური ძალა ასევე 2-ჯერ მატულობს, ხოლო მეორე შემთხვევაში (ნამზადი D24) - თითქმის 2,2-ჯერ იზრდება.

### **ექსპერიმენტის შედეგების დამუშავება მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით**

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი სასუალებას გვაძლევს მკვეთრად შევამციროთ ექსპერიმენტის ხარჯები და ცდების მინიმალური რაოდენობით მივიღოთ კვლევის შედეგები. ამ მეთოდის დადებითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ საკმარისია ექსპერიმენტი ჩატარდეს გამოსაკვლევი ფაქტორების რამოდენიმე მნიშვნელობაზე (უფრო ხშირად ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე) და მიღებული შედეგები შეგვიძლია განვაზოგადოთ ფაქტორების სხვა მნიშვნელობებზეც.

მოცემულ შემთხვევაში გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის სრულფაქტორიანი გეგმა  $ΠΦΘ 2^2$ , რომელშიც გამოსაკვლევი ფაქტორები - ნამზადის დიამეტრი ( $C_1$ ) და დიამეტრალური მოჭიმვა ( $C_2$ ) იცვლება ორ დონეზე (ზედა და ქვედა დონეებზე). ასეთი გეგმის რეალიზაციისათვის საკმარისია ჩატარდეს ცდების ოთხი სერია. გეგმის შედგენა განხორციელდა გამოსაკვლევი ფაქტორების ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე, სახელდობრ:

ა)  $d_0 = 20$  მმ,  $\Delta d = 1,33$  მმ;

ბ)  $d_0 = 24$  მმ,  $\Delta d = 1,33$  მმ;

გ)  $d_0 = 20$  მმ,  $\Delta d = 2,0$  მმ;

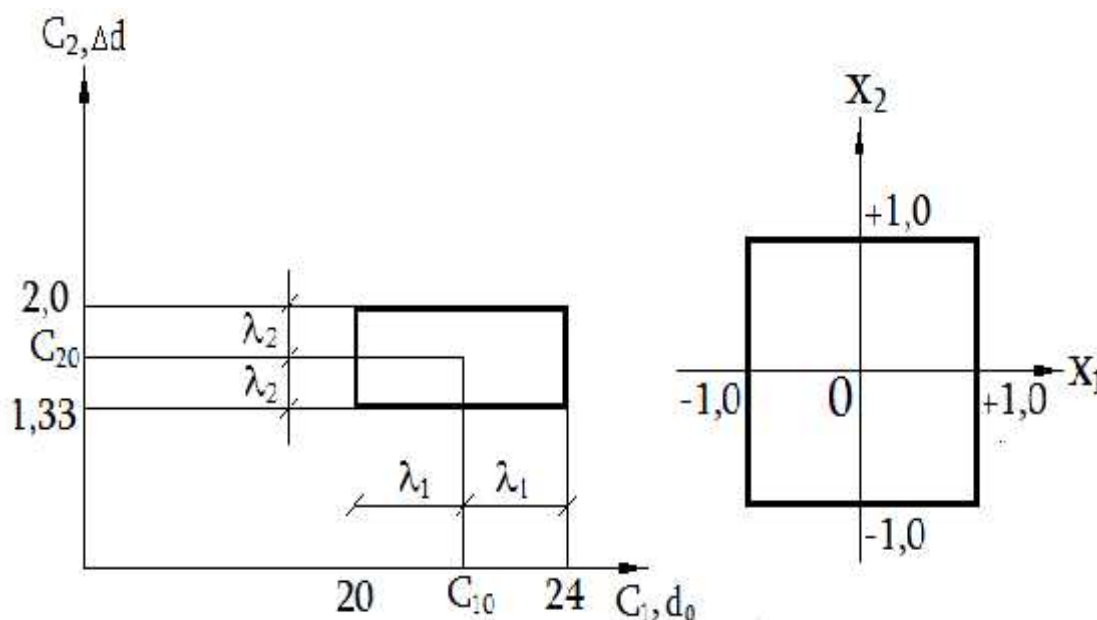
დ)  $d_0 = 24$  მმ,  $\Delta d = 2,0$  მმ.

ცდების შედეგები მოყვანილია ქვემოთ ცხრილში:

ცხრილი 11: ნიმუშები D20, D24 - ძალის ექსტრემალური მნიშვნელობები

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{პრ}$ , კნ	$P_{zam}$ , კნ	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+ხახ}$ , კნ დეფორ მაციის კერაში	$P_{ხახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	24	20	12	2	12,4	1,80	10,60	130,46	1,30	129,16
2	26	20	8	1,33	6,00	1,80	4,20	51,69	0,51	51,17
3	50	24	12	2	24,9	1,80	23,10	284,31	2,84	281,47
4	52	24	8	1,33	8,60	1,80	6,80	83,69	0,83	82,85

ქვემოთ ნახაზზე წარმოდგენილია გეგმის  $\Pi\Phi\Xi$   $2^2$  გრაფიკული ასახვა ფაქტორების ნატურალურ და უგანზომილებო გამოსახულებაში.



ნახ.36. ექსპერიმენტის გეგმის  $\Pi\Phi\Xi$   $2^2$  გრაფიკული ასახვა სიბრტყეზე:

ა - ფაქტორების ნატურალურ გამოსახულებაში; ბ - ფაქტორების უგანზომილებო გამოსახულებაში

ექსპერიმენტის ცენტრს ვპოულობთ შემდეგი ფორმულიდან:

$$C_{10} = \frac{C_1^+ + C_1^-}{2} = \frac{24 + 20}{2} = 22 \text{ მმ}; \quad C_{20} = \frac{C_2^+ + C_2^-}{2} = \frac{2 + 1,33}{2} = 1,665 \text{ მმ}.$$

ფაქტორების ვარირების ინტერვალები უდრის:

$$j_1 = \frac{C_1^+ - C_1^-}{2} = \frac{24 - 20}{2} = 2 \text{ მმ}; \quad j_2 = \frac{C_2^+ - C_2^-}{2} = \frac{2 - 1,33}{2} = 0,335 \text{ მმ}.$$

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის სრულფაქტორიანი გეგმა

ΠΦΘ 2<sup>2</sup> დაგეგმვის მატრიცას ასეთი სახე ექნება:

ცხრილი 12: ΠΦΘ 2<sup>2</sup> დაგეგმვის მატრიცა

№	კოდური აღნიშვნა				პროცესის გამოსავალი
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y$
1	+	-	-	+	51,17
2	+	-	+	-	129,16
3	+	+	-	-	82,85
4	+	+	+	+	281,47

ორფაქტორიანი ექსპერიმენტის შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია შევადგინოთ რეგრესიის განტოლება, რომელშიც გარდა ხაზობრივი წევრებისა, იქნება წევრი, რომელიც ითვალისწინებს ფაქტორებს შორის ურთიერთქმედების გავლენას:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2.$$

განვსაზღვრავთ განტოლების კოეფიციენტებს შემდეგი ფორმულით:

$$b_0 = \frac{\sum_{k=1}^N y_k}{N} = \frac{51,17 + 129,16 + 82,85 + 281,47}{4} = 136,16;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{k=1}^N x_{1k} y_k}{N} = \frac{-51,17 - 129,16 + 82,85 + 281,47}{4} = 46,0;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{k=1}^N x_{2k} y_k}{N} = \frac{-51,17 + 129,16 - 82,85 + 281,47}{4} = 69,15;$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} y_k}{N} = \frac{51,17 - 129,16 - 82,85 + 281,47}{4} = 30,16.$$

მაშასადამე, პროცესის განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

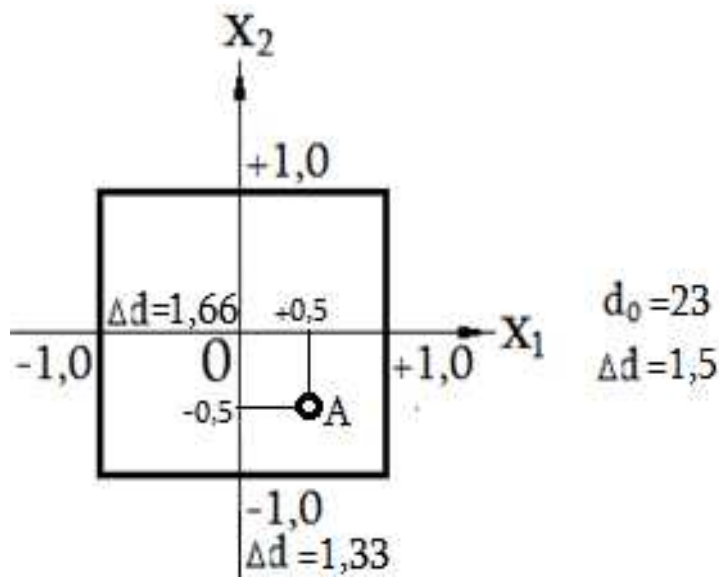
$$y = 136,16 + 46,0x_1 + 69,15x_2 + 30,16x_1x_2,$$

სადაც  $x_1$  - ფაქტორი იცვლება (+1, -1) ფარგლებში, რასაც შეესაბამება ნიმუშების დიამეტრის ცვლილება (20 – 24 მმ) დიაპაზონში;

$x_2$  - ფაქტორი ასევე იცვლება (+1, -1) ფარგლებში, რასაც შეესაბამება ნიმუშების დიამეტრალური მოჭიმვის ცვლილება (1,33 – 2,0 მმ) დიაპაზონში.

ზემოთმოყვანილი ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ვიანგარიშოთ რადიალური მოჭიმვის ძალა ნებისმიერი ზომის ნიმუშისათვის დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე. მაგალითად, ავიღოთ ასეთ ნიმუში  $d_0 = 23$ ,, მოჭიმვა  $\Delta d = 1,5$ . ასეთ შემთხვევაში განტოლებაში უნდა ჩავსვათ შესაბამისი კოდური მნიშვნელობები, რომლებიც მიიღება ექსპერიმენტის გეგმის  $\Pi\Phi\Xi 2^2$  გრაფიკიდან (იხ.ნახ.36,37).

რადგან  $d_0 = 23$  უდრის  $d_0 = 22$  და  $d_0 = 24$  დიამეტრების საშუალო მნიშვნელობას გრაფიკზე მას შეესაბამება  $x_1 = +0,5$  კოდური მნიშვნელობა. მოჭიმვას  $\Delta d = 1,5$  უკავია საშუალო მდგომარეობა  $\Delta d = 1,33$  და  $\Delta d = 1,66$  შორის ანუ  $\frac{1,33 + 1,66}{2} = 1,495 \approx 1,5$ . შესაბამისად მისი კოდური მნიშვნელობა მოთავსდება 0 და -1 შორის შუა წერტილში, ე.ი.  $x_2 = -0,5$ . ამ მნიშვნელობებს შეესაბამება A- წერტილი გრაფიკის სიბრტყეზე.



ნახ.37.  $d_0 = 23$  ნიმუშის  $\Delta d = 1,5$  მოჭიმვით დეფორმაციის შესაბამისი კოდური მნიშვნელობები

ჩავსვამთ, რა  $x_1 = +0,5$  და  $x_2 = -0,5$  მნიშვნელობებს განტოლებაში, მივიღებთ რადიალური მოჭიმვის ძალას ნიმუშის  $d_0 = 23$  მოჭიმვით  $\Delta d = 1,5$  დეფორმირების პროცესში:

$$\begin{aligned}
 y &= 136,16 + 46,0x_1 + 69,15x_2 + 30,16x_1x_2 = \\
 &= 136,16 + 46,0 \cdot (+0,5) + 69,15 \cdot (-0,5) + 30,16 \cdot (+0,5) \cdot (-0,5) = \\
 &= 136,16 + 23,0 - 34,58 - 7,54 = 117,04 \text{ კნ.}
 \end{aligned}$$

ანალოგიური მეთოდით შეგვიძლია განვსაზღვროთ რადიალური მოჭიმვის ძალა (D20 - D24) ინტერვალის გარეშე მყოფი ნიმუშებისათვის.

## II. ინსტრუმენტის მუშა კუთხეზე მოჭიმვის ძალის დამოკიდებულების კვლევა

### საცდელი ნიმუშები:

- მასალა - ტყვია; სიმტკიცე გაჭიმვაზე 12 – 13 მპა, კუმშვაზე - 50 მპა;
- ნიმუშების ზომები: დიამეტრი 20; 24 მმ; სიგრძე 100 მმ.

### დეფორმაციის რეჟიმი:

- საერთო დიამეტრალური მოჭიმვა :
- ნიმუშისათვის D20 – 4 მმ; ნიმუშისათვის D24 – 8 მმ;

- ერთეული მოჭიმვა ორივე ნიმუშისათვის:  $\max \Delta d = 2$  მმ;  $\min \Delta d = 1,33$  მმ.

ექსპერიმენტები ჩატარდა ორ ეტაპად - ყოველი ეტაპი შეიცავდა ცდების ოთხ-ოთხ ჯგუფს. ექსპერიმენტების პირველ ეტაპზე ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის კონუსის კუთხე შეადგენდა  $r = 4^{\circ}36'$ , ხოლო მეორე ეტაპზე -  $r = 8^{\circ}$ . ორივე ეტაპზე გამოიყენებოდა ნიმუშები D20 და D24. ნიმუშების მიწოდება დეფორმაციის კერაში შეადგენდა 2 მმ-ს. ყოველივე ცდის პროცესში ხდებოდა ძალის გამზომის ჩვენების დაფიქსირება. დეფორმირებული ნიმუშები ნაჩვენებია ნახ.37-ზე. ექსპერიმენტის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 13 – 16.

ექსპერიმენტის I-ლი ეტაპი ( $r = 4^{\circ}36'$ ):  $d_0 = 20 - 24$  მმ,  $\Delta d = 1,33 - 2$  მმ.

ცხრილი 13: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D20

	$l_k,$ მმ	$d_0,$ მმ	$S,$ მმ	$\Delta d,$ მმ	$P_{\nu},$ კნ	$P_{ზამ},$ კნ	$P_{დეფ+ზამ},$ კნ	$P_{დეფ+ზამ},$ კნ დეფორმაციის კერაში	$P_{ზამ},$ კნ	$P_{დეფ},$ კნ
1	2	20	12	2	2,40	1,80	0,60	7,38	0,073	7,31
2	4	20	12	2	6,00	1,80	4,20	51,69	0,516	51,17
3	6	20	12	2	8,00	1,80	6,20	76,31	0,763	75,54
4	8	20	12	2	9,00	1,80	7,20	88,62	0,886	87,73
5	10	20	12	2	10,0	1,80	8,20	100,92	1,009	99,91
6	12	20	12	2	12,0	1,80	10,20	125,54	1,255	124,28
7	14	20	12	2	12,5	1,80	10,70	131,69	1,316	130,37
8	16	20	12	2	12,6	1,80	10,80	132,92	1,329	131,59
9	18	20	12	2	12,0	1,80	10,20	125,54	1,255	124,28
10	20	20	12	2	12,3	1,80	10,50	129,23	1,292	127,94
11	22	20	12	2	12,6	1,80	10,80	132,92	1,329	131,59

12	24	20	12	2	12,4	1,80	10,60	130,46	130,46	129,16
13	26	20	8	1,33	6,00	1,80	4,20	51,69	0,516	51,17

ცხრილი 14: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D24

	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{\text{წ}}$ , კნ	$P_{\text{ბამ}}$ , კნ	$P_{\text{დეგ+ბახ}}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{\text{დეგ+ბახ}}$ , კნ დეფორ მაციის კერაში	$P_{\text{ბახ}}$ , კნ	$P_{\text{დეგ}}$ , კნ
1	2	24	12	2	6,00	1,80	4,20	51,69	0,516	51,17
2	4	24	12	2	8,00	1,80	6,20	76,31	0,763	75,55
3	6	24	12	2	12,0	1,80	10,20	125,54	1,255	124,28
4	8	24	12	2	13,2	1,80	11,40	140,31	1,403	138,91
5	10	24	12	2	13,8	1,80	11,40	140,31	1,403	138,91
6	12	24	12	2	14,4	1,80	12,60	155,08	1,550	153,53
7	14	24	12	2	16,2	1,80	14,40	177,23	1,772	175,46
8	16	24	12	2	18,0	1,80	16,20	199,38	1,993	197,39
9	18	24	12	2	18,0	1,80	16,20	199,38	1,993	197,39
10	20	24	12	2	19,4	1,80	17,60	216,62	2,166	214,45
11	22	24	12	2	19,4	1,80	17,60	216,62	2,166	214,45
12	24	24	12	2	19,5	1,80	17,70	217,85	2,178	215,67
13	26	24	12	2	21,0	1,80	19,20	236,31	2,363	233,95
14	28	24	12	2	21,6	1,80	19,80	243,69	2,436	241,25
15	30	24	12	2	21,3	1,80	19,50	240,00	2,400	237,60
16	32	24	12	2	22,8	1,80	21,00	258,46	2,584	255,88
17	34	24	12	2	22,8	1,80	21,00	258,46	2,584	255,88
18	36	24	12	2	23,7	1,80	20,90	257,23	2,572	254,66
19	38	24	12	2	23,1	1,80	21,30	262,15	2,621	259,53
20	40	24	12	2	23,7	1,80	21,90	269,54	2,695	266,84

21	42	24	12	2	23,7	1,80	21,90	269,54	2,695	266,84
22	44	24	12	2	24,9	1,80	23,10	284,31	2,843	281,47
23	46	24	12	2	24,0	1,80	22,20	273,23	2,732	270,50
24	48	24	12	2	24,6	1,80	22,80	280,62	2,806	277,81
25	50	24	12	2	24,9	1,80	23,10	284,31	2,843	281,47
26	52	24	8	1,33	11,1	1,80	9,30	114,80	1,148	113,65

ექსპერიმენტის მე-11 ეტაპი ( $r = 8^0$ ):  $d_0 = 20 - 24$  მმ,  $\Delta d = 1,33 - 2$  მმ.

