

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ხელნაწერის უფლებით

მამუკა ბაკაშვილი-ანთელავა

დერძსიმეტრიული ნამზადების რადიალური ჭედვის  
ტექნოლოგიისა და მოწყობილობის სრულყოფა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი დისერტაციის

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0412

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი-2017

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობის და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი - ასოცირებული პროფესორი **სლავა მეზონია**

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება 2017 წლის „\_\_\_\_“ \_\_\_\_\_ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

\_\_\_\_\_  
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი \_\_\_\_\_, აუდიტორია \_\_\_\_\_

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ. №69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი \_\_\_\_\_

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** რადიალური ჭედვის პროცესი წარმოადგენს ლითონების წნევით დამუშავების (ლწდ) ერთერთ ნაირსახეობას, რომელიც მდგომარეობს ნამზადის ფორმაცვლილებაში მუშა ინსტრუმენტის - საცემელების პერიოდული დარტყმების მეშვეობით.

რადიალურ-საჭედ მანქანებზე ლითონების პლასტიკური დეფორმირების მეთოდის გამოყენება მნიშვნელოვანი პროგრესია ლითონების წნევით დამუშავების დარგში. რადიალური ჭედვის მეთოდი უზრუნველყოფს ლითონის ნაკეთობათა სათანადო სიზუსტეს, გამოირჩევა მაღალ მწარმოებლუ-რობით და ლითონის საგრძნობი ეკონომიით.

რადიალური ჭედვის მეთოდის გამოყენება, განსაკუთრებით ხელსაყრელია მანქანათმშენებლობაში, კერძოდ ავტო-ტრაქტორთმშენებლობაში, 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 გამოვყოთ ღერძსიმეტრიული დეტალები შიგა საფეხურებიანი პროფილით, კერძოდ გარდამავალი მილისები, ნიპელები და საფეხურებიანი ქუროები; სიმეტრიული დეტალები მუდმივი განივკვეთის 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 ბურბუშელის სახით.

რადიალური ჭედვის მეთოდი, რომელიც მეტად ეფექტურია ზომიერდელი დერძიმეტრიული 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. რადიალურ-საჭედი მანქანები განკუთვნილია ღრუ სხეულების 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 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 აქტუალურობას.

**კვლევის მიზანი და ძირითადი ამოცანები.** კვლევის ძირითადი მიზანია მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ღერძსიმეტრიული ნამზადების რადიალური 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;
- ზომავრძელი 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 ტექნოლო-გიის საკითხები შესწავლილია როგორც უცხოელი, ისე ქართველი მეცნიერების მიერ. მნიშვნელოვანი კვლევები აქვთ ჩატარებული მ. სტოროჟევის, ე. პოპოვის, 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 ენერგოდინამიკური 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; ზომადგომელი 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 83-ე და 84-ე სამეცნიერო კონფერენციებს. კვლევის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში, რომლებიც დაბეჭდილია სამეცნიერო რეფერირებად ჟურნალებში. მიღებულია 1 პატენტი გამოგონებაზე.

**სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერზე სტუ-ს მოთხოვნათა შესაბამისად აკრეფილ 175 გვერდს. იგი შედგება შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის, ექვსი თავის, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან. ნაშრომში წარმოდგენილია 20 ცხრილი და 64 ნახაზი.

## შინაარსი

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

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.

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.

მიღებულია განტოლება, საიდანაც განისაზღვრება რადიალურ საჭედი მანქანების ექსცენტრულ ლილვზე მოქმედი მამრუნი მომენტის ცვალებადობის კანონზომიერება, რომელიც უზრუნველყოფს ექსცენტრული ლილვის თანაბარ ბრუნვას, ე.ი. მისი კუთხური სიჩქარის მუდმივობას  $\dot{\alpha} = \omega$ , ამასთან  $\alpha = 0$ :

$$M = \frac{1}{2} \left( \frac{dI'}{d\alpha} \omega^2 + 2Qe \sin \alpha \right),$$

სადაც  $I'$  მექანიზმის ინერციის დაყვანილი მომენტია;  $Q$  – ღერძული ძალაა სოლურ ცოციაზე;  $e$  – ექსცენტრული ლილვის ექსცენტრისიტი.