ცხრილი 15: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D20

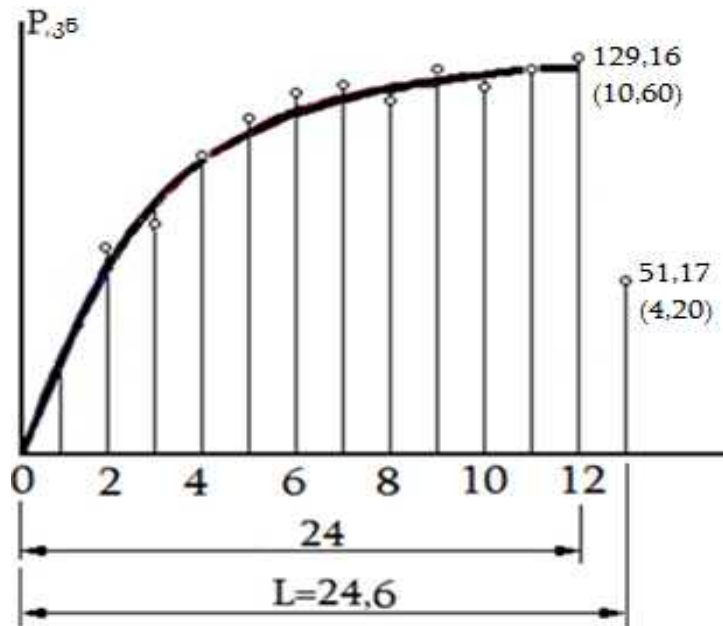
	$l_k,$ მმ	$d_0,$ მმ	$S,$ მმ	$\Delta d,$ მმ	$P_{\text{წ}},$ კნ	$P_{\text{ხამ}},$ კნ	$P_{\text{დეფ+ხახ}},$ კნ პრესის ძალა	$P_{\text{დეფ+ხახ}},$ კნ დეფორ მაციის კერაში	$P_{\text{ხახ}},$ კნ	$P_{\text{დეფ}},$ კნ
1	2	20	12	2	5,10	1,80	3,30	26,26	0,25	26,00
2	4	20	12	2	7,20	1,80	5,40	43,45	0,45	43,00
3	6	20	12	2	9,00	1,80	7,20	56,58	0,58	56,00
4	8	20	12	2	9,30	1,80	7,50	59,60	0,59	59,00
5	10	20	12	2	10,80	1,80	9,00	71,70	0,71	71,00
6	12	20	12	2	11,00	1,80	9,20	72,71	0,72	72,00
7	14	20	12	2	11,10	1,80	9,30	73,52	0,72	72,80
8	16	20	12	2	11,20	1,80	9,40	74,35	0,74	73,60
9	18	20	8	1,33	6,50	1,80	4,70	37,15	0,34	36,80



ცხრილი 16: მოჭიმვის ძალის საშუალო მნიშვნელობები - ნიმუში D24

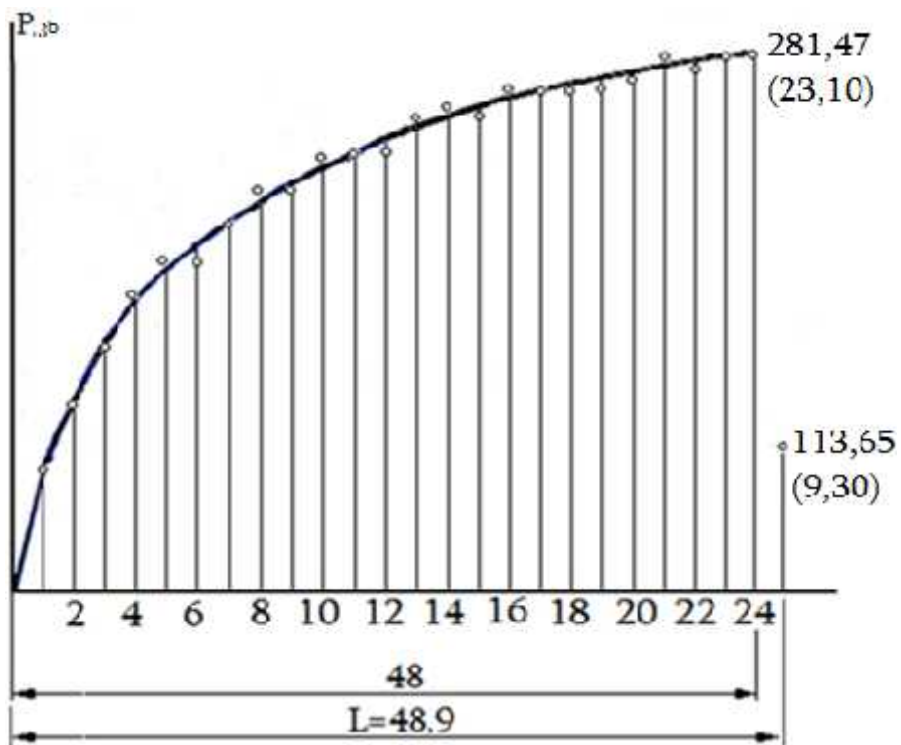
	$l_k$ , მმ	$d_0$ , მმ	$S$ , მმ	$\Delta d$ , მმ	$P_{\checkmark}$ , კნ	$P_{სამ}$ , კნ	$P_{დეფ+სახ}$ , კნ პრესის ძალა	$P_{დეფ+სახ}$ , კნ დეფორ მაციის კერაში	$P_{სახ}$ , კნ	$P_{დეფ}$ , კნ
1	2	24	12	2	19,40	1,80	17,60	216,62	216,62	26,00
2	4	24	12	2	19,50	1,80	17,70	217,85	217,85	48,00
3	6	24	12	2	21,00	1,80	19,20	236,31	236,31	73,00
4	8	24	12	2	21,60	1,80	19,80	243,69	2,43	92,00
5	10	24	12	2	21,30	1,80	19,50	240,00	2,40	106,00
6	12	24	12	2	22,80	1,80	21,00	258,46	2,58	118,00
7	14	24	12	2	22,80	1,80	21,00	258,46	2,58	126,00
8	16	24	12	2	23,70	1,80	20,90	257,23	2,57	132,00
9	18	24	12	2	23,10	1,80	21,30	262,15	2,62	136,00
10	20	24	12	2	23,70	1,80	21,90	269,54	2,69	142,00
11	22	24	12	2	23,70	1,80	21,90	269,54	2,69	145,00
12	24	24	12	2	24,90	1,80	23,10	284,31	2,84	146,00
13	26	24	12	2	24,00	1,80	22,20	273,23	2,73	150,60
14	28	24	12	2	24,60	1,80	22,80	280,62	2,80	151,00
15	30	24	12	2	20,10	1,80	19,30	153,20	1,53	151,67
16	32	24	8	1,33	12,40	1,80	10,60	83,69	8,37	82,60

ცდების შედეგად აგებულია გრაფიკები (ნახ. 38-41), რომლებიც გვიჩვენებენ თუ როგორ იზრდება მოჭიმვის ძალა დეფორმაციის კერის ლითონით შევსებისას.



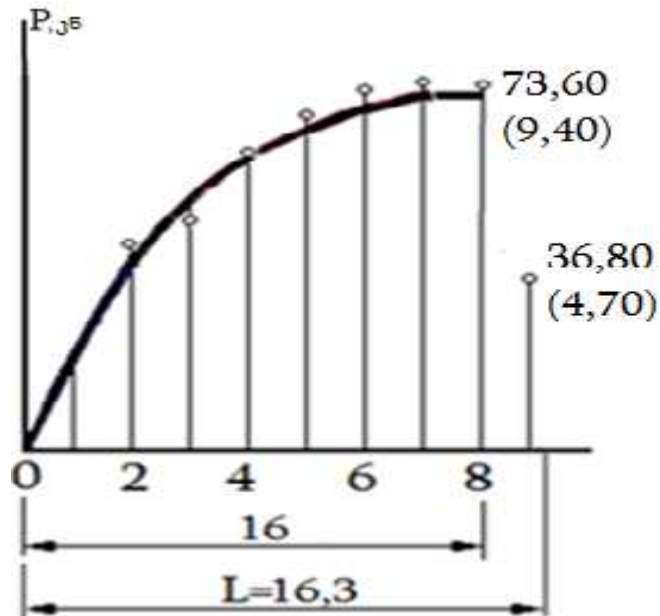
ნახ.38. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:

ნამზადი D20; ( $r = 4^{0}36$ ): პრესის ძალა  $P=10,60$  კნ, დეფორმაციის ძალა 129,16 კნ



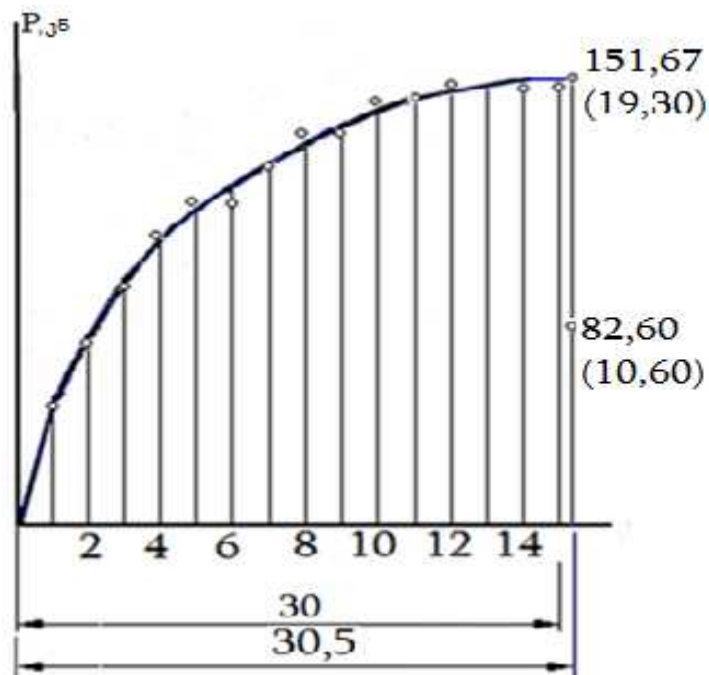
ნახ.39. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:

ნამზადი D24; ( $r = 4^{0}36$ ): პრესის ძალა  $P=23,10$  კნ, დეფორმაციის ძალა 281,47 კნ



ნახ.40. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:

ნაშაბადი D20; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა  $P=9,40$  კნ, დეფორმაციის ძალა 73,60 კნ



ნახ.41. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:

ნაშაბადი D24; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა  $P=19,30$  კნ, დეფორმაციის ძალა 151,67 კნ

მიღებული გრაფიკების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ორივე ვარიანტში (ნაშაბადები D20 და D24) დეფორმაციის კერის ლითონის შევსების პროსესში რადიალური მოჭიმვის ძალა ჯერ შედარებით სწრაფად იზრდება (ცდები

№1,2,3,4,5,6), შემდეგ კი უფრო ნელა უახლოვდება დეფორმაციის დაყმარებული პროცესის ძალას. როგორც გვიჩვენა ექსპერიმენტმა გამოსაკვლევი ფაქტორები - ნამზადის დიამეტრი და დიამეტრალური მოჭიმვა - თითქმის თანაბარ გავლენას ახდენენ რადიალური მოჭიმვის ძალაზე, რაც ნათლად ჩანს ცდების შედეგების შედარებიდან: ნამზადისათვის D20 პრესის მაქსიმალური ძალა უდრის 1060 კგ, ხოლო D24-თვის - ძალა უდრის 2310 კგ, რაც თითქმის 2,2-ჯერ მეტია. დიამეტრალური მოჭიმვის გაზრდით 1,33-დან 2,0-მდე პირველ შემთხვევაში (ნამზადი D20) პრესის მაქსიმალური ძალა 2,5-ჯერ მატულობს, ხოლო მეორე შემთხვევაში (ნამზადი D24) - ასევე 2,45-ჯერ იზრდება. რაც შეეხება მესამე ფაქტორს, როგორც მოსალოდნელი იყო მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა რ კუთხის  $4^{\circ}36'$  - დან  $8^{\circ}$  - მდე გაზრდამ გამოიწვია პრესის ძალის მომატება - 1,75-ჯერ D 20 ნიმუშისათვის და 1,85-ჯერ D24 ნიმუშისათვის.

### **ექსპერიმენტის შედეგების დამუშავება მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით**

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ცდების მინიმალური რაოდენობით მივიღოთ კვლევის შედეგები. ამისათვის საკმარისია ექსპერიმენტი ჩატარდეს გამოსაკვლევი ფაქტორების ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე. მიღებული შედეგები შეგვიძლია განვაზოგადოთ ფაქტორების სხვა მნიშვნელობებზეც.

მოცემულ შემთხვევაში გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის სრულფაქტორიანი გეგმა  $ПФЭ 2^3$ , რომელშიც გამოსაკვლევი ფაქტორები - ნამზადის დიამეტრი ( $d_0$ ), დიამეტრალური მოჭიმვა ( $\Delta d$ ) და ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის კუთხე ( $r$ ) იცვლება ორ დონეზე (ზედა და ქვედა დონეებზე). ასეთი გეგმის რეალიზაციისათვის საკმარისია ჩატარდეს ცდების ორი სერია ( $r = 4^{\circ}36'$  და  $r = 8^{\circ}$ ), ხოლო თითოეული

სერია უნდა შედგებოდეს ცდების ოთხი ჯგუფისაგან, სადაც გამოსაკვლევი ფაქტორები აიღება ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე, სახელდობრ:

I. როცა  $r = 4^{\circ}36'$  – ა)  $d_0 = 20$  მმ,  $\Delta d = 1,33$  მმ; ბ)  $d_0 = 24$  მმ,  $\Delta d = 1,33$  მმ;

II. როცა  $r = 8^{\circ}$  – გ)  $d_0 = 20$  მმ,  $\Delta d = 2,0$  მმ; დ)  $d_0 = 24$  მმ,  $\Delta d = 2,0$  მმ.

ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები გამოსაკვლევი ფაქტორების ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე მოყვანილია ცხრილში 17.

ცხრილი 17: მოჭიმვის ძალები ფაქტორების ექსტრემალურ მნიშვნელობებზე

№	$d_0$	$d_1$	$h$	$\Delta r$	$\Delta d = 2\Delta r$	$r$	$L$	წნეხის ძალა	დეფორმაციის ძალა
	მმ	მმ	მმ	მმ	მმ	გრად	მმ	კნ	კნ
1	20	16	12	1	2	4,36	26,7	10,60	129,16
2	20	16	8	0,665	1,33	4,36	26,7	4,20	51,17
3	24	16	12	1	2	4,36	49,4	23,10	281,47
4	24	16	8	0,665	1,33	4,36	49,4	9,30	113,65
5	20	16	12	1	2	8,0	16,3	9,40	73,60
6	20	16	8	0,665	1,33	8,0	16,3	4,70	36,80
7	24	16	12	1	2	8,0	30,5	19,30	151,67
8	24	16	8	0,665	1,33	8,0	30,5	10,60	82,60

ქვემოთ ცხრილში 18 წარმოდგენილია ექსპერიმენტის გეგმა  $\Pi\Phi\Xi 2^3$  ფაქტორების უგანზომილებო გამოსახულებაში.

ცხრილი 18: ექსპერიმენტის  $\Pi\Phi\Xi$  2<sup>3</sup> გეგმის მატრიცა

№	კოდური აღნიშვნა				პროცესის გამოსავალი
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$
1	+	-	-	-	51,17
2	+	-	+	-	129,16
3	+	+	-	-	113,65
4	+	+	+	-	281,47
5	+	-	-	+	36,80
6	+	-	+	+	73,60
7	+	+	-	+	82,60
8	+	+	+	+	151,67

სამფაქტორიანი ექსპერიმენტის შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია შევადგინოთ რეგრესიის განტოლება, რომელშიც გარდა ხაზობრივი წევრებისა, იქნება წევრები, რომლებიც ითვალისწინებს ფაქტორებს შორის ურთიერთქმედების გავლენას:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

განვსაზღვრავთ განტოლების კოეფიციენტებს შემდეგი ფორმულებით:

$$b_0 = \frac{\sum_{k=1}^N y_k}{N} = \frac{51,17 + 129,16 + 113,65 + 281,47 + 36,80 + 73,60 + 82,60 + 151,67}{8} = 115,02;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{k=1}^N x_{1k}y_k}{N} = \frac{-51,17 - 129,16 + 113,65 + 281,47 - 36,80 - 73,60 + 82,60 + 151,67}{8} = 41,21;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{k=1}^N x_{2k} y_k}{N} = \frac{-51,17 + 129,16 - 113,65 + 281,47 - 36,80 + 73,60 - 82,60 + 151,67}{8} = 43,96$$

$$b_{23} = \frac{\sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} y_k}{N} = \frac{51,17 - 129,16 + 113,65 - 281,47 - 36,80 + 73,60 - 82,60 + 151,67}{8} = -17,49;$$

$$b_{123} = \frac{\sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} x_{3k} y_k}{N} = \frac{-51,17 + 129,16 + 113,65 - 281,47 + 36,80 - 73,60 - 82,60 + 151,67}{8} = -7,20.$$

მაშასადამე, პროცესის განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

$$y = 115,02 + 41,21x_1 + 43,96x_2 - 28,84x_3 + 15,26x_1x_2 - 17,49x_2x_3 - 11,36x_1x_3 - 7,20x_1x_2x_3,$$

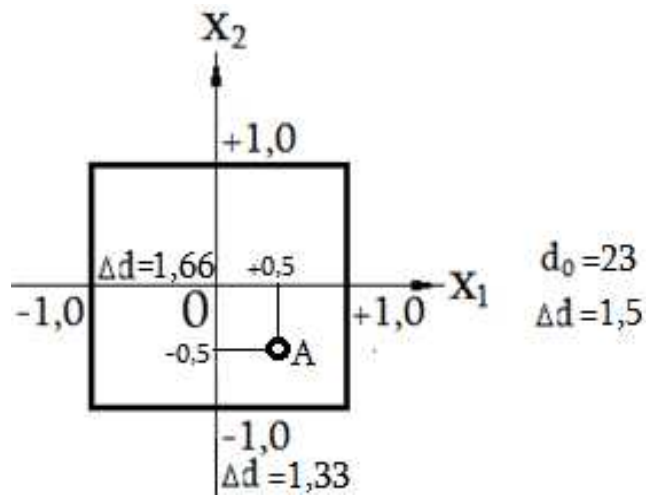
სადაც  $x_1$ - ფაქტორი იცვლება (-1, +1) ფარგლებში, რასაც შეესაბამება ნიმუშების დიამეტრის ცვლილება (20 – 24 მმ) დიაპაზონში;

$x_2$  - ფაქტორი ასევე იცვლება (-1, +1) ფარგლებში, რასაც შეესაბამება ნიმუშების დიამეტრალური მოჭიმვის ცვლილება (1,33 – 2,0 მმ) დიაპაზონში;

$x_3$  - ფაქტორი ასევე იცვლება (-1, +1) ფარგლებში, რასაც შეესაბამება ინსტრუმენტის მუშა კონუსის კუთხის ცვლილება ( $4^{\circ}36' - 8^{\circ}$ ) დიაპაზონში.

ზემოთმოყვანილი ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ვიანგარიშოთ რადიალური მოჭიმვის ძალა ნებისმიერი ზომის ნიმუშისათვის დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე. მაგალითად, ავიღოთ ნიმუში  $d_0 = 23$ ; მოჭიმვა  $\Delta d = 1,5$ ; ინსტრუმენტის მუშა კონუსის კუთხე  $r = 4^{\circ}36'$ .

ასეთ შემთხვევაში განტოლებაში უნდა ჩავსვათ შესაბამისი კოდური მნიშვნელობები, რომლების მიიღება ნახ. 42-ზე გრაფიკიდან.



ნახ.42. ნიმუშის  $\Delta d = 1,5$  მოჭიმვაზე კოდური მნიშვნელობები ( $r = 4^{\circ}36'$ )

რადგან  $d_0 = 23$ -ის მნიშვნელობა უდრის  $d_0 = 22$  და  $d_0 = 24$  დიამეტრების საშუალო არუითმეტიკულს, რასაც გრაფიკზე შეესაბამება  $x_1 = +0,5$  კოდური მნიშვნელობა. მოჭიმვას  $\Delta d = 1,5$  უკავია საშუალო მდგომარეობა  $\Delta d = 1,33$  და  $\Delta d = 1,66$  შორის ანუ  $\frac{1,33 + 1,66}{2} = 1,495 \approx 1,5$ . შესაბამისად მისი კოდური მნიშვნელობა მოთავსდება 0 და -1 შორის შუა წერტილში, ე.ი.  $x_2 = -0,5$ . ამ მნიშვნელობებს შეესაბამება A-წერტილი გრაფიკის სიბრტყეზე. მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის კონუსის კუთხეს  $r = 4^{\circ}36'$  შეესაბამება კოდური მნიშვნელობა  $x_3 = -1,0$ .

ჩავსვამთ, რა  $x_1 = +0,5$ ,  $x_2 = -0,5$  და  $x_3 = -1,0$  მნიშვნელობებს რეგრესიის განტოლებაში, მივიღებთ რადიალური მოჭიმვის ძალას  $d_0 = 23$  ნიმუშის დეფორმირების პროცესში:

$$y = 115,02 + 41,21 \cdot 0,5 + 43,96 \cdot (-0,5) - 28,84 \cdot (-1) + 15,26 \cdot 0,5 \cdot (-0,5) - 17,49 \cdot (-0,5) \cdot (-1) - 11,36 \cdot 0,5 \cdot (-1) - 7,20 \cdot 0,5 \cdot (-0,5) \cdot (-1) = 115,02 + 20,61 - 21,98 + 28,84 - 3,82 - 8,75 + 5,68 - 1,80 = 133,80 \text{ კნ.}$$

ანალოგიური მეთოდით შეგვიძლია განვსაზღვროთ რადიალური მოჭიმვის ძალა (D20 - D24) ინტერვალის გარეშე ზომის ნიმუშებისათვის.



## 2.5. ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება

### 2.5.1. რთული ფორმის შიგა ზედაპირიანი ღერძსიმეტრიული დეტალების კლასიფიკაცია

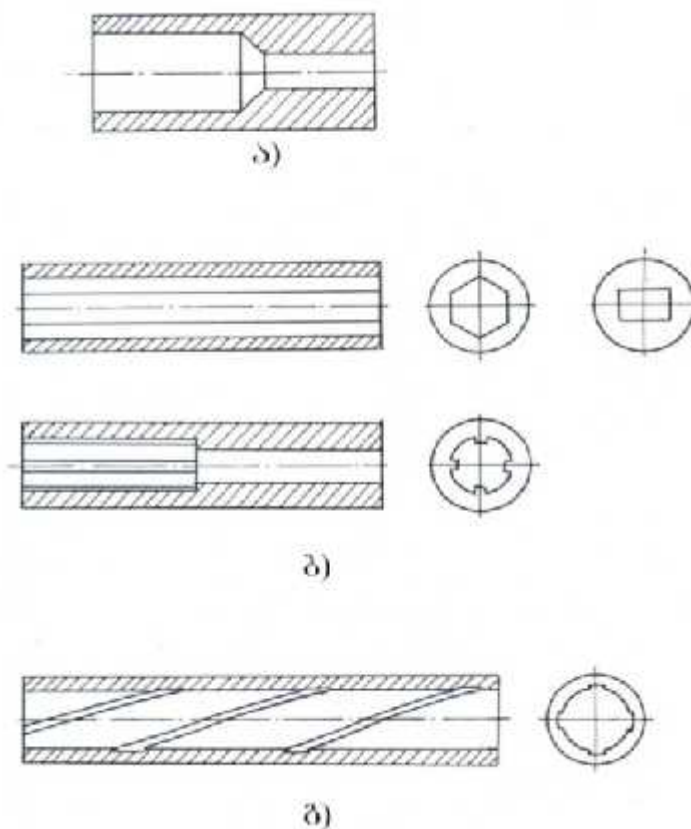
შიგა ზედაპირის რთული კონფიგურაცია გააჩნია ზომაგრძელი ღერძსიმეტრიული დეტალების მრავალრიცხოვან ჯგუფს, რომელიც იყოფა შემდეგ ქვეჯგუფებად:

ა) ღერძსიმეტრიული დეტალები შიგა საფეხურებიანი პროფილით, მათ შორის გარდამავალი მილისები, ნიპელები და საფეხურებიანი ქუროები (ნახ.43ა);

ბ) სიმეტრიული დეტალები მუდმივი განიკვეთის შიგა პროფილით; ამ ქვეჯგუფის ტიპური დეტალებია შლიციანი მილისები, მილისები ექვსწახნაგა და კვადრატული ნახვრეტებით (ნახ. 43. ბ);

გ) ღერძსიმეტრიული დეტალები შიგა კუთხვილით ან შიგა სპირალური ღარებით; ამ ქვეჯგუფს ეკუთვნის დეტალები შიგა სპირალური შლიცებით, მილები შიგა კუთხვილებით (ნახ.43 გ).

ზემოთ აღნიშნული დეტალების მიღება ლითონსაჭრელ ჩარხზე დაკავშირებულია ლითონის მნიშვნელოვან დანაკარგებთან და მოითხოვს საკმაოდ რთული საწელავი ჩარხების და ინსტრუმენტების გამოყენებას.

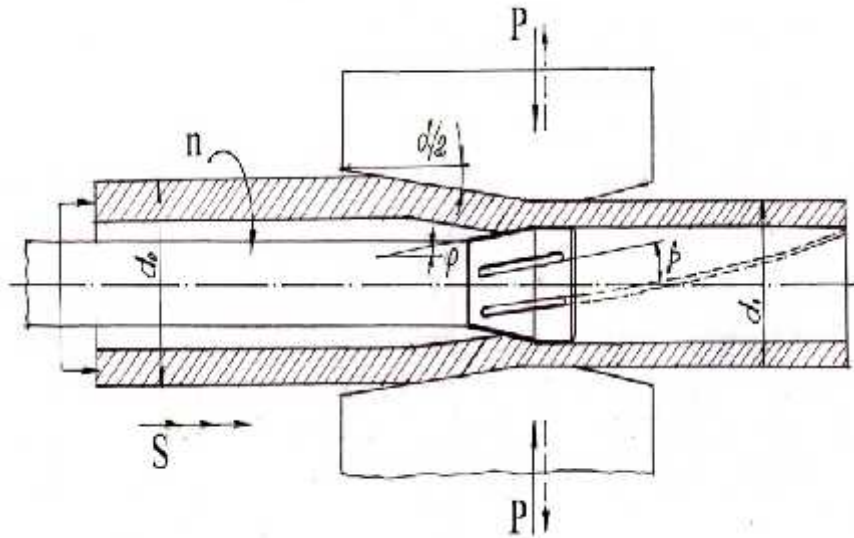


ნახ.43. რთული ფორმის შიგა ზედაპირიანი დეტალები

განსაკუთრებულ სირთულეს წარმოადგენს მილების შიგა ზედაპირზე სპირალური დაკუთხვის მიღება.

## 2.5.2. სპირალური ღარების ფორმირება რადიალურ-საჭედ მანქანებზე

რთული ფორმის შიგა ზედაპირიანი ღერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვა ხორციელდება რადიალურ-საჭედ მანქანებზე. მილნამზადის რადიალური ჭედვის სქემა მოცემულია ნახ.44-ზე.



ნახ.44. ნამზადის დეფორმაციის სქემა

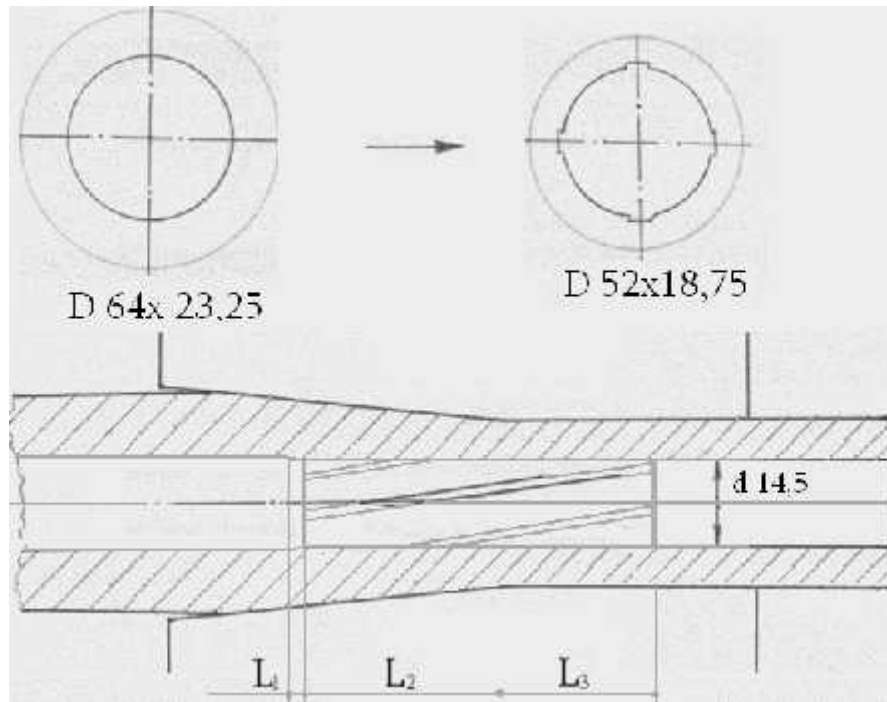
მიუხედავად იმისა, რომ რადიალური ჭედვის გამოყენებას აფერხებს რადიალურ-საჭედი მანქანების მაღალი ღირებულება (მაგალითად, ავსტრიული ფირმა - Gesellschaft Fur Fertigungs-technik und Maschinenbau (GFM) რადიალურ-საჭედი მანქანების საშუალო ფასი შეადგენს თითქმის 500 000 დოლარს), ამ მეთოდს მაინც უპირატესობას ანიჭებენ მთელი რიგი დადებითი მხარეების გამო.

რადიალური ჭედვის დადებითი შედეგებია: ლითონის ეკონომია 15-20 %; ნაკეთობის ზომების სიზუსტის გაზრდა მე-2, მე-3 კლასამდე; ნაკეთობის ზედაპირის სისუფთავის ამაღლება მე-9, მე-10 კლასამდე; ლითონის სიმტკიცის 1,3÷1,5-ჯერ გაზრდა.

### 2.5.3. ტექნოლოგიური რეჟიმის ანგარიში

ტექნოლოგიური რეჟიმის პარამეტრების ანგარიშის მეთოდიკა განხილულია კონკრეტული ღერძსიმეტრიული დეტალის რადიალური ჭედვის პროცესისთვის, როცა D 64x23 მილნამზადიდან მიიღება D 52x18,75 მილისა შიგა სპირალური ღარებით; მასალა ფოლადი 40XH.

ჭედვის ოპერაციის სქემა მოცემულია ნახ.45-ზე.



ნახ.45. ჭედვის ოპერაციის სქემა

1) ნამზადის მიწოდება.

ნამზადის მიწოდების სიდიდე განისაძრვრება მისი სიგრძის იმ ნაწილით, რომელიც შედის დეფორმაციის ზონაში მოჭიმვის ერთი ციკლის დროს. მიწოდების დასაშვები მნიშვნელობა შეზღუდულია ნამზადის სიხისტით, ლითონის პლასტიკური დეფორმაციისადმი წინაღობით და მისაღები ნაკეთობის ზედაპირის ხარისხით.

ჭედვის დამყარებულ პროცესში ნამზადის მიწოდების დასაშვები მნიშვნელობა გამოიანგარიშება ფორმულით:

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

სადაც Z არის მუდმივა, რომელიც ითვალისწინებს ნამზადის მასალას ლეგირებული ფოლადებისათვის Z = 1,3;

K – შესწორების კოეფციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დეფორმაციის არათანაბრობას; K = 3;

n – საცემელების რაოდენობა: n = 4;

$d_0, d_1$  – ნამზადის ზომებია, შესაბამისად მოჭიმვამდე და მოჭიმვის შემდეგ.

$$S = \frac{1,3(64^2 + 0,31 \times 52^2)}{(64 + 52)(64^2 - 52^2)} \times 3 \times 4 = 0,48 \text{ მმ}$$

დამრგვალების შემდეგ შეგვიძლია მივიღოთ, რომ  $S = 0,5$  მმ, მაშინ ნამზადების მიწოდება 1 წუთში შეადგენს:

$$S' = NS = 240 \times 0,5 = 120 \text{ მმ.}$$

2) ნამზადის მიწოდების სიჩქარე (დამჭერი მოწყობილობის სვლის სიჩქარე):

$$v = \frac{s'}{60} = \frac{120}{60} = 2 \text{ მმ/წამ}$$

3) ნამზადის ბრუნთა რიცხვი 1 წუთში

საცემელების რხევების სიხშირე უდრის  $N = 240 \text{ წუთ}^{-1}$ , მაშინ 1 წამში ნამზადზე განხორციელდება  $240/60 = 4$  დარტყმა. ასეთ შემთხვევაში ერთი დარტყმის ხანგრძლივობა იქნება  $1/4 = 0,25$  წამ. ამ დროის განმავლობაში ნამზადმაის ზედაპირის წერტილებმა უნდა მოასწრონ 64-მმ დიამეტრის წრეზე 6 მმ-ზე გადანაცვლება (64 მმ არის ნამზადის გარე დიამეტრი, ხოლო 6 მმ – მანქანის საცემელებს შორის ღრეჩო დეფორმირების პროცესის ბოლოს) ანუ ნამზადი უნდა შემოტრიალდეს  $\frac{6}{3,14 \cdot 64} \cdot 360 = 10,8^\circ$  – იან კუთხეზე.

მაშინ ერთ წამში ნამზადი უნდა შემოტრიალდეს  $10,8/0,25 = 43,2^\circ$ -ზე, ხოლო 1 წუთში –  $32,72 \times 60 = 2592^\circ$ , რაც შეესაბამება  $2592/360 = 7,2$  ბრუნ. დამრგვალების შემდეგ შეგვიძლია მივიღოთ, რომ ნამზადი უნდა შეასრულოს 8 ბრუნი 1 წუთში.

მაშასადამე, ნამზადის ბრუნვითი მიწოდება უდრის:  $n_1 = 8$  ბრუნ/წუთ.

4) ნამზადის დეფორმაციის რეჟიმის ანგარიში

დეტალის ჭედვის ოპერაცია სრულდება ერთი გავლით: საწყისი დიამეტრიდან  $d_0 = 64$ ; საბოლოო დიამეტრზე  $d_1 = 52$ .

აბსოლუტური დიამეტრული მოჭიმვა:  $\Delta d = d_0 - d_1 = 64 - 52 = 12$  მმ.

ფარდობითი მოჭიმვა:  $v = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{12}{64} = 0,1875 \approx 0,19$ ;

ნამზადის ფარდობითი მოჭიმვა %-ში:  $v = 0,19 \cdot 100\% = 19\%$

5) დეფორმაციის ხარისხი ერთეული მოჭიმვისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$v_m = \frac{2vtgr}{3nn_1} (d_0 - d_1) \frac{d_0 + d_1 + \frac{2vtgr}{nn_1}}{d_0(d_0 - d_1 + \frac{2vtgr}{nn_1})(d_1 + \frac{2vtgr}{nn_1})};$$

სადაც  $V$  არის ნამზადის მიწოდების სიჩქარე;

$r$  - საცემელების შემავალი კონუსის კუთხე:  $r = 6^\circ$ ;  $tgr = 0,1054$ ;

$d_0$  - ნამზადის დიამეტრი დეფორმაციამდე;

$d_1$  - ნამზადის დიამეტრი დეფორმაციის შემდეგ;

$n$  - საცემელების რაოდენობა:  $n = 4$ ;

$n_1$  - ნამზადის ბრუნთა რიცხვი ერთ წუთში;  $n_1 = 8$  ბრუნ/წუთ.

$$v_m = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,1054 \cdot 60}{3 \cdot 4 \cdot 8} (64 - 52) \frac{64 + 52 + \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,1054 \cdot 60}{4 \cdot 8}}{64(64 - 52 + \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,1054 \cdot 60}{4 \cdot 8})(52 + \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,1054 \cdot 60}{4 \cdot 8})} = 0,0085.$$

ანდა  $v_m = 0,85\%$ .

6) ნაწილობრივი დეფორმაციის ხანგრძლივობა:

$$A - \text{პარამეტრი უდრის: } A = \frac{\Delta d n n_1}{2tgr} = \frac{12 \cdot 4 \cdot 8}{2 \cdot 0,1054 \cdot 60} = 30,36.$$

როდესაც  $V < A$ , (მოცემულ შემთხვევაში  $V=2$  მმ/წამ), ფორმულა დეფორმაციის ხანგრძლივობის განსაზღვრისათვის შემდეგია:

$$\ddagger_d = \frac{1}{2fN} \left[ \frac{f}{2} + \operatorname{arcSin} \frac{(1 - \sqrt{1 - 2\}}{\frac{vtg\Gamma}{NR} - 1 - \frac{\}}{2}} \right],$$

სადაც  $N$  არის საცემელების სიხშირე;  $N = 240$  წუთ<sup>-1</sup>;

$\}$ ,  $R$  – პირობითი ექსცენტრული მექანიზმის პარამეტრებია; მოცემულ შემთხვევაში  $R = 2$ ;  $\} = R/L = 2/280 = 0,007$ .

მაშასადამე,

$$\ddagger_d = \frac{1 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 240} \left[ \frac{3,14}{2} + \operatorname{arcSin} \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,007 (\frac{2 \cdot 0,1051}{240 \cdot 0,002} - 1 - \frac{0,007}{2})}}{0,007} \right] = 0,086$$

წამ.

7) დეფორმაციის სიჩქარე (ერთეული მოჭიმვის სიჩქარე):

$$U = v_m / \ddagger_d = 0,0085 / 0,086 = 0,098 \text{ წამ}^{-1};$$

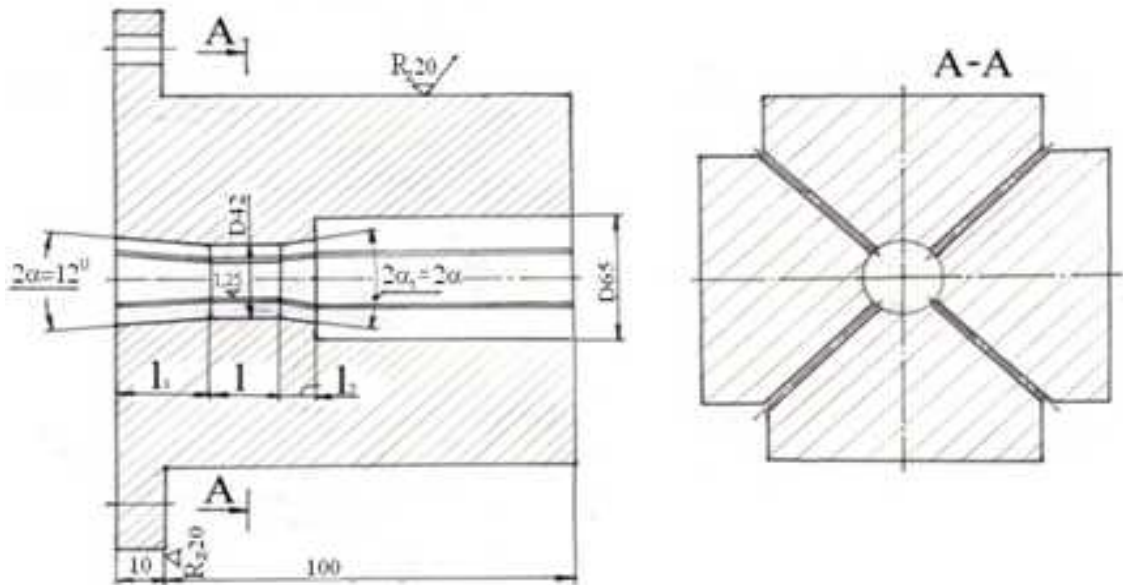
8) დეფორმაციის წილადობის კოეფიციენტი:  $K_{\text{დეფ}} = \frac{v}{v_m} = \frac{0,19}{0,0085} = 22,35$

9) დეფორმაციებსშორისი პაუზა:  $\ddagger = \frac{1}{nm_1} = \frac{1}{4 \cdot 8} = 0,031$  წამ.

#### 2.5.4. ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის პარამეტრების დადგენა

ინსტრუმენტის - საცემელების და სამართულის - გეომეტრიული პარამეტრების სწორად დადგენა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნაკეთობის სიზუსტეზე. საცემელების (ნახ.46) გეომეტრიული ფორმა განისაზღვრება შემავალი და გამოსავალი კონუსების კუთხეებით, ღარის პროფილით და ღარის კონუსური და ცილინდრული უბნების სიგრძეების თანაფარდობით.

შემავალი კონუსის კუთხე მიიღება  $6 - 20^\circ$  ფარგლებში. მოცემულ შემთხვევაში ნამზადის სტაბილური შეტაცების უზრუნველყოფის მიზნით ვღებულობთ  $2r = 12^\circ$ .



ნახ.46. საჭედი საცემელები

შემავალი კონუსის სიგრძე განისაზღვრება ფორმულით:

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

სადაც  $d_0$  არის ნამზადის საწყისი დიამეტრი;  $d_1$  – დეტალის დეტალის დიამეტრი;  $r$  – საცემელის შემავალი კონუსის კუთხეა.

შემავალი კონუსის კუთხეს ვღებულობთ  $6^\circ$ -ს, მაშინ საცემელების კონუსის სიგრძე იქნება ტოლი:

$$l_1 = \frac{64 - 52}{2 \operatorname{tg} 6^\circ} = \frac{12}{2 \times 0,1054} = 56,93 \text{ მმ.}$$

შეუფერხებელი შეტაცებისათვის ნამზადი დეფორმაციის კერაში შესვლამდე უკვე უნდა იყოს თანაღერძულად მიმართული მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მიმართ; ამიტომ ამ მიზნით შემავალი კონუსის სიგრძეს ვღებულობთ  $l_1 = 80$  მმ.

დამაკალიბრებელი უბნის სიგრძე მიიღება თანაფარდობიდან:  $l = (0,7 - 2)l_1$ . ვღებულობთ  $l_1 = 100$  მმ.

საცემელის გამოსავალი კონუსის კუთხე და სიგრძე რეკომენდებულია მივიღოთ ისეთივე, როგორც შემავალი კონუსში; ეს საშუალებას მოქცევს უფრო დიდ ხანს გამოვიყენოთ ერთი და იგივე საცემელი.



საცემელების დამზადების ტექნოლოგია არის ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი, რომელიც უზრუნველყოფს ნაჭედი დეტალების ზომების მაღალ სიზუსტეს და ზედაპირის სისუფთავს.

საცემელები მზადდება მაღალნახშირბადიანი ინსტრუმენტალური მარკის ფოლადებისგან Y8, Y10, Y12, სწრაფმჭრელი ფოლადისგან PΦ1, ლეგირებული ფოლადებისგან 5XB2C, XBF, ΞX12M და სხვა, ასევე სალი შენადნობებისგან.