დადგენილია, რომ ასეთ პირობებში შემცირებულია მანქანის კვანძებში ვიბრაციები, რხევები, დარტყმები და სხვა უარყოფით 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:

$$F_{\text{kont}} = l \cdot b = 2l\sqrt{2r \cdot \Delta r},$$

სადაც  $l$  არის დეფორმაციის კერის სიგრძე;  $b$  - დეფორმაციის კერის სიგანე;

$r$  - ნამზადის საშუალო რადიუსი დეფორმაციის კერაში;

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

ამ ფორმულით გათვლების სიზუსტე სრულიად საკმარისია საინჟინრო ამოცანებისათვის.

მიღებულია ფორმულები საშუალო საკონტაქტო წნევის განსაზღვრისათვის ნამზადასა და ინსტრუმენტს შორის ხახუნის და დეფორმაციის გარე ზონების გავლენის გათვალისწინებით

$$\bar{p} = n_x n_{\dagger} \dagger_{\text{Fact}}, \quad n_{\dagger} = n'_{\dagger} n''_{\dagger} n'''_{\dagger}$$

ხახუნის გავლენის კოეფიციენტი  $n'_{\dagger}$  დამოკიდებულია დეფორმაციის კერის გეომეტრიულ პარამეტრზე, რომელიც 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;

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

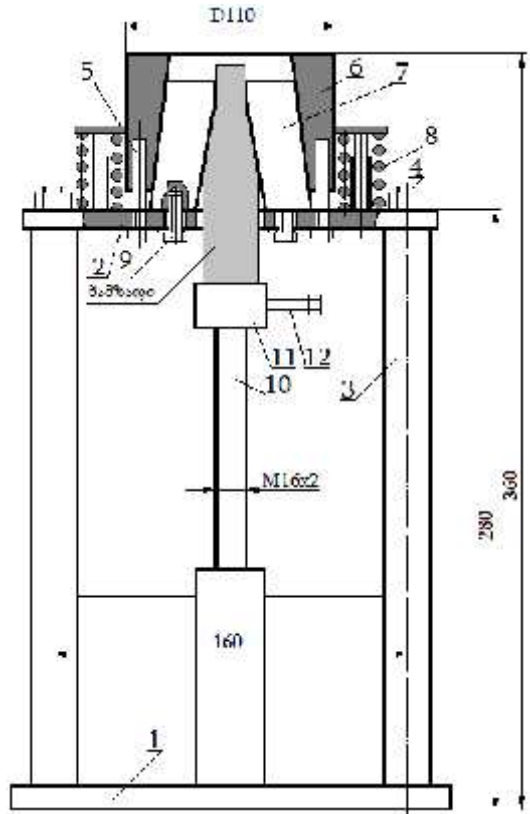
რადიალური ჭედვის პროცესში ადგილი აქვს ნამზადის კუმშვას საჭედი მანქანის საცემელებსა და მანიპულატორის სატაცებს შორის, რაც, ცხადია, გავლენას ახდენს საკონტაქტო წნევაზე, რაც შეგვიძლია გავითვალისწინოთ  $n'''_{\dagger}$  კოეფიციენტით:

$$n_{\tau}''' = C \left( 1 + \frac{\tau_0 + \tau_1}{2\bar{p}} \right),$$

სადაც  $C$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საშუალო საკონტაქტო წნევაზე გარეგანი ხახუნის დავლენის შემცირებას;  $\tau_0$  – ძაბვაა ნამზადში დეფორმაციის კერაში შესვლის მხარეზე;  $\tau_0 = \frac{P_0}{F_0}$ ;  $P_0$  – მანიპულატორის მიწოლის ძალა;  $F_0$  – ნამზადის განივკვეთის ფართობი;  $\tau_1$  – ძაბვა ნამზადში დეფორმაციის კერის გამოსავალ მხარეზე;  $\tau_1 = \frac{P_1}{F_1}$ ;  $P_1$  – ნაჭედის მიმღები მოწყობილობის მხრიდან მოქმედი ძალა;  $F_1$  – ნაჭედის განივი კვეთის ფართი;  $\bar{p}$  – საშუალო საკონტაქტო წნევა.