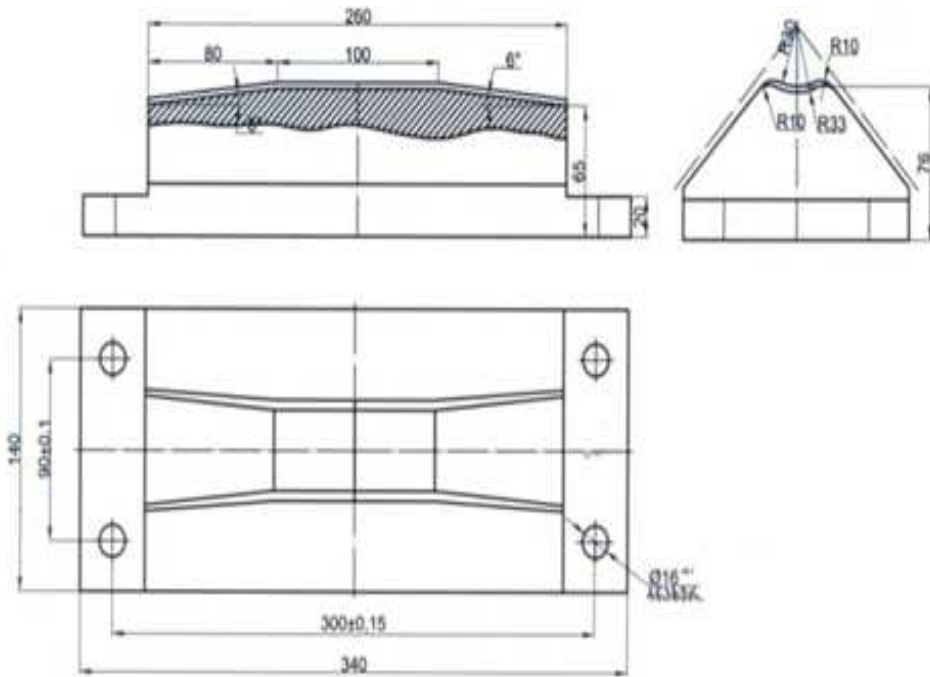
საცემელების დამზადების ტექნოლოგიურტი მარშრუტი ასეთია:

1. საცემელების მუშა ზედაპირების წინასწარი დამუშავება;
2. საცემელების კომპლექტის წახნაგების და გვერდების რანდვა და ხეხვა;
3. მუშა ზედაპირის პროფილის წინასწარი დამუშავება ზედაპირების თანაღერძულობის დაცვით;
4. თერმული დამუშავება (წრთობა და მოშვება);
5. წიბოების და გვერდების ხეხვა;
6. ღარის მუშა ზედაპირის გამოყვანა.
7. თერმული დამუშავება;

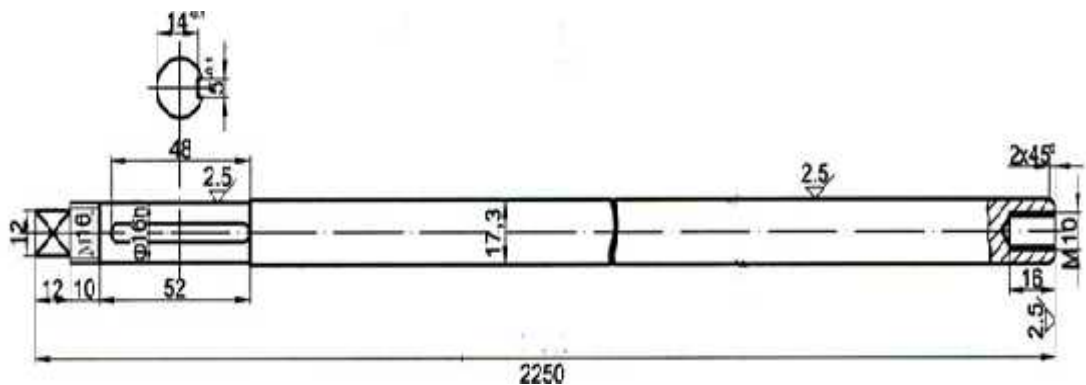
თერმული დამუშავების შემდეგ საცემელების სისაღე უნდა იყოს არანაკლებ HRC 61-64. საცემელების დამუშავების სიზუსტე უნდა იყოს ერთი კლასით უფრო მაღალი, ვიდრე ნაჭედის სიზუსტე. ზოგ შემთხვევაში საცემელების შიგა ზედაპირი ექვემდებარება პოლირებას.

საცემელების მასალაა 5XB2C მარკის ლეგირებული ფოლადი.

ქვემოთ მოცემულია საცემელის (ნახ. 47), ღეროს (ნახ. 48) და სამართულის (ნახ. 49) მუშა ნახაზები.

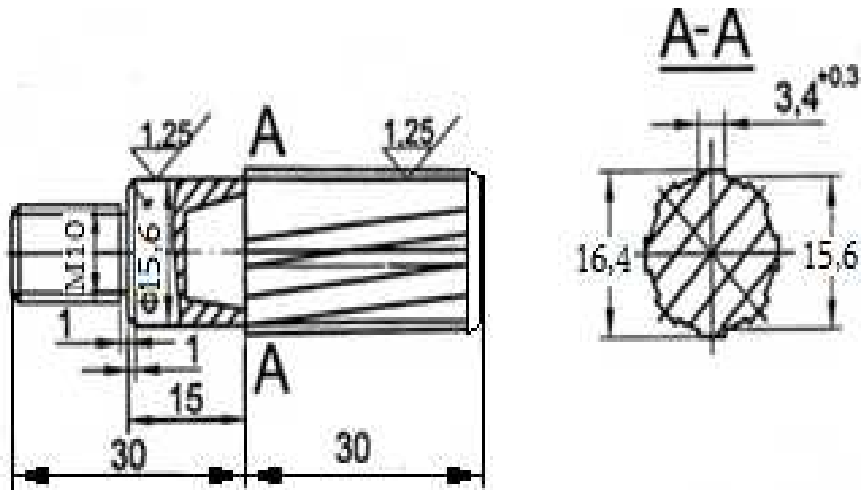


ნახ.47. საცემელის მუშა ნახაზი



ნახ.48. ღეროს მუშა ნახაზი

სამართულს აქვს კონუსური მუშა უბანი და ცილინდრული დამკალიბრებელი უბანი. ღეროს სამართული უერთდება ხრახნული შეერთების მეშვეობით. სამართულის მუშა უბნის ზედაპირზე გაკეთებულია (0,1 – 0,15) მმ-ს სიმაღლის და 3,4 მმ-ს სიგანის გამონაშვებები, რომლებიც დახრილადაა მიმართული სამართულის ღერძის მიმართ (დახრილობის კუთხე შეადგენს 20 ). სამართულის დიამეტრი უნდა იყოს (0,4 – 0,7)%-ით ნაკლები ნამზადის შიგა დიამეტრზე - ეს საჭიროა მისი ნამზადში შეყვანის გაადვილებისათვის.



ნახ.49. სამართულის მუშა ნახაზი

სამართულის ზომების სიზუსტე უნდა აღემატებოდეს მისაღები ნაკეთობის ზომების სიზუსტეს, ხოლო მისი ზედაპირის სისუფთავე შეიძლება იგივე იყოს, რაც ნაკეთობის ზედაპირის სისუფთავე.

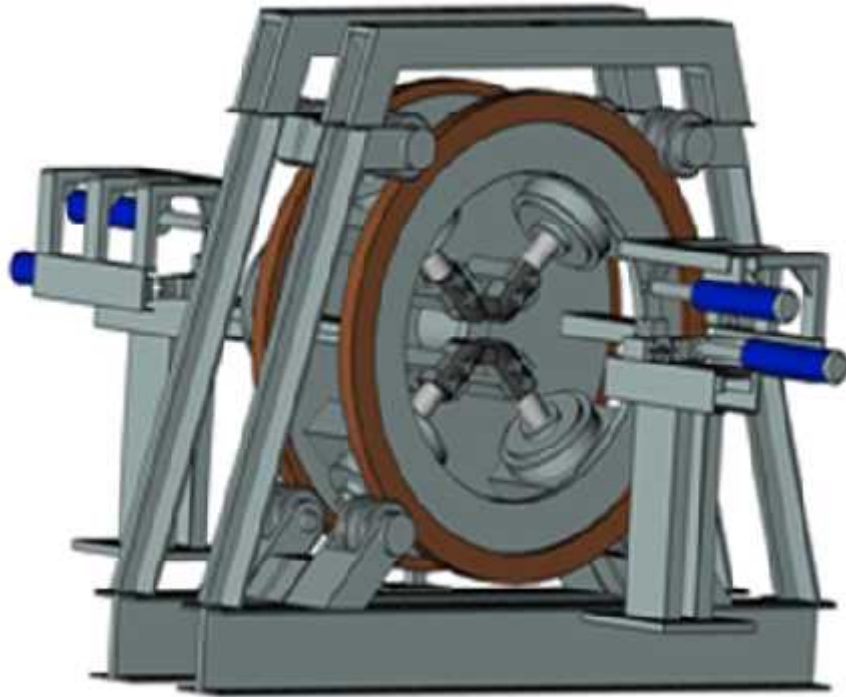
სამართული მზადდება ლეგირებული ფოლადისაგან - ფოლადის მარკა 12XΦ1. სამართული ექვემდებარება თერმულ დამუშავებას - წრთობას. სისაღე წრთობის შემდეგ უნდა იყოს არანაკლებ 60 – 65 HRC.

## 2.6. რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზი

რადიალური ჭედვის პროცესის რეალიზაცია ხდება სხვადასხვა კონსტრუქციის რადიალურ-საჭედ მანქანებზე. თანამედროვე როტაციულ და რადიალურ საჭედი მანქანების ძირითადი მწარმოებელია ავსტრიული ფირმა „Gesellschaft Fur Fertigungs-technik und Maschinenbau (GFM)“. აღნიშნული ფირმის მანქანების საშუალო ფასი შეადგენს 1500000 დოლარს. ერთ-ერთი როტაციულ-საჭედი მანქანის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.50-ზე.

არსებობს რადიალურ-საჭედი მანქანების სამი ჯგუფი: 1) გორგოლაჭიანი 2) ბერკეტული 3) ბარბაციანი.

ქვემოთ მოცემულია ამ მანქანების კონსტრუქციების განხილვა, აღნიშნულია მათი დადებითი მხარეები და გამოვლენილია ნაკლოვანებები.

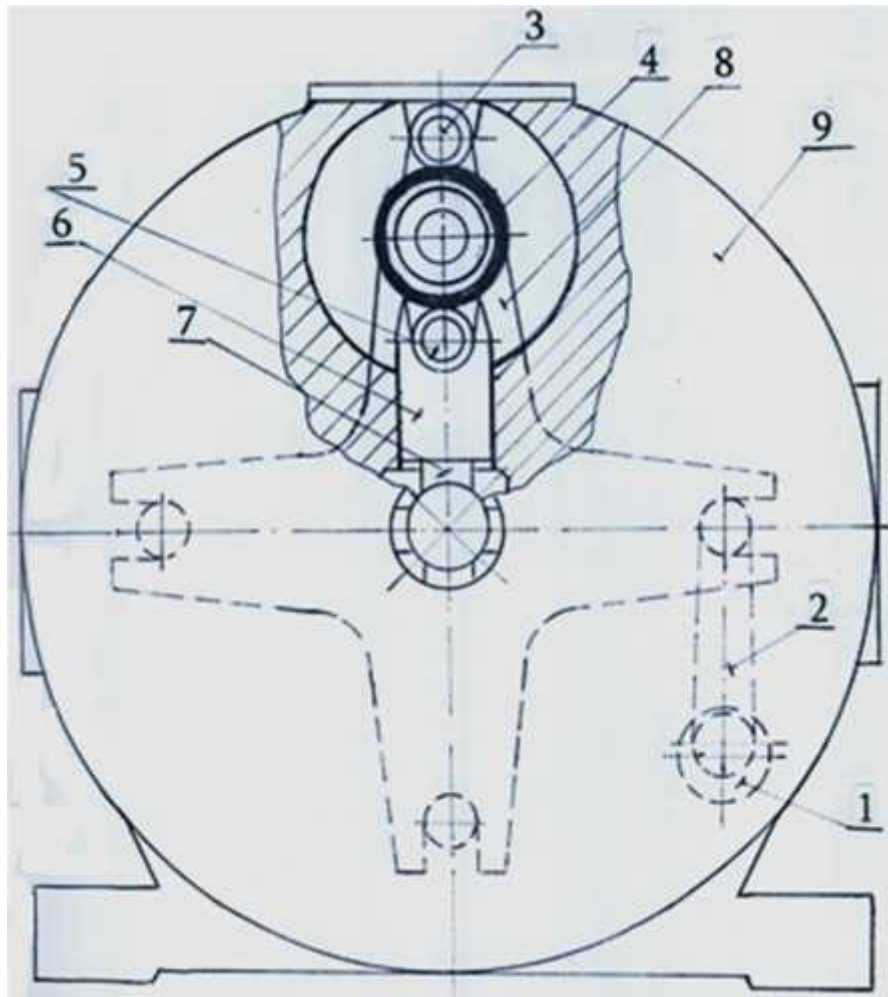


ნახ.50. როტაციულ-საჭედი მანქანა

### გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანები

გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანები კონსტრუქციულად ძალიან მიახლოებულია როტაციულ-საჭედ მანქანებთან. ერთ-ერთი გავრცელებული გორგოლაჭიანი მანქანის მოჭიმვის მექანიზმის კონსტრუქცია მოცემულია ნახ. 51-ზე.

მანქანის მუშა ორგანოები განლაგებულია კორპუსის (9) კილოებში. მანქანის მუშა ორგანოების ასამოქმედებელი მექანიზმი წარმოადგენს ჯვარედინას (8) გორგოლაჭებით (4). გორგოლაჭები კონტაქტში იმყოფება საყრდენ გორგოლა-ჭებთან (3). ჯვარედინა ბარბაცას (2) მეშვეობით შეერთებულია ექსცენტრიკულ ლილვთან (1).



ნახ.51. გორგოლაჭიანი მანქანის მოჭიმვის მექანიზმი

მანქანის მუშაობის დროს ჯვარედინა მოდის რხევით მოძრაობაში ექსცენ-ტრიკული ლილვის და ბარბაცას საშუალებით. ჟვარედინას რხევისას მისი გორგოლაჭები ახდენენ საყრდენი გორგოლაჭების და ცოციას გორგოლაჭების (5) განსოლვას და აიძულებენ ცოციას (6) გადაადგილდეს მანქანის ცენტრისკენ, რის შედეგად ხდება ნამზადის მოჭიმვა საცემელებით (7). მანქანა ძირითადად განკუთვნილია ნაკეთობების შიგა ზედაპირის პროფილირებისათვის.

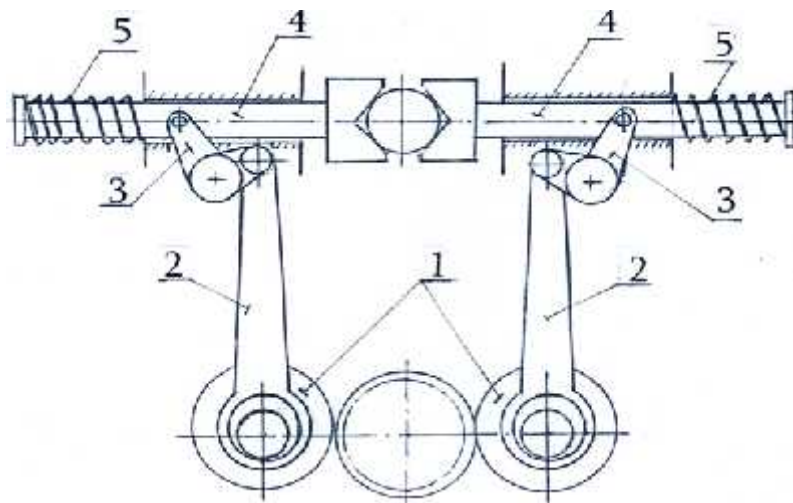
გორგოლაჭიანი რადიალურ-საჭედი მანქანების ძირითადი ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი ხშირად გამოდის მწყობრიდან დიდი დინამიკურ დატვირთვების გამო, მაღალია ძაბვების კონცენტრაცია გორგოლაჭების საკონტაქტო ზონაში, სადაც მოქმედებენ ცვლადი

პულსაციური ხასიათის ძაბვები. გორგოლაჭიანი მანქანები, გარდა ამისა ძალიან ხმაურიანია.

### ბერკეტულირადიალურ-საჭედი მანქანები

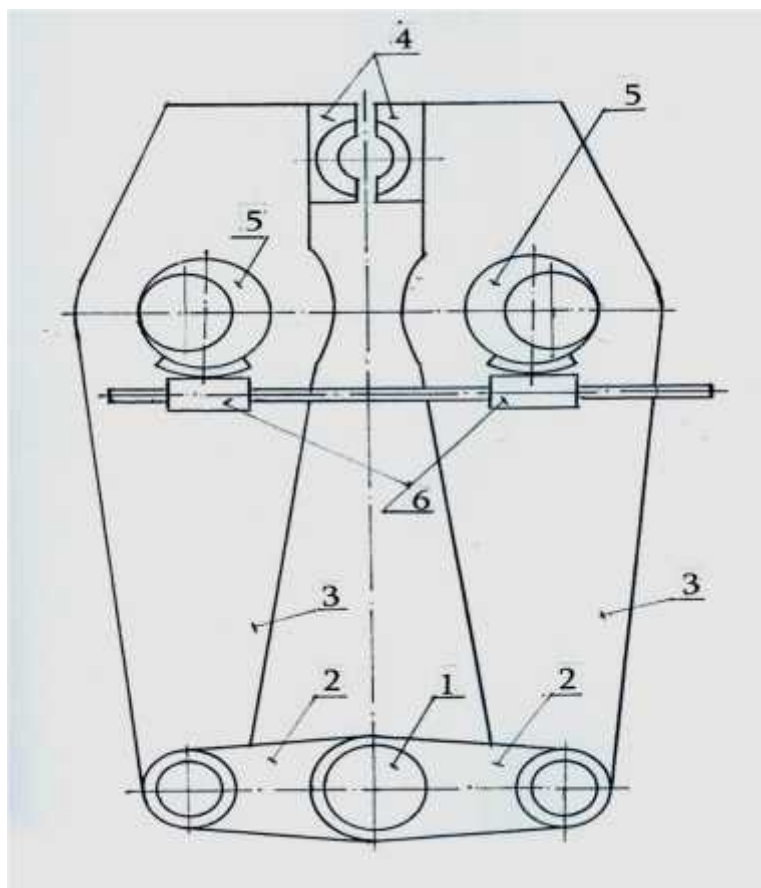
ბერკეტულ მანქანებში საცემელებს მოძრაობა გადაეცემა ბერკეტების მეშვეობით. ბერკეტები კინემატიკურ კავშირში არიან ექსცენტრულ ლილვთან. მარტივი ქმედების ბერკეტული მანქანა მოცემულია ნახ. 52-ზე. ელექტროძრავას ბრუნვაში მოჰყავს კბილანები (1), რომლებსაც აქვთ მრუდმხარები. მრუდმხარები ბარ-ბაცების (2) მეშვეობით შეერთებული არიან ბერკეტებთან (3). ისინი გადასცემენ მოძრაობას ჭოკებს (4), რომლებზეც დამაგრებულია საცემეები. ჭოკები მოძრაობენ გრძელ მიმმართველებში. ჭოკების მუდმივი მოჭერა ბერკეტებთან უზრუნველყოფილია ზამბარებით (5).

შედარებით დაბალი მწარმოებლობა და ნამზადების მექანიზირებული მიწოდების არქონა ზღუდავს მანქანის გამოყენების სფეროს.



ნახ.52. ბერკეტული მანქანა

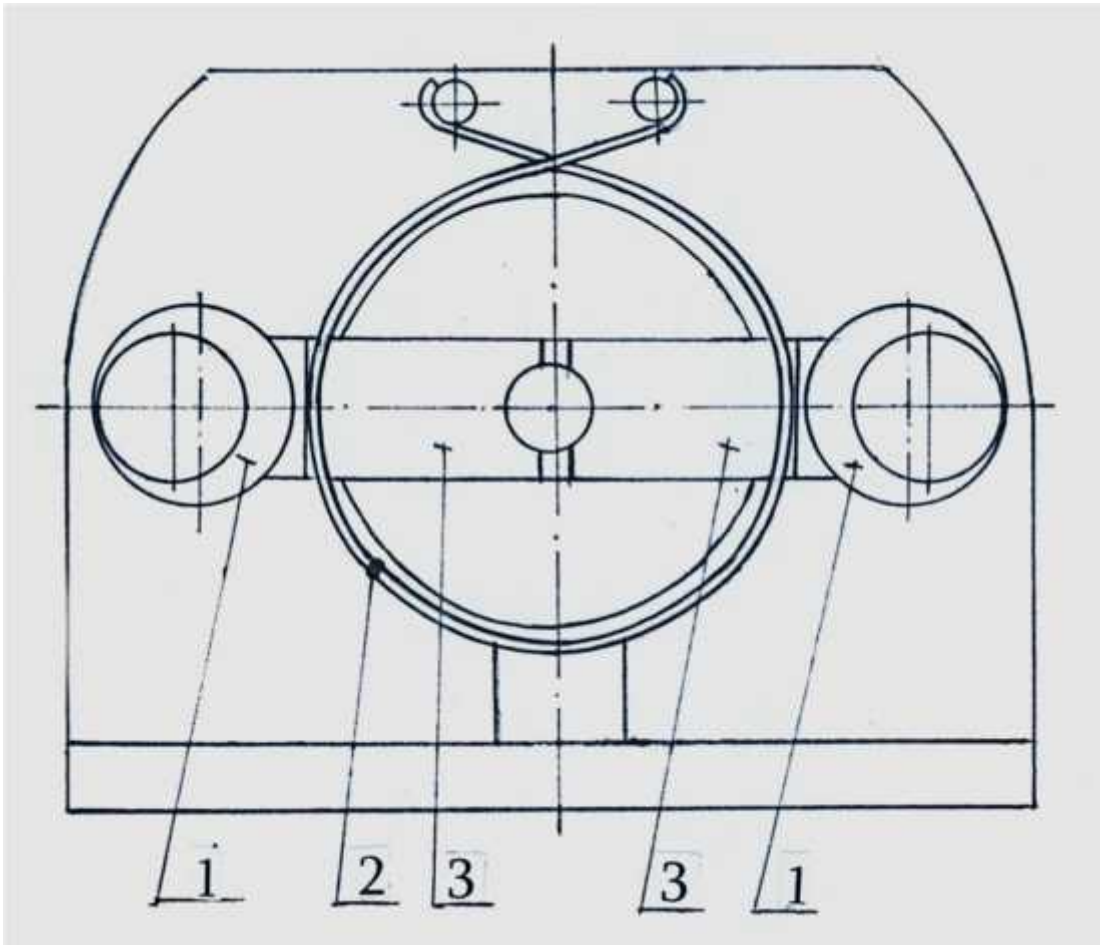
ნახ.53-ზე მოცემულია რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა, რომელსაც უშვებენ ფირმები “Cobelux”, “Usine de Wecker” (ლუქსემბურგი).



ნახ.53. “Cobelux”, “Usine de Wecker” ფირმების მიერ გამოშვებული რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა

მანქანის მუშაობის პრინციპი ასეთია: ლილვზე (1) დამაგრებულია ორი ექსცენტრიკი, რომლებსაც მოძრაობაში მოჰყავთ ბარბაცები (2), რომლებიც გადასცემენ რხევით მოძრაობას ბერკეტებს (3). ბერკეტებზე დამაგრებულია საცემელები (4). საცემელების სვლის რეგულირება ხდება ექსცენტრული მილისების (5) და ჭიახრახნული მექანიზმის მეშვეობით.

ნახ. 54-ზე წარმოდგენილია ფირმა “Orka”-ს მანქანა. ელექტროძრავას ბრუნვაში მოჰყავს მუშტები (1), რომლებიც ზემოქმედებენ რგოლურ ზამბარაზე (2). ეს უკანასკნელი მოძრაობას გადასცემს საცემელებს (3), რომლებიც ახდენენ ლითონის დეფორმაციას. მანქანა განკუთვნილია მცირე ზომის ნამზადების დასამუშავებლად. მასში ბერკეტების რხევის სიხშირე ძალიან დიდია – 2800 რხევა /წუთში.



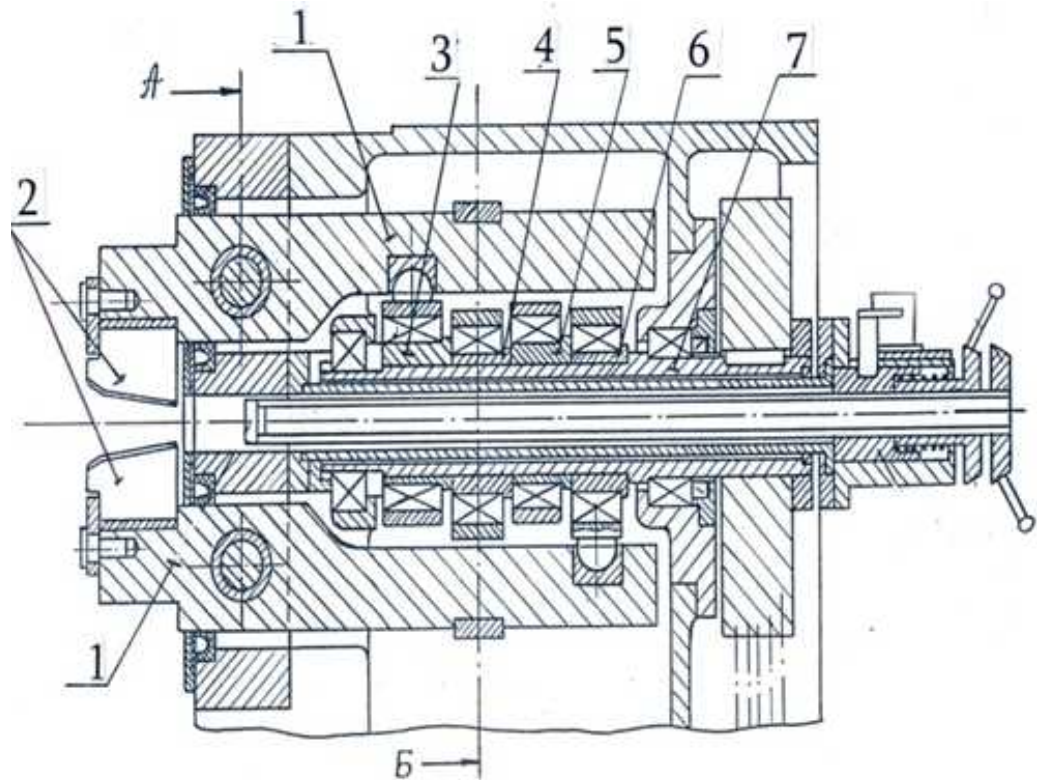
ნახ.54. ფორმა “Orka”-ს მანქანის სქემა

ნახ.55-ზე წარმოდგენილია “Kiesilringi”-ს ფორმის რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა. მანქანის კორპუსში სახსრულად დაყენებულია ოთხი ბერკეტი (1), რომელთა წინა ნაწილში დამაგრებულია საცემელები (2), ხოლო უკანა ნაწილები დაყრდნობილია მუშტებზე (3). გორვის საკისრების მეშვეობით მუშტები მოთავსებულია ცენტრალურ ლილვზე (7); ეს უკანასკნელი ღვედური გადაცემით შეერთებულია ელექტროძრავასთან.

ელექტროძრავას ბრუნვაში მოჰყავს მუშტებიანი ლილვი, მუშტები გადასცემენ რხევით მოძრაობას ბერკეტებს; ბერკეტებზე დამაგრებული საცემელები აწარმოებენ ლითონის დეფორმაციას.



“Kiesilringi”-ს ფირმის რადიალურ-საჭედი მანქანები გამოირჩევა სტაბილური მუშაობით, გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლურობით, მუშაობაში უხმაუროა.



ნახ.55. ფირმა “Kiesilringi”-ს რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა

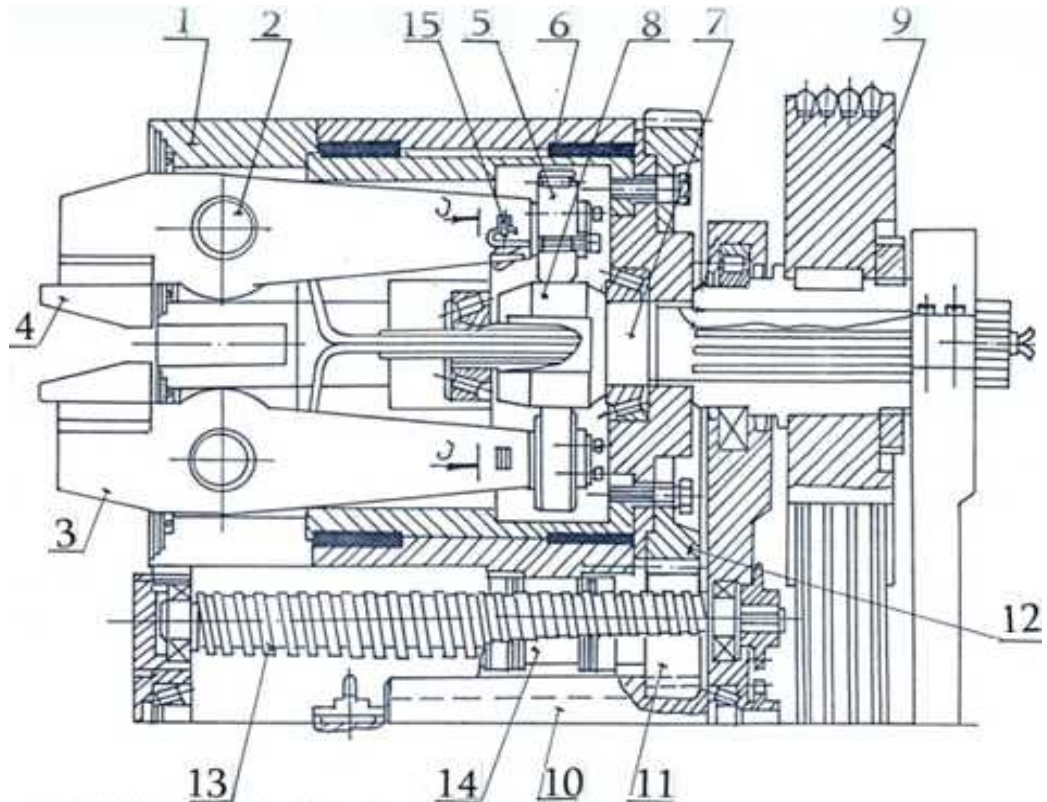
მანქანის მთავარი კონსტრუქციული ნაკლი მდგომარეობს განსხვავებული სიგრძის ბერკეტების გამოყენებაში, რის გამოც არათანაბარია დატვირთვა ბერკეტებთან შეერთებულ დეტალებზე და შესაბამისად მათი ცვეთის ხარისხიც განსხვავებულია, რაც იწვევს პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას.

ნახ.56-ზე მოცემულია მუშტა ტიპის ბერკეტული მანქანა, რომელიც წარმოადგენს “Kiesilringi”-ს მოდერნიზებულ ვარიანტს.

მანქანა მუშაობს შემდეგი პრინციპით: ელექტროძრავასაგან ღვედური გადაცემის მეშვეობით ბრუნვაში მოდის შკივ-მქნევარა (9), რომელიც აბრუნებს მუშტას (8). მუშტას რხევით მოძრაობაში მოჰყავს ბერკეტები (3) საცემელებით.

საცემელები აწარმოებენ ლითონის დეფორმაციას. მანქანას აქვს მომჭედი ბლოკის გადაადგილების საშუალება, რაც გამორიცხავს ნამზადის მიწოდების მოწყობილობის აუცილებლობას.

მუშტა ტიპის ბერკეტული მანქანა ძალიან რთულია კონსტრუქციულად, რაც განპირობებულია მომჭედი ბლოკის გადაადგილების მექანიზმის არსებობით.



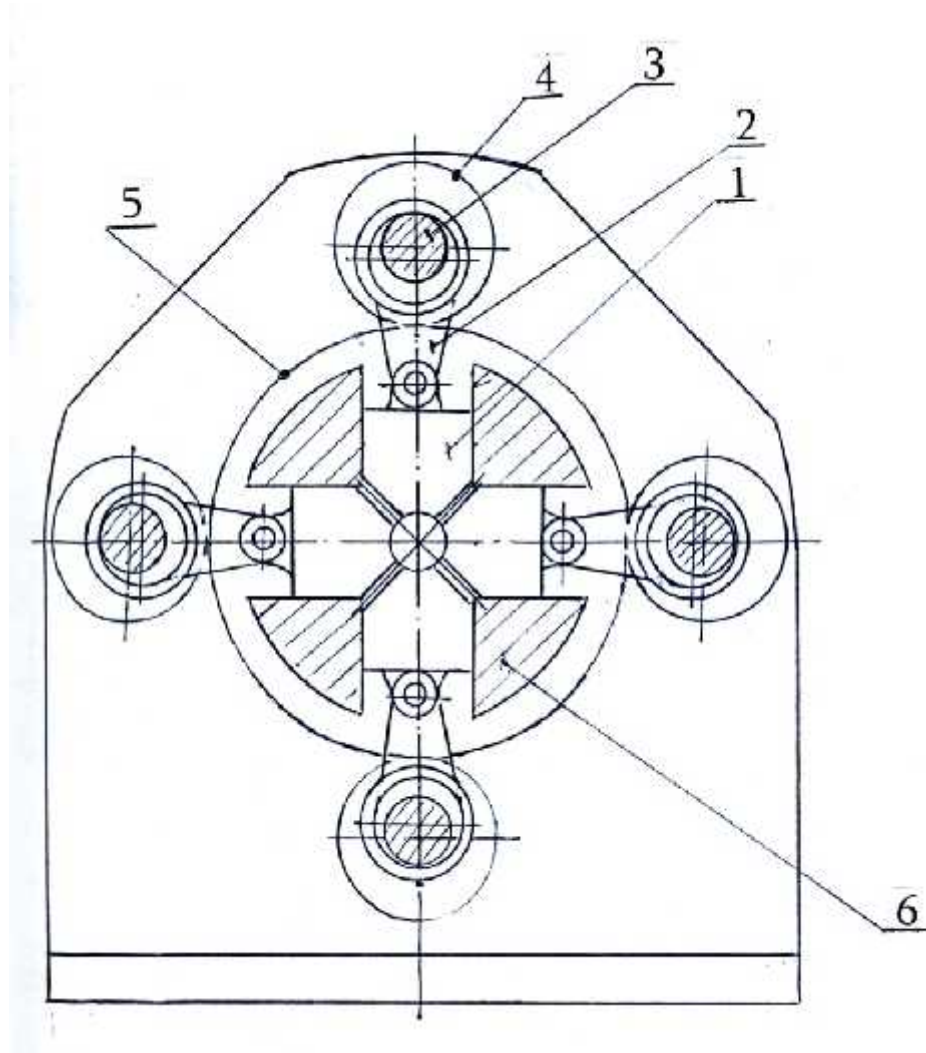
**ნახ.56. მუშტა ტიპის ბერკეტული მანქანა:**

- 1.კორპუსი; 2.ღერძი; 3.ბერკეტი; 4.საცემელი; 5.საკისარი; 6.მილისა; 7.მუშტა ლილვი;  
10.წამყვანიკბილანა; 11.საშუალო კბილანა; 12. ცენტრალური კბილანა; 13.წამყვანი  
ხრახნი; 14.ქანჩი; 15. ძამზარა

### ბარბაციანი მანქანები

ყველაზე სრულყოფილად ითვლება ბარბაციანი მანქანები (ნახ.57). ბარბაციან მანქანებს აქვს რამდენიმე სამჭედლო მექანიზმი, რომლებიც განლაგებულია რადიალურად მანქანის ღერძის მიმართ, ასევე ოთხი საცემელი (1), რომლებიც მოქმედებაში მოდის მრუდმზარა ბარბაცა მექანიზმებით (2 და 3). მრუდმზარა ზის კბილანაზე (4), რომელიც ღებულობს მოძრაობას ცენტრალური კბილანისგან (5). საცემელები

მოთავსებულია კორპუსის (6) კილოებში. დამუშავების პროცესში ნამზადი განიცდის ძალოვან ზემოქმედებას ოთხივე მხრიდან რადიალური მიმართულებით.



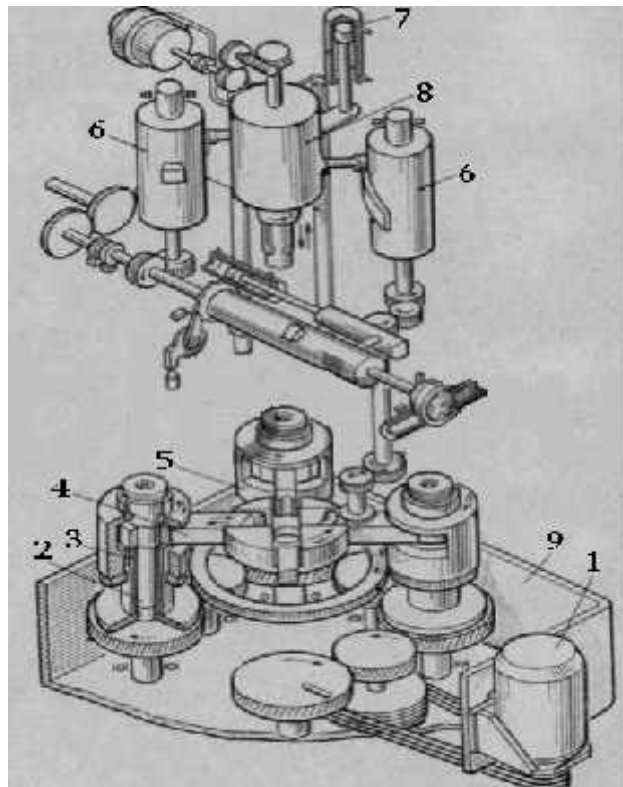
ნახ.57. ბარბაციანი მანქანა

ბარბაციანი მანქანები გამოდის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური შესრულებით. მოჭიმვის ძალა ერთ საცემელზე ჰორიზონტალურ მანქანებში 500 ტონას აღწევს, ხოლო ვერტიკალურ მანქანებში - 250 ტონას.

ნახ.58-ზე წარმოდგენილია ვერტიკალური ტიპის ბარბაციანი რადიალურ საჭედი მანქანა, რომელიც განავითარებს 160 ტ ძალას ერთ საცემელზე.

მანქანის ძირითადი ელემენტებია: 1 – ელექტროძრავა; 2 –ლილვი; 3 - ექსცენტრული მილისა; 4 – ბარბაცა; 5 – საცემელი; 6 – საკოპირე დოლები; 7 – ჰიდროცილინდრი; 8 – ნამზადის დამჭერი და მიმწოდებელ-საბრუნებელი მექანიზმი; 9 – სადგარი.

მანქანის პროგრამული მართვა ხდება საკოპირე დოლების საშუალებით მანქანაზე შესაძლებელია საფეხურებიანი მილების, ღერძების და მილისების დამზადება.



ნახ.58. ვერტიკალური ტიპის ბარბაციანი რადიალურ საჭედი მანქანა

ბარბაციანი რადიალურ საჭედი მანქანები ძალიან რთული კონსტრუქციის გამო დამზადების მაღალ სიზუსტეს საჭიროებს.

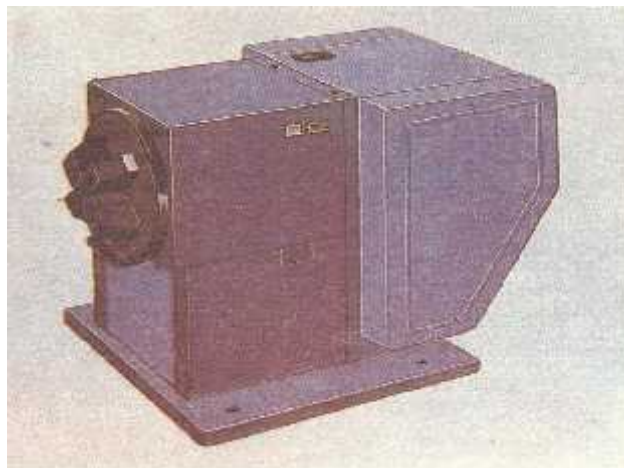
### სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანები

რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყველაზე უფრო ხელსაყრელია ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანები. ეს მანქანები უზრუნველყოფენ როგორც

გლუვი, ასევე სახეფურებიანი ნაკეთობების მიღებას სხვადასხვა მარკის ფოლალებისგან. მანქანები ექსპლუატაციაში გამოირჩევა ეკონომიურობით და რაც ძალზე მნიშვნელოვანია მათი დამზადება არ მოითხოვს დიდ დანახარჯებს და შესაძლებელია ჩვენი რესპუბლიკის საწარმოებში. ამაზე მიუთითებს ასევე ბერკეტის მანქანების ხანგრძლივი და წარმატებული გამოყენების გამოცდილება რუსთავის მეტალურგიული კომბინატის მილამდიდავი საამქროს წარმოებაში. აქ გამოიყენება როგორც უცხოური რადიალურ-საჭედი მანქანები, ასევე ადგილობრივი წარმოების მანქანები, რომლებიც დაპროექტებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ლითონების წნევით დამუშავების კათედრაზე პროფესორ მერაბ მიქაუტაძის ხელმძღვანელობით და დამზადებულია ამავე უნივერსიტეტის ექსპერიმენტულ საწარმოში.

რუსთავის მეტალურგიულ კომბინატში დანერგულია სამი ტიპის ასეთი მანქანა – 25, 45, და 60 ტონიანი.

ნახ.59-ზე წარმოდგენილია 25 ტონიანი მანქანის ფოტოსურათი.

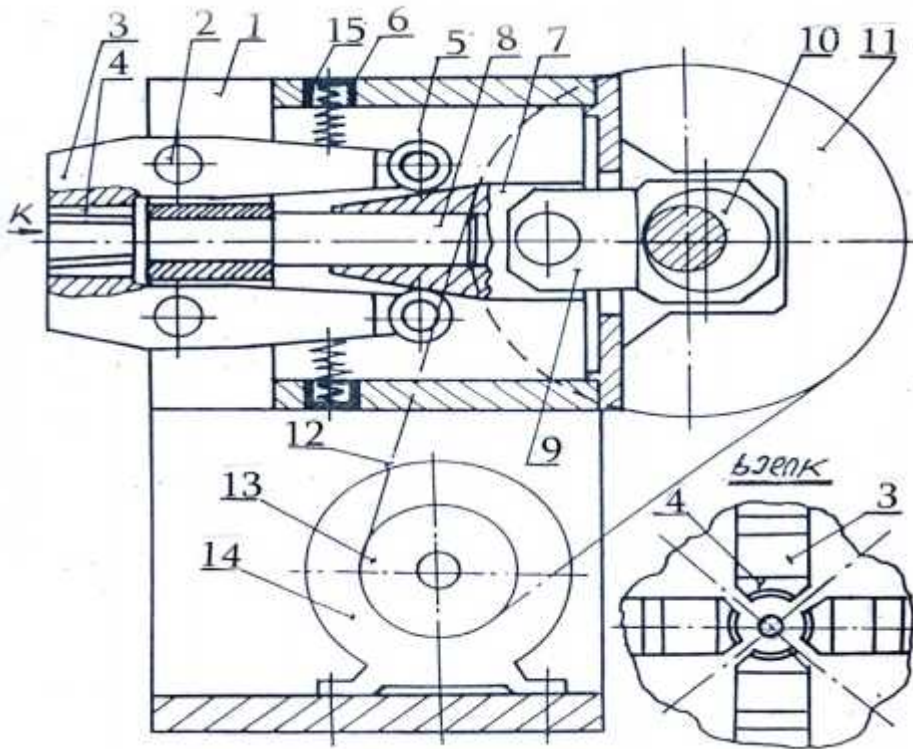


ნახ.59. 25-ტონიანი რადიალურ-საჭედი მანქანა

სოლურ-ბერკეტული ტიპის მანქანის სქემა მოცემულია ნახ. 60-ზე.

მანქანა შეიცავს კორპუსს (1), რომელშიც ღერძებზე (2) დაყენებულია ორმხრივი ბერკეტები (3) (სულ მანქანას აქვს ოთხი ბერკეტი – საცემელებით), რომელთა ერთ ბოლოზე დამაგრებულია საცემელები (4), ხოლო მეორეზე გორგოლაჭები – (5). ბერკეტების ამავე მხარეზე მოქმედებს ზამბარა 6, რომელიც უზრუნველყოფს გორგოლაჭის მუდმივ მიჭერას სოლური ცოციას (7) ზედაპირთან. ცოცია მოძრაობს ცილინდრულ მიმმართველზე (8), იგი მოძრაობაში მოდის ბარბაცას (9), ექსცენტრული ლილვის (10) (მრუდმხარა), შკივ-მქნევარას (11) მეშვეობით. შკივ-მქნევარა ღვედური გადაცემით (12) უერთდება წამყვან შკივს (13), რომელიც დამაგრებულია ელექტროძრავაზე (14). ზამბარის ძალის რეგულირება ხდება ხრახნული საცობის (15) მეშვეობით. მანქანის მუშაობს შემდეგი პრინციპით: ელექტროძრავას, შკივის, ღვედური გადაცემის, შკივ მქნევარას მეშვეობით ბრუნვაში მოდის ექსცენტრიკი, რომელიც ბარბაცის მეშვეობით ანიჭებს უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობას სოლურ ცოციას. ეს უკანასკნელი ანიჭებს საცემელებიან ბერკეტებს რხევით მოძრაობას. საცემელები ძალით ზემოქმედებს ნამზადზე და ახდენს ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას.

მანქანას ახასიათებს ფუნქციონირების მაღალი საიმედოობა, შემადგენელი ელემენტების ხანგრძლივობა, მდორე მუშაობა და დაბალი ხმაურიანობა, რაც განპირობებულია მანქანის კონსტრუქციული სქემით. მანქანა გამოიყენება მილნამზადების მოჭედვისათვის ადიდვას პროცესში.



ნახ.60. სოლურ-ბერკეტული ტიპის მანქანის სქემა

ზომაგრძელი ნაკეთობების ჭედვისათვის ავტორების მიერ შემუშავებულია ახალი კონსტრუქციის მანქანა, რომლის საბაზო ვარიანტად მიღებულია სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანა. ბერკეტების სოლური ამძრავი რჩება უცვლელი – იგი შეიცავს სოლისებრ ცოციას, ცოციას ცილინდრულ მიმმართველს, მის მამოძრავებელ ექსცენტრულ-ბარბაცა მექანიზმს, ღვედური ტიპის გადაცემას, ელექტროძრავას.

მოჭიმვის მექანიზმისთვის მიღებულია ორბერკეტიანი სქემა, რომელიც საშუალებას იძლევა საცემელები ბერკეტებზე დავაყენოთ ისე, რომ ნამზადის მიწოდება მოხდეს არა ბერკეტების გასწვრივ, არამედ მათი სიბრტყის მართობულად და გავატაროთ დასამუშავებელი ლითონი მანქანის გარეთ. ამით საერთოდ ავიცილებთ მანქანის დეტალების კონტაქტს გახურებულ ნამზადთან და შესაბამისად

მოვხსნით დეტალების გადახურებას და მანქანაში ხენჯისა და მტვრის მოხვედრის საშიშროებას.

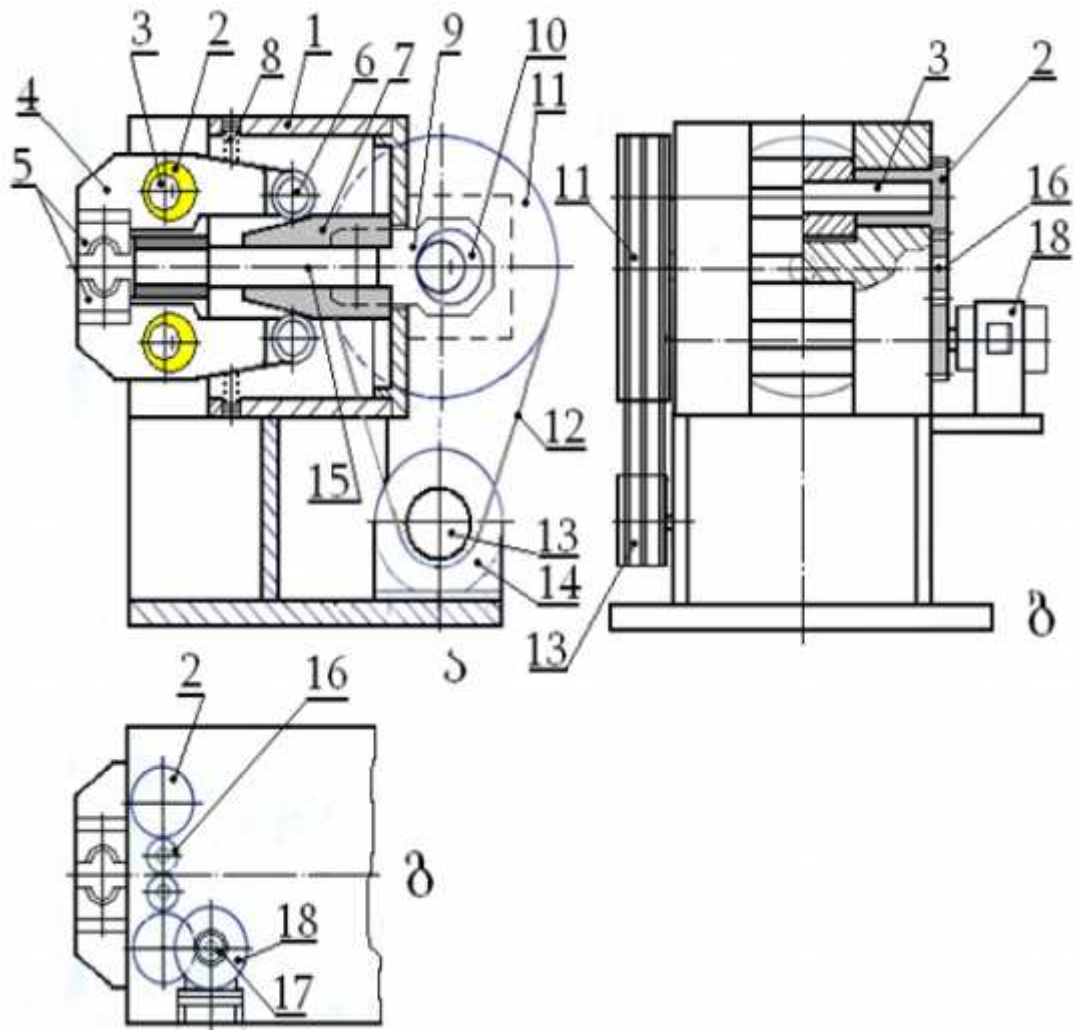
ასეთი მანქანის სქემა წარმოდგენილია ნახ-ზე 61 (ნახ.61 ა–მანქანის გრძივი ჭრილი; ნახ. 61 ბ – მანქანის წინხედი; ნახ. 61. გ – გვერდითი ხედი).

მანქანა შეიცავს კორპუსს (1), რომელშიც ექსცენტრულ მილისებსა (2) და ლერძებზე (3) დაყენებულია ორმხრივი ბერკეტები (4) (ორი ბერკეტი). ბერკეტებს აქვს საცემელები (5) წინა თავზე და გორგოლაჭები (6) უკანა ნაწილში. ყოველი გორგოლაჭი ეყრდნობა სოლური ცოციის (7) ზედაპირს და მიჭერილია მასზე ზამბარით (8). სოლური ცოცია დაკავშირებულია ამძრავთან, რომლის შემადგენლობაშია: ბარბაცა (9), ექსცენტრული ლილვი (10), შკივ-მქნევარა (11), ღვედური გადაცემა (12), წამყვანი შკივი (13), ელექტროძრავა (14). სოლი დაყენებულია მიმმართველზე (15).

მანქანას აქვს საცემელებს შორის მანძილის რეგულირების მექანიზმი, რომელიც აღჭურვილია ექსცენტრულ მილისებით, კბილანებით (16,17) და დამხმარე ელექტროძრავათი (18).

მანქანის მუშაობის პრინციპი იგივეა, რაც საბაზო მანქანისა. განსხვავება ისაა, რომ საფეხურებიანი ლილვების ჭედვისას აქ იცვლება ბერკეტების ღერძთაშორისი მანძილი, რაც ხორციელდება ექსცენტრული მილისების გარკვეულ კუთხით შემობრუნებით სარეგულირებელი მექანიზმის საშუალებით.



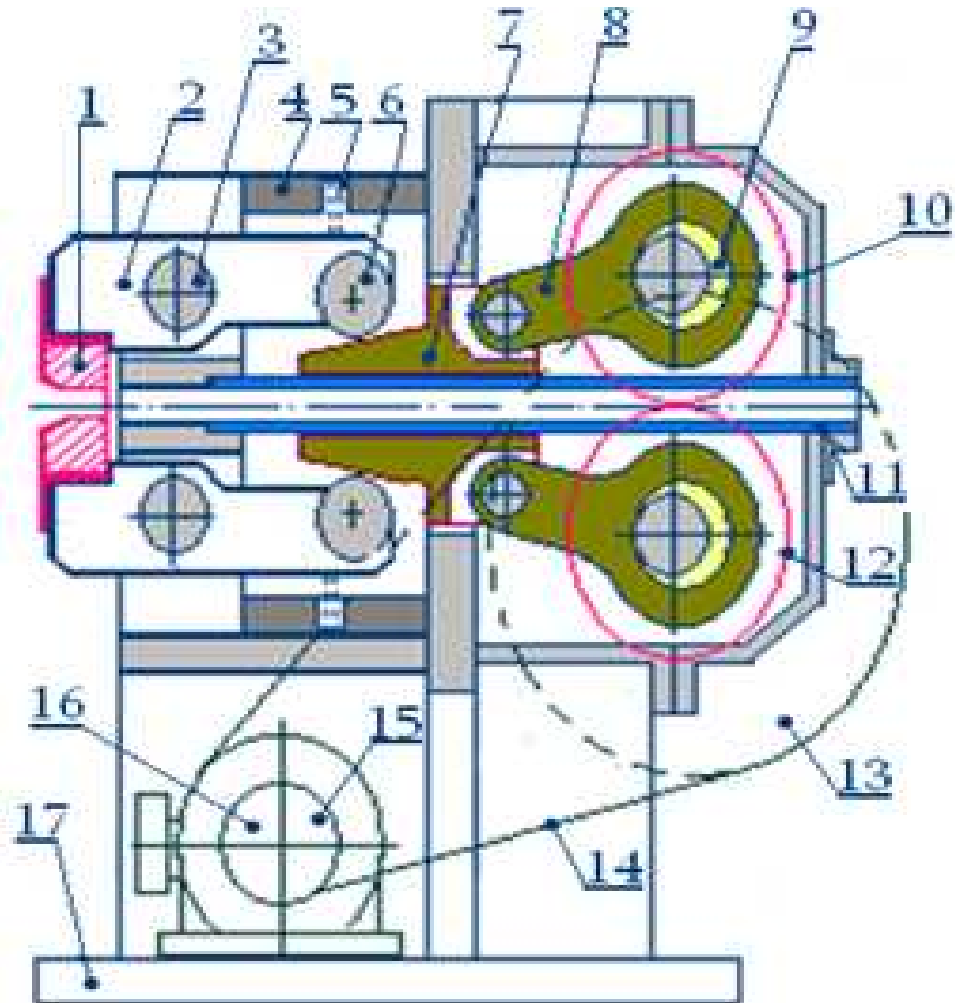


ნახ. 61. ორბერკეტოანი სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანა:  
 ა – მანქანის გრძივი ჭრილი; ბ – მანქანის წინხედი; ნახ.გ – გვერდითი ხედი

ნახ.62-ზე მოცემულია ორ-ბარბაციანი სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა.

მანქანა შეიცავს კორპუსს 1, რომელშიც ღერძებზე 2 დაყენებულია ორმხარა ბერკეტები 3 (ოთხი ბერკეტი). ბერკეტების 3 წინა თავზე დამაგრებულია საცემელები 4, ხოლო ბოლოებზე გორგოლაჭები 5, რომლებიც ზამბარების 6 მეშვეობით მიჭერილია სოლური ცოციას 7 მუშა ზედაპირებთან. სოლური ცოცია 7 დაყენებულია ცილინდრული მიმმართველზე 8, რომელსაც აქვს ცენტრალური ნახვრეტი. სოლური ცოცია 7 შეერთებულია ბარბაცებთან 9 და 10. ბარბაცები დაკავშირებულია

მრუდმხარებთან 11 და 12. მრუდმხარების ერთ ბოლოზე დამაგრებულია კბილანები 13 და 14, რომლებიც მუდმივ მოდებაშია ერთმანეთთან, ხოლო მრუდმხარა 12-ს ლილვის მეორე ბოლოზე ზის შკივ-მკნევარა 15, რომელიც ღვედებით 16 დაკავშირებულია წამყვან შკივთან 17. წამყვანი შკივი 17 ზის ელექტროძრავას 18 ლილვზე. ელექტროძრავა დგას მანქანის სადგარის ფუძეზე.



ნახ. 62. ორ-ბარბაციანი სოლურ-ბერკეტული რადიალურ-საჭედი მანქანის სქემა

მანქანის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობა შემდეგში. ელექტრო-ძრავას 18, შკივის 17 ღვედების 16, შკივ - მკნევარას 15 მეშვეობით ბრუნვით მოძრაობაში მოდის მრუდმხარები 11 და 12, რომლებიც ბარბაციების 9 და 10 მეშვეობით უბრუნველყოფენ სოლური ცოციას 7 უკუქცევით-წინსვლით

მოძრაობას, რასაც თანსდევს ორმხარა ბერკეტების 3 რხევითი მოძრაობა, რის შედეგად საცემელები 1 აწარმოებს ძალურ ზემოქმედებას ნამზადზე და ახდენს ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას. მანქანის პარამეტრები მოცემულია ცხრილში 19.

ცხრილი 19: რადიალურ-საჭედი მანქანის პარამეტრები

№	პარამეტრის დასახელება	მნიშვნელობა
1	ნამზადის მაქსიმალური დიამეტრი, მმ	55
2	მაქსიმალური ძალა, ტ	180
3	საცემელების სგლა, მმ	6
4	დარტემების სიხშირე, წუთ <sup>-1</sup>	600
5	ელექტროძრავას სიმძლავრე, კვტ	45
6	ბრუნთა რიცხვი, ბრუნ/წუთ	960

მანქანის მუშაობის დროს ნამზადი მიეწოდება საცემელებში 4 წინამხრიდან; ნამზადის დამუშავებული ნაწილი შედის ცილინდრული მიმმართველის 8 ცენტრალურ ნახვრეტში და მზა ნაკეთობა გამოდის მანქანის მეორე მხრიდან, რაც საშუალებას გვაძლევს დავამუშავოთ ნებისმიერი სიგრძის ნამზადი. ცილინდრული მიმმართველი, გარდა თავისი პირდაპირი დანიშნულებისა (ცოცის სწორხაზოვანი მოძრაობის უზრუნველყოფა) ასრულებს ნამზადის გამტარის როლს, რაც ხელს უწყობს ჭედვის პროცესის სტაბილურობას ნაკეთობის სწორხაზოვნობის შენარჩუნებას.

ორ-ბარბაციანი სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანის დადებითი ეფექტი განპირობებულია იმით, რომ მისი კონსტრუქციული სქემა, რომელიც შეიცავს ორმაგ მრუდმხარა ბარბაცა

მექანიზმს და სოლური ცოციას ცილინდრულ მიმართველს, რომელსაც აქვს ცენტრალური ნახვრეტი, საშუალებას გვაძლევს დავამუშავოთ მანქანაზე ნებისმიერი სიგრძის ღერძსიმეტრიული ნამზადი.

## 2.7. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის ახალი კონსტრუქციის შემუშავება

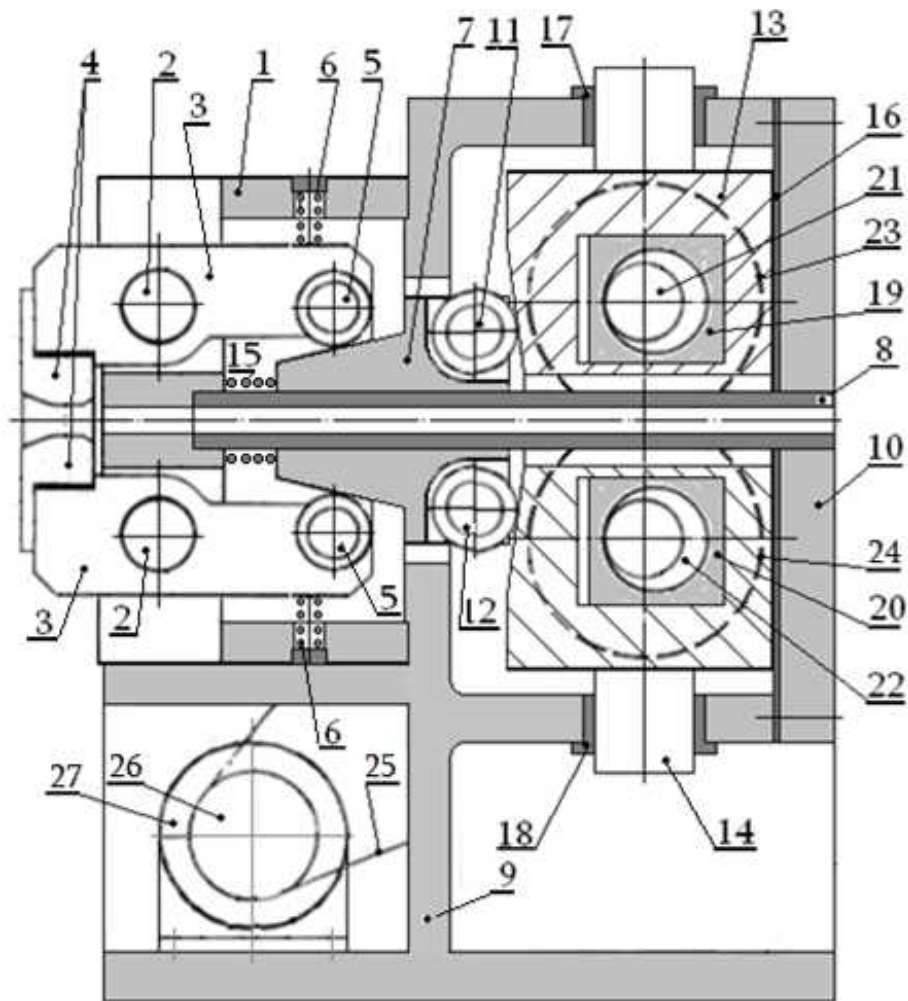
ორბარბაციანი სოლურ-ბერკეტული ტიპის რადიალურ-საჭედი მანქანების უარყოფითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ მის კონსტრუქციაში სოლური ცოციას გადაადგილება ხორციელდება მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმების მეშვეობით. როდესაც მანქანაზე ხდება გახურებული ლითონური ნამზადის დამუშავება მაშინ ძალა, რომელსაც განავითარებს მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმები საკმარისია სოლური ცოციას გადაადგილებისათვის, მაგრამ თუ საჭიროა ცივი ლითონის დამუშავება, მაგალითად სასროლი იარაღის ლულების და სხვა, ცივი ლითონის დეფორმაციისადმი მაღალი წინააღმდეგობის გამო მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის მიერ განავითარებული ძალა შეიძლება საკმარისი არ აღმოჩნდეს სოლური ცოციას გადაადგილებისათვის და ჭედვის პროცესი შეფერადეს. ცხადია, ეს ზღუდავს მანქანის ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებს, ვინაიდან ამ მანქანაზე ლეგირებული, მაღალი სიმტკიცის ფოლქედებისაგან გამზადებული ნაკეთობების (მაგალითად, ლულების) ცივ მდგომარეობაში ჭედვა, გარკვეული სიძნელებთანაა დაკავშირებული.

ჩვენს მიზანს წარმოადგენს რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის ტექნოლოგიური შესაძლებლობების და ეკონომიურობის გაზრდა.

აღნიშნული მიზანი მიღწეული იქნება რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის რაციონალური კონსტრუქციის შემუშავებით, რაც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ ღერძსიმეტრიული ნამზადების მინიმალური დანახარჯებით.

ახალი რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის სქემა წარმოდგენილია ნახ.

63-ზე.



ნახ.63. რადიალურ - მომჭიმავი მანქანის ახალი სქემა

მანქანა შეიცავს კორპუსს 1, რომელშიც ღერძებზე 2 დაყენებულია ორმხარა ბერკეტები 3. ბერკეტების წინა თავზე დამაგრებულია საცემელები 4, ხოლო ბოლოებზე გორგოლაკები 5, რომლებიც ზამბარების 6 მეშვეობით მიჭერილია სოლური ცოციას 7 მუშა ზედაპირებთან. სოლური ცოცია 7 დაყენებულია ცილინდრული მიმმართველზე 8, რომელიც არის ღრუ და მისი ერთი ბოლო ჩამაგრებულია კორპუსში 1, ხოლო მეორე ბოლო გამოდის მანქანის სადგარის 9 სახურავიდან 10. სოლური ცოციას უკანა მხარეზე დაყენებულია გორგოლაკები 11 და 12, რომლებიც მუდმივ კონტაქტში

იმყოფება წამყვანი სოლების 13 და 14 მუშა ზედაპირებთან.ეს კონტაქტი უზრუნველყოფილია ზამბარით 15, რომელის ჩაყენებულია სოლურ ცოციასა 7 და კორპუს 1 შორის. წამყვანი სოლები 13 და 14 თავისი საყრდენი ზედაპირებით დაყრდნობილია მანქანის სადგარის სახურავზე 10 დამაგრებულ ბრინჯაოს ფილაზე 16. წამყვან სოლებს აქვს ცილინდრული კუდები, რომლებიც გაყრილია მანქანის სადგამში 9 ჩამონტაჟებულ მილისებში 17 და 18. წამყვანი სოლების 13 და 14 მართკუთხა სიოებში ჩაყენებულია კვადრატული გარეჭილელები 19 და 20. გარეჭილელების ცილინდრულ ნახვრეტებში გაყრილია მრუდმხარა (ექსცენტრული) ლილვები 21 და 22. მრუდმხარა ლილვების 21 და 22 ერთ ბოლოზე დამაგრებულია კბილანები 23 და 24, რომლებიც მუდმივ მოდებაშია ერთმანეთთან. ლილვის 22 მეორე ბოლოზე ზის შკივ - მკნევარა (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის), რომელიც ღვედებით 25 დაკავშირებულია წამყვან შკივთან 26. წამყვანი შკივი 26 ზის ელექტროძრავას 27 ლილვზე. ელექტროძრავა 27 დგას მანქანის სადგარის 9 ფუძეზე. მანქანის პარამეტრები მოცემულია ცხრილში 20.

ცხრილი 20: რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის პარამეტრები

№	პარამეტრის დასახელება	მნიშვნელობა
1	ნამზადის მაქსიმალური დიამეტრი, მმ	60
2	მაქსიმალური ძალა, მნ	2,10
3	საცემედეების სვლა, მმ	4
4	ღარტემების სიხშირე, წუთ <sup>-1</sup>	600
5	ელექტროძრავას სიმძლავრე, კვტ	55
6	ბრუნთა რიცხვი, ბრუნ/წუთ	980

მანქანის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობა შემდეგში. ელექტროძრავას 27 და ღვედური გადაცემას მეშვეობით ბრუნვით მოძრაობაში მოდის მრუდმხარა ლილვები 21 და 22, რომლებიც გარეჭილობების 19 და 20 მეშვეობით უზრუნველყოფენ წამყვანი სოლების 13 და 14 უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობას შემხვედრი მიმართულებით ვერტიკალურ სიბრტყეში. წამყვანი სოლები თავისი მუშა ზედაპირებით აწვება სოლური ცოციას 7 გორგოლაკებზე 11, 12 და ზამბარის 15 დახმარებით აიძულებს სოლურ ცოციას 7 აწარმოოს უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობა, რასაც თანსდევს ორმხარა ბერკეტების 3 რხევითი მოძრაობა, რის შედეგად საცემელები 1 აწარმოებს ძალურ ზემოქმედებას ნამზადზე და ახდენს ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას.

წარმოდგენილი მანქანის დადებითი ეფექტი განპირობებულია იმით, რომ რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის კონსტრუქციული სქემა შეიცავს დამატებით სოლებს (წამყვანი სოლები). ამიტომ მანქანას შეუძლია განავითაროს გაცილებით უფრო დიდი ძალები, ვიდრე მრუდმხარა ბარბაცა მექანიზმის შემთხვევაში, როგორც ესაა პროტოტიპში და დაამუშაოს ცივ მდგომარეობაში ნებისმიერი სიმტკიცის ნამზადები, მათ შორის საიარალო ლულებიც. ამით საგრძნობლად იზრდება მანქანის ტექნოლოგიური შესაძლებლობები. მანქანაში სოლური ცოციას გადაადგილება ხორციელდება არა უშუალოდ მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმით, არამედ წამყვანი სოლებით, ე.ი. ბერკეტების ქანაობის მექანიზმი ფაქტობრივად წარმოადგენს ორსაფეხურიან სოლურ მექანიზმს. დამატებითი (წამყვანი) სოლების გამოყენება აგრეთვე საშუალებას გვაძლევს დავაყენოთ მანქანაზე ნაკლები სიმძლავრის ელექტროძრავა, რაც მოგცემს ელექტროენერჯის მნიშვნელოვან ეკონომიას.

ზემოთაღწერილი მანქანის კონსტრუქციაზე შეტანილია განაცხადი საქპატენტში, რაზედაც მიღებულია დადებითი გადაწყვეტილება პატენტის გაცემაზე - ბრძანება №932/01 განაცხადზე №*AP 2015 014011 /22/*, (3.11.2016).

## 2.8. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრა

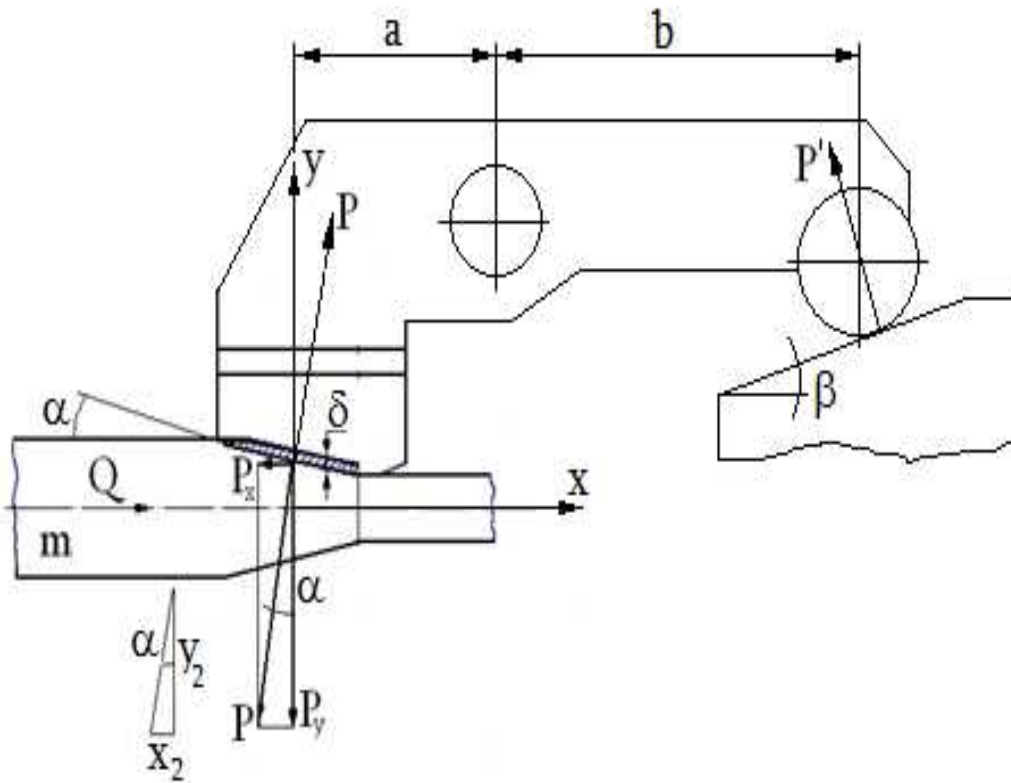
რადიალურ-მომჭიმავი და როტაციული ჭედვის მანქანების მუშაობა ხასიათდება მნიშვნელოვანი დარტყმითი ძალების წარმოქმნით, რასაც ადგილი აქვს დეფორმაციის კერაში მადეფორმირებელი ინსტრუმენტისა და დასამუშავებელი ლითონის ურთიერთქმედების დროს. ამ ძალების სიდიდე ბევრადაა განპირობებული ლითონის მექანიკურ თვისებებზე, აგრეთვე მანქანის საცემელების რხევის სიხშირეზე.

განსაკუთრებით დიდია დარტყმითი ძალების მნიშვნელობა, როცა რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების დეტალების შეუღლებებში და კვანძებში არსებობს მნიშვნელოვანი ღრეჩოები. რიგ შემთხვევაში დეტალების შეუღლებებში და კვანძებში მანქანაში იწვევს დეტალების დამტვრევას და კვანძების მწყობრიდან გამოსვლას და მათი ავარიულ მოცდენას.

აქედან გამომდინარე, დარტყმითი ძალების მნიშვნელობის ზუსტი გამნსაზღვრა აქტუალური და მნიშვნელოვანი საკითხია როგორც რადიალურ-მომჭიმავი და როტაციული ჭედვის დაპროექტების, ასევე ექსპლუატაციისათვის.

ქვემოთ განხილულია დარტყმითი ძალების განსაზღვრის მეთოდის ბერკეტული ტიპის რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში, რომელიც ითვალისწინებს ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას. აღნიშნული მეთოდის ემყარება დარტყმის თეორიის ძირითად დებულებებს. დარტყმითი ძალების მოქმედების სქემა მოცემულია ნახ. 64-ზე.





ნახ.64. დარტყმითი ძალების მოქმედების სქემა

ამ ნახაზზე აღნიშნულია:  $m$  – ნამზადის მასა;  $r$  – საცემელის კონუსის კუთხე;  $s$  – სოლის კონუსის კუთხე;  $u$  – ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდე;  $P$  – დარტყმის ძალა;  $P'$  – სოლის მიერ განვითარებული ძალა;  $Q$  – მიმწოდებელი მოწყობილობიდან ნამზადზე მოქმედი ღერძული ძალა.

ვადგენთ დარტყმის ძირითად დიფერენციალურ განტოლებას. დარტყმითი ურთიერთქმედების დროს მანქანის მასის მოძრავი ნაწილები ეჯახება ნამზადს, რომლის მასაა  $m$ , რის შედეგა წარმოიქმნება დარტყმითი იმპულსი  $P(u)$ , რომელიც იწვევს ნამზადის პლასტიკურ თევვას  $u$ , აგრეთვე მისი გრძივ რხევას  $x$  ღერძის გასწვრივ.

მაშინ ნამზადის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება ასეთია:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P(u) \cdot \sin r - Q \quad (21)$$

საცემელიანი ბერკეტის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება ასეთი იქნება:

$$I \frac{d^2 \zeta}{dt^2} = -P(u) \cdot a \cdot \text{Cos}r + P(u) \frac{a}{b} \cdot b \cdot \text{Cos}S, \quad (22)$$

სადაც  $I$  არის საცემელიანი ბერკეტის ინერციის მომენტი;

{ – ბერკეტის შემობრუნების კუთხე;

$a, b$  – მოქმედი ძალების მხარი.

{ სიდიდე შეგვიძლია გამოვსახოთ  $y$ -ით:  $\zeta = \frac{y}{a}$ .

მაშინ დიფერენციალური განტოლება (2) ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\frac{I}{a} \frac{d^2 y}{dt^2} = -P(u) \cdot a \cdot [\text{Cos}r - \text{Cos}S]. \quad (22a)$$

ნამზადის პლასტიკური თელვის მნიშვნელობა უდრის:  $y - x \text{Sin}r = u$ .

გარდავქმნათ (1) ი (2a) განტოლებები:

$$\frac{d^2 (x \text{Sin}r)}{dt^2} = \frac{1}{m} P(u) \cdot \text{Sin}^2 r; \quad (22b)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -P(u) \frac{a^2}{I} [\text{Cos}r - \text{Cos}S]. \quad (22g)$$

განტოლებაში (2a) შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ  $Q = 0$ , ვინაიდან ის გაცილებით ნაკლებია დარტყმის ძალაზე.

(2b) განტოლებიდან (1a) განტოლების გამოკლებით ვღებულობთ დარტყმის ძირითად დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} (y - x \text{Sin}r) &= -P(u) \left[ \frac{a^2}{I} (\text{Cos}r - \text{Cos}S) + \frac{1}{m} \text{Sin}^2 r \right] = \\ &= -P(u) \frac{ma^2 (\text{Cos}r - \text{Cos}S) + I \cdot \text{Sin}^2 r}{I \cdot m} \end{aligned}$$

$$\text{ან } \frac{d^2 u}{dt^2} = -\frac{1}{M} P(u) \quad (23)$$

აქ  $M$  არის შეჯახებადი სხეულების დაყვანილი მასა:

$$M = \frac{I \cdot m}{ma^2 (\text{Cos}r - \text{Cos}S) + I \cdot \text{Sin}^2 r}.$$

განტოლება (3)-ში საკონტაქტო ძალის მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ  $P$  ძალის მაქსიმალურ სიდიდეს. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ დინამიკური ძალური მახასიათებელი, რომელიც ითვალისწინებს

ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციას, ანუ  $u = kP^n$ , საიდანაც  $P = \left(\frac{u}{k}\right)^{\frac{1}{n}}$ , აქ  $k$  და  $n$  პარამეტრები განისაზღვრება შეჯახებადი სხეულების ფიზიურ-მექანიკური და გეომეტრიული მახასიათებლებით.

დარტყმის ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნისათვის ვახდენთ მის გარდაქმნას:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{du}{dt} \right) = -\frac{1}{M} P(u); \quad \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{M} P(u);$$

$$\frac{dv}{dt} \cdot \frac{du}{du} = -\frac{1}{M} P(u). \quad v \frac{dv}{du} = -\frac{1}{M} P(u). \quad v dv = -\frac{1}{M} P(u) du, \quad (24)$$

აქ  $v$  არის მანქანის მოძრავი ნაწილების სიჩქარე.

ვახდენთ (4) გამოსახულების ინტეგრირებას:

$$\int_0^v v dv = \int_0^u -\frac{1}{M} P(u) du.$$

ინტეგრირების შედეგად ვღებულობთ:

$$\frac{v^2}{2} = -\frac{1}{M} \int_0^u P(u) du + C. \quad (5)$$

ინტეგრირების მუდმივას განვსაზღვრავთ საწყისი პირობებიდან:

$$t = 0; u = 0; v = v_0.$$

ამის გათვალისწინებით ვღებულობთ:  $C = \frac{v_0^2}{2}$ .

მაშინ გამოსახულებიდან (5) გვექნება:  $v^2 - v_0^2 = -\frac{2}{M} \int_0^u P(u) du$  (5ა)

მიღებული გამოსახულებიდან შეგვიძლია მივიღოთ მაქსიმალური დეფორმაცია, იმის გათვალისწინებით, რომ დარტყმის პირველი ფაზის

ბოლოს:  $v = \frac{du}{dt} = 0$ , ე.ი.

$$-v_0^2 = -\frac{2}{M} \int_0^{\max u} \sqrt{\frac{u}{k}} du,$$

საიდანაც ინტეგრირების შედეგად ვღებულობთ:

$$\frac{Mv_0^2}{2} = \frac{1}{\sqrt[n]{k}} \left[ \sqrt[n]{k} \left( \frac{n}{n+1} \right) u^{\frac{n+1}{n}} \right]_0^{\max u} = \frac{1}{\sqrt[n]{k}} \left( \frac{n}{n+1} \right) u_{\max}^{\frac{n+1}{n}}.$$

ამ გამოსახულებიდან ვღებულობთ მაქსიმალურ დეფორმაციას:

$$u_{\max} = \left[ \sqrt[n]{k} \left( \frac{n+1}{n} \right) \frac{Mv_0^2}{2} \right]^{\frac{n}{n+1}} \quad (25)$$

შესაბამისად დარტყმითი ძალის მაქსიმალური სიდიდე უდრის:

$$P_{\max} = \sqrt[n+1]{\left( \frac{n+1}{n} \right) \frac{Mv_0^2}{2k}} \quad (26)$$

მაშასადამე მივიღეთ, რომ დარტყმითი ძალის მაქსიმალური სიდიდე ღერძ-სიმეტრიული ნამზადების ჭედვის დროს პროპორციულია რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის მოძრავი ნაწილების კინეტიკური ენერჯისადმი და განისაზღვრება შეჯახებადი სხეულების ფიზიურ-მექანიკური და გეომეტრიული მახასიათებლებით, შეჯახებადი სხეულების დაყვანილი მასით და მანქანის მოძრავი ნაწილების სიჩქარით.

## დასკვნა

1. დადგენილია რადიალურ-საჭედი მანქანის მაბრუნე მომენტის ცვალებადობის კანონზომიერება, რომელიც უზრუნველყოფს რადიალურ-საჭედი მანქანის ექსცენტრული ლილვის თანაბარ ბრუნვას. მიღებულია მაბრუნე მომენტის საანგარიშო ფორმულა მისი კუთხური სიჩქარის მუდმივობას  $\dot{\varphi} = \text{const}$ , ამასთან  $\dot{\varphi} = 0$ .
2. შემუშავებულია რადიალური ჭედვის პროცესის ძალოვანი პარამეტრის განსაზღვრის მეთოდიკა. მიღებულია ფორმულები, რომლებითაც შეგვიძლია ვიანგარიშოთ საკონტაქტო ფართი ლითონსა და ინსტრუმენტს შორის, დეფორმაციის კერაში მოქმედი საკონტაქტო ძაბვები და ძალები. ამ ფორმულებით კონკრეტული ზომის ( $d_0 = 20$ ) ნიმუშის დეფორმირებისათვის შესრულებული ანგარიშის შედეგად მიღებულია რადიალური მოჭიმვის ძალა  $P = 122910$  ნ (123 კნ), რაც პრაქტიკულად არ განსხვავდება ექსპერიმენტული მნიშვნელობისაგან  $P = 129,16$  ნ (129 კნ); სხვაობა არ აღემატება 5%-ს. ასეთი სიზუსტე სრულიად საკმარისია საინჟინრო ამოცანებისათვის.
3. რადიალური მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალების ექსპერიმენტული კვლევის მიზნით შემუშავებულია და დამზადებული რადიალური მოჭიმვის სპეციალური მოწყობილობა, რომელმაც სტანდარტულ MC – 500 ტიპის წნეხზე საშუალება მოგვცა რადიალური დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე ( $d_0 = 20 - 24$  მმ;  $\Delta d = 2,0 - 1,33$  მმ;  $r = 4^{\circ}36' - 8^{\circ}$ ) დაგვედგინა ცილინდრული ფორმის ტყვიის ნიმუშებზე მოქმედი ძალების მნიშვნელობები.
4. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე აგებულია გრაფიკები, რომელთა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ნამზადების D20 და D24 რადიალური მოჭიმვისას დეფორმაციის კერის ლითონით შევსების

პროცესში რადიალური მოჭიმვის ძალა ჯერ შედარებით სწრაფად იზრდება, შემდეგ კი უახლოვდება დეფორმაციის დამყარებული პროცესის ძალას (129,16 კნ - D20 მმ-იანი და 281,47 კნ - D24 მმ-იანი ნიმუშისათვის).

5. როგორც გვიჩვენა ექსპერიმენტმა მოჭიმვის ძალის მაქსიმალური სიდიდე  $P_{max}$  ღერძსიმეტრიული ნამზადების ჭედვის დროს დამოკიდებულია მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირის  $r$  კუთხის, ნამზადის  $D$  დიამეტრის და მიჭიმვის  $\Delta r$  მნიშვნელობაზე, ამასთან ეს ფაქტორები თითქმის ერთნაირ გავლენას ახდენს ძალის მნიშვნელობაზე.

6. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის სრულფაქტორიანი გეგმის  $\Pi\Phi\Xi$   $2^2$  და  $\Pi\Phi\Xi$   $2^3$  გამოყენებით მიღებულია ფორმულები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს ანალიზურად გამოვიანგარიშოთ რადიალური მოჭიმვის პროცესის ძალები ნიმუშების დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე. ამ ფორმულებით ანგარიშის შედეგად  $d_0 = 23$  მმ ზომის ნიმუშის დიამეტრის მოჭიმვით  $\Delta d = 1,5$  დეფორმირებისათვის მიღებულია რადიალური მოჭიმვის ძალა  $P = 117,04$  კნ - ორფაქტორიანი და  $P = 133,8$  კნ - სამფაქტორიანი ექსპერიმენტისათვის.

7. დადგენილია ღერძსიმეტრიული ნამზადების რადიალური ჭედვის პროცესის რაციონალური რეჟიმი და გათვლილია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის ოპტიმალური პარამეტრები, კერძოდ, საცემელების შემავალი კონუსის კუთხე  $2r = 12^\circ$ , შემავალი კონუსის სიგრძე  $l_1 = 80$  მმ, დამაკალიბრებელი უბნის სიგრძე  $l = 100$  მმ; მიღებულია სამართულის გეომეტრიული პარამეტრები; სამართულის მუშა უბნის ზედაპირის გამონაშვერების სიმაღლე (0,1 – 0,15) მმ-ს და სიგანე 3,4 მმ-ს ფარგლებში, დახრილობის კუთხე შეადგენს  $2^\circ$ .

8. რადიალურ-საჭედი მანქანების თანამედროვე კონსტრუქციების ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია ახალი კონსტრუქციის რადიალურ - მომჭიმავი მანქანა ღერძსიმეტრიული ნამზადების მიღებისათვის,

რომელზეც საქპატენტის მიერ გაცემულია პატენტი № P 6654 (24.04.2017, გ.ბ. №7, 2017).

9. დამტკიცებულია, რომ დამატებითი სოლების გამოყენებით რადიალურ-მომჭიმავ მანქანას შეუძლია განავითაროს დაახლოებით 2-ჯერ მეტი ძალა, რის შედეგად საგრძნობლად იზრდება მანქანის ტექნოლოგიური შესაძლებლობები. დამატებითი სოლები აგრეთვე საშუალებას გვაძლევს დავაყენოთ მანქანაზე 2-ჯერ ნაკლები სიმძლავრის ელექტროძრავა, რაც მოგცემს ელექტროენერჯის მნიშვნელოვან ეკონომიას.

10. მიღებულია ფორმულა რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის დეფორმაციის კერაში დარტყმითი ძალების განსაზღვრისათვის, რომლის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დარტყმითი ძალის მაქსიმალური სიდიდე  $P_{max}$  პირდაპირ-პროპორციულია მანქანის მოძრავი ნაწილების კინეტიკური ენერჯისა  $\frac{Mv_0^2}{2}$  და განისაზღვრება შეჯახებადი სხეულების ფიზიკურ-მექანიკური და გეომეტრიული მახასიათებლებით.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. В.А.Богуслаев, В.В.Борисевич, В.К.Борисевич и др. Обработка металлов давлением. Учебн. в 2-х кн., кн.1. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т, Харьковский авиационный ин-т, 2002. 419 с.
2. Е.И. Семенов. Ковка и горячая штамповка. М. : МГИУ, 2011. 414 с.
3. В.А.Тюрин,В.А.Лазоркин,И.А.Поспелов,Х.П.Флаховский. Ковка на радиально-обжимных машинах. М.,Машиностр., 1990. 3-31 С.
4. Ю.С.Радюченко. Комплексное решение вопросов развития технологии и оборудования для радиального обжатия. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 2-6.
5. Л.В.Ширинкин. Технологические возможности и область применения радиально-обжимных машин. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 6-7.
6. Т.В.Маштакова. Особенности программирования технологических процессов радиального обжатия. Кузнечно-штамповочное производство,№6, Москва,1987. С. 9-10.
7. В.А.Ростовщиков. Технология и оборудование для формообразования полых длинномерных поковок горячим радиальным обжатием. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 10-13.
8. В.А.Лазоркин, В.А.Тюрин, И.А.Поспелов, Ю.Г.Залужный. Исследование радиального обжатия слитков и заготовок из быстрорежущих сталей. Кузнечноштамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 7-9.
9. И.Н.Потапов, В.П.Троицкий, Р.Г.Шарафутдинов, Ю.Н.Буленков, И.Е.Косматенко. Новый технологический процесс производства полых поковок. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 13-15.
10. Ю.В.Логинов, Н.А.Москвина. Технология формообразования валов трактора мод. К-701М методом радиального обжатия. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 15-17.



11. Г.М.Кадымов, В.А.Тюрин, С.Ф.Мамедов, В.А.Кадымов. Применение РОМ в производстве заготовок для нефтяного машиностроения. Кузнечно - штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 17-18.
12. А.М. Володин, Е.А. Савинов, Б. Д.Дашевский. Радиально-обжимная машина с цикловым программным управлением. Кузнечно-штамповочное производство, №6, Москва, 1987. С. 18.
13. Ю.С. Радюченко. Ротационное обжатие. М.,Машиностр.,1972.С.148.
14. Ю.С.Радюченко. Ротационная ковка-обработка деталей на ротационно и радиально-обжимных машинах. М.,Машгиз, 1962. 187 с.
15. В.И.Любвин. Обработка металлов радиальным обжатием. М.,Машиностроение, 1972. 248 с.М
16. М.М. Микаутадзе Основы комплексного решения проблемы усовершенствования технологического процесс и машин для производства бесшовных труб. Докт. диссерт. , Тбилиси, 1987. 227 с.
17. Т.А. Чхаидзе Исследование и разработка процессов и оборудования для формообразования изделий сложного профиля радиальной ковкой. Канд. диссерт. , Тбилиси, 1976. 128 с.
18. С.А. Мебония Совершенствование технологии и оборудования для производства бесшовных труб. Докт.диссерт. ,Тбилиси, 2001. 297 с.
19. К.Е Ушверидзе. Совершенствование технологии и оборудования для заковки трубных заготовок для волочения. Канд. диссерт. ,Тбилиси, 2005. 110 с.
20. Р.Ш.Адамия, С.А.Мебония, З.А.Чхаидзе, Т.М.Сулухия. 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. Клдишвили 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 трубоволо-чильного производства Руставского металлургического комбината. Сталь №8, Москва, 2000. С.50-51.
26. Микаутадзе М.М.,Нозадзе А.Д. Мебония С.А., Ушверидзе Е.Ш. А.С. №1404134. Устройство для заковки конца заготовки. Б.И.№3,1988.
27. მ.მიქაუტაძე, ა.ნოზაძე, ს.მებონია, ე.უშვერიძე. პატ. №631. ნამზადების ბოლოე ბის მოსაჭედი მოწყობილობა. გ.ბ.№1,1997
28. მ.მიქაუტაძე, ა.ნოზაძე, ს.მებონია, ე.უშვერიძე. რუსთავის მეტალურგიული კომბინატის მილამდიდავი წარმოების მოდერნიზაცია. სტუ-ს შრომები, №7(423), 1998. გვ.57-67.
29. 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.
30. ს.მებონია, ვ.კლდიაშვილი, ჯ.ჩაგელიშვილი, ე.ბროლაძე. ზომაგრძელ ნაკეთობათა რადიალური ჭედვის ელექტროამბრავიანი მანქანა. სსსი-ს შრომები №1, 2001 წ. გვ.204-208.
31. С.А.Мебония, М.М. Микаутадзе, А.Н. Гагნიдзе, 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.
32. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.მალაქელიძე, ვ.გონგლიაშვილი. ზომაგრძელ ნაკეთობათა რადიალური ჭედვის დანადგარის

- რაციონალური სქემის და კონსტრუქციის შემუშავება. საქ. მეცნ. აკად. სამეცნიერო ცენტრის შრომები, №6. ქუთაისი, 2003. გვ.27-32.
33. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.გოგავა, ა.მალლაკელიძე. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების ამძრავის პარამეტრების ანგარიშის მეთოდოლოგია. საქ.მეცნ.აკად.სამეცნ. ცენტრის შრომები, №6. ქუთაისი, 2003. გვ.33-36.
34. 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.
35. 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.
36. ს.მებონია, კ.უმვერიძე, მ.მიქაუტაძე. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანა. პატ. № P3611. გ.ბ. №9, 2005.
37. ს.მებონია, ა.მებონია, ჯ.ჩაგელიძევილი, მ.ხუბუტია. რადიალური-მომჭიმავი მანქანების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა. საქართველოს საავტომობილო-ლოსაგზაო ინსტიტუტის შრომები №2 (საერთაშორისო კონფერენცია მურმან ედილაშვილის 70-წლისთავისადმი), თბილისი 2005. გვ.312-316.
38. ს.მებონია, დ.დემეტრაძე, ა.მალლაკელიძე, ა.მებონია. რადიალურ-მომჭიმავი მანქანების ამძრავის დინამიკური დატვირთვების კვლევა. საქ. მეცნ. აკად. ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები XII, 2005. გვ. 17-22.
39. 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
40. მ.მიქაუტაძე, ს.მებონია, ნ.კიკნაძე. რთული კონფიგურაციის ნამზადების რადიალური ჭედვის მოწყობილობის სრულყოფა. სტუ-ს შრომები, №4(474), 2009. გვ.44-47

41. P.Ш.Адамия, С.А. Мебония, Д.Т. Деметрадзе, П.К. Мшвилдадзе. Изготовление профильных заготовок турбинных лопаток методом радиального обжатия. Тез.докл. междунаро. н-т конф. Турбонаддув автомобильных и тракторных двигателей. Россия, Протвино, 2009. С.
42. ს.მებონია, თ.ნატრიაშვილი, დ.დემეტრადე, ა.გაგნიძე. როტორების ფრთების პროფილირებული ნამზადების მიღება რადიალური მოჭიმვის მეთოდით ენერჯია № 3(55), 2010 გვ.78-82
43. ს.მებონია, თ.ნატრიაშვილი, მ.მიქაუტაძე, დ.დემეტრადე. რადიალურ-საჭედი მანქანების კონსტრუქციები და მათი გამოყენების სფერო. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, № 4-6, 2011. გვ.89-96.
44. 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.
45. С.А.Мебония, Д.Н.Нижарадзе, П.С.Мшвилдадзе. Радиально-обжимная маши-на для получения длинномерных осесимметричных изделий Сб.тр.Х междунаро. н-т конф. "Повышение качества, надежности и долговечности тех.систем и техн. процессов". 20-27.11.2012, Эйлат-Израиль. С.89-91.
46. ს.მებონია, ე.უშვერიძე, კ.უშვერიძე, ვ.კუჭუხიძე, გ.ზაბაროვსკი. რადიალურ-საჭედი მანქანა ზომავრძელი ნაკეთობების მისაღებადპატენტი № P 5799, გ.ბ. №7, 2013.
47. 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, 2015 P.12-16.
48. С.Н.Кожевников. Динамика машин с упругими звеньями. Киев, изд. АН УССР, 1961, 159 с.
49. В.В.Добронравов, Н.Н.Никитин, А.П.Дворников. Курс теоретической механики. М., Высш. Шк., 1968, 624 с.
50. А.И.Лурье. Аналитическая механика. М., Физматгиз, 1962, 168 с.

51. Н.Н.Никитин. Курс теоретической механики. М., Высш. шк., 1990, 608 с.
52. Н.И.Левитский. Теория механизмов и машин. М, Высш. шк, 1979, 628 с.
53. Л.И.Живов, А.Г.Овчинников. Кузнечно-штамповочное оборудование. Киев, Вища школа. 1972. 279 с.
54. И.С.Пискунов. Дифференциальное и интегральное исчисление, М, Физматгиз, 1963, 856 с.
55. К.В.Фролов, С.А.Попов, А.К.Мусатов и др. Теория механизмов и машин. М., Высш. шк., 1987, 496 с.
56. М.В.Сторожев, Е.А.Попов. Теория обработки металлов давлением. М, Высш. шк., 1963, 390 с.
57. T. Natriashvili, S. Mebonia, M.Baakashvili-Antelava, Chagelishvili. Definition of the conditions of uniform rotation of the eccentric shaft of the radial-forging machine. Problems of Mechanics, №4(61). Tbilisi,2015. P.55-61.
58. В.М.Друян, Ю.Г.Гуляев, С.А.Чукмасов. Теория и технология трубного производства. Днепропетровск, РИА , 2001. 543 с.
59. А.И.Целиков, Г.С.Никитин, С.Е.Рокотян. Теория продольной прокатки. М.,Металлургия, 1980. 319 с.
60. А.И.Целиков, А.И.Гришков.. Теория прокатки.М.,Металлургия, 1970. 358 с.
61. А.И.Целиков, А.Д.Томленов, В.И.Зюзин, А.В.Третьяков, Г.С.Никитин. Теория прокатки. Справочник.М.,Металлургия, 1970. 358 с.
62. დ.ნოზაძე, ჯ.ლომსაძე. გლინვის წარმოების საფუძვლები. ცოდნა, თბილისი, 1961. 431 გვ.
63. Н.А.Чиченев, А.Б.Кудрин, П.И.Полухин. Методы исследования процессов обработки металлов давлением.М.,Металлургия, 1977. 310 с.
64. А.П.Чекмарев, С.А.Ольдзиевский. Методы исследования процессов прокатки. М.,Металлургия, 1969.294с.
65. М.И.Капустина, А.М.Савченко, В.Д.Данилов. Руководство к лабораторным работам по прокатке. М.,Металлургия, 1971. 175с.
66. А.Е. Гуревич, Е.С. Рокотян. Методы исследования прокатных станов. М., Metallurgizdat, 1957. 125с.

67. А.А.Королев. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М., Металлургия, 1957. 125с.
68. К.Перри, Г.Лиснер. Основы тензометрирования. ИЛ, 1957. 164 с.
69. А.М.Туричин, П.В.Новицкий. Проволочные преобразователи и их техниче-ское применение. М., Госэнергоиздат, 1957. 86 с.
70. В.С.Попов. Электрические измерения. М., Энергия, 1968. 286 с.
71. ს. მეზონია, დ. გვენცაძე, მ. ბაკაშვილი-ანთელავა, ა. გაგნიძე. რადიალური მოჭიმვის პროცესში ძალების ექსპერიმენტული კვლევა. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1(724). თბილისი, 2017. გვ.86-92.
72. Ю.П.Грачев. Математические методы планирования экспериментов.М., Пищевая Промышленность, 1979. 198 с.
73. В.В.Федоров. Теория оптимального эксперимента. М., Наука, 1971. 312 с.
74. Дж.Д.Финни. Введение в теорию планирования экспериментов.М., Наука, 1979. 287 с.
75. В.В.Девятов. Малоотходная технология обработки металлов давлением. М.,Машиностр.,1986. С.171
76. А.П.Атрошенко, В.И.Федоров. Металлосберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. Л.,Машиностроение, 1990. 279 с.
77. Е.А.Савинов.Технологические и конструктивные особенности радиально-обжимных (ковочных) машин и перспективы их развития.КШП, №10,1981.С.61-64
78. მ. ბაკაშვილი-ანთელავა, ს.მეზონია. რადიალურ-საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობები. სტუ-ს შრომები, №1 (499), 2016. გვ.105-112.
79. მ.ბაკაშვილი-ანთელავა. რადიალურ-საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობები და გამოყენების სფერო. სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, თბილისი, 2015. გვ.135.
80. M.Baakashvili-Antelava, S.Mebonia. The use of radial-forging method. Works of the International Conference “Innovative Teqnologies in Metallurgy and Material Science”. Tbilisi, 16-18 Jule 2015. Pp.214-215.

81. მ.ბაკაშვილი-ანთელავა. რადიალურ-საჭედი მანქანის რაციონალური კონსტრუქციის შემუშავება. სტუ-ს სტუდენტთა 84-ე საერთაშორისო სამეც-ნიერო კონფერენცია. სტუ, თბილისი, 2016. გვ. 162.
82. ს.მებონია, თ.ნატრიაშვილი, მ.ბაკაშვილი-ანთელავა, ა. გაგნიძე. „რადიალურ-მომჭიმავი მანქანა ღერძსიმეტრიული ნამზადების მისაღებად“. დადებითი გადაწყვეტილება პატენტის გაცემაზე. №AP 2015 14011 /22/ (3.11.2016)
83. Адамия Р.Ш., Лобода В.М. Основы рационального проектирования металлургических машин. М:Металлургия, 1984.- 128 с.
84. Р.Ш.Адамия, Т.М.Натриашвили, С.А.Мебония. Инженерные методы расчета параметров ударных взаимодействий твердых тел.Тбилиси, изд.ГТУ,2010. 230 с.
85. Г.С.Батуев, Ю.В.Голубков, А.К.Ефремов, А.А.Федосов. Инженерные методы исследования ударных процессов. М.,Машиностроение, 1977. 240 с.
86. Е.А.Александров, В.Б.Соколинский. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М., Наука, 1969. 200 с.
87. И.М.Рабинович, А.П.Синицын, О.В.Лужин, В.М.Теренин. Расчет сооружений на импульсные воздействия. М.,Стройиздат 1970. С. 304.
88. Н.А.Кильчевский. Теория соударения твердых тел. Киев, Наукова думка, 1969. 248 с.
89. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М:Высшая школа, 1972. 416 с.
90. С.А.Мебония, Т.М. Натриашвили, М.Бен Хаим. Методы расчета ударных нагрузок в трубопрокатных станах. Тр. международн. н-т конф. Неклассические задачи механики (к 80-летию Н.Валишвили). Кутаиси, 2012. С.368-371.
91. S.Mebonia, D. Demetradze , P. Mshvildadze, A. Gagnidze. The analysis of an after-effect of impact in transmission at sleeve capture by rolls of the automatic mill. Problems of mechanics, №2(51), Tbilisi, 2011. Pp.42-46.

92. С.А.Мебония, Т.М.Натриашвили, П.К.Мшвилдадзе. Определение сил ударного взаимодействия при захвате металла валками трубопрокатного стана. Материалы междуна-родн.н-т конф. Современные концепции научных исследований.Россия, Москва,29-30.08. 2014. С.81-83
93. S.Chagelishvili P.Mshvildadze Research the Force of the Shok Interaction in the Main Line of the Automatic Tube Mill Problems of Mechanics, №3(60).Tbilisi,2015 p.18-23
94. О.Гелашвили, С. Мебония, Т.Абуладзе. Анализ динамических явлений в главной линии прошивного стана с учетом ударного взаимодействия при захвате металла. Материалы международн.н-т конф. Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов. Египет, Таба, 9-16.12. 2014. С.5-8.