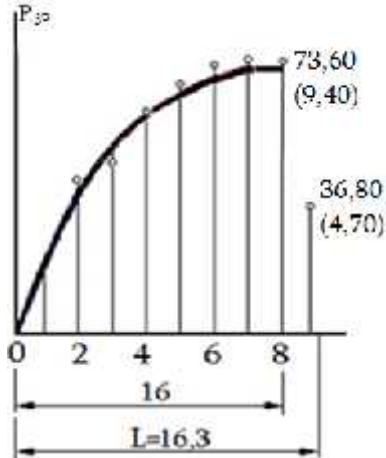
სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებულია რადიალური მოჭიმვის ძალების ექსპერიმენტული კვლევა. ექსპერიმენტულ მოწყობილობაზე სტანდარტული გამისაცდელი პრესის დახმარებით რადიალური დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე გამოკვლეულია ცილინდრული ფორმის ტყვიის ნიმუშებზე მოქმედი ძალები. ცდების შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკების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

მიზნის მისაღწევად შემუშავებულ იქნა რადიალური მოჭიმვის სპეციალური მოწყობილობა. ეს მოწყობილობა (ნახ.1) დამზადდა რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მექანიკურ საამქროში.

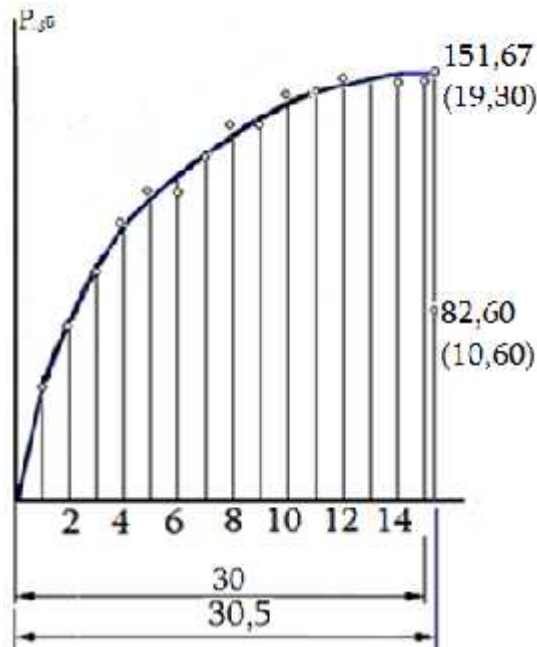


ნახ.1. რადიალური მოჭიმვის მოწყობილობის ფოტოსურათი და სქემა:  
 1,2. სადგარის ქვედა და ზედა 2 ფილები; 3. მილისებრი კოლონა; 4. სარქი; 5. მიმმართველი შტიფტი; 6. დამწოლი მილისა; 7. კონუსური მომჭერი; 8. ზამბარა; 9. ჭანჭიკი; 10. ხრახნით; 11. ნამზადის დამჭერის ბუდე; 12. ჭანჭიკი

ნახაზებზე 2 და 3 მოცემულია მოჭიმვის ძალის გრაფიკები.



ნახ.2. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:  
 ნამზადი D20; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა  $P=9,40$  კნ, დეფორმაციის ძალა 73,60 კნ



ნახ.3. მოჭიმვის ძალის გრაფიკი:  
 ნამზადი D24; ( $r = 8^0$ ): პრესის ძალა  $P=19,30$  კნ, დეფორმაციის ძალა 151,67 კნ

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  $r$  კუთხის  $4^036$  – დან  $8^0$  –მდე გაზრდამ გამოიწვია პრესის ძალის მომატება - 1,75-ჯერ D20 ნიმუშისათვის და 1,85-ჯერ D24 ნიმუშისათვის.

ნახ.4-ზე წარმოდგენილია დეფორმირებული ნიმუშები. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გამოყენებით მიღებულია ფორმულა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ანალიზური ხერხით გამოვიანგარიშოთ რადიალური

მოჭიმვის პროცესში მოქმედი ძალები ნებისმიერი ზომის ნიმუშისათვის დეფორმაციის სხვადასხვა რეჟიმებზე:



ნახ.4. დეფორმირებული ნიმუშები: ა - D20; ბ - D24  
 $y = 115,02 + 41,21x_1 + 43,96x_2 - 28,84x_3 + 15,26x_1x_2 - 17,49x_2x_3 - 11,36x_1x_3 - 7,20x_1x_2x_3,$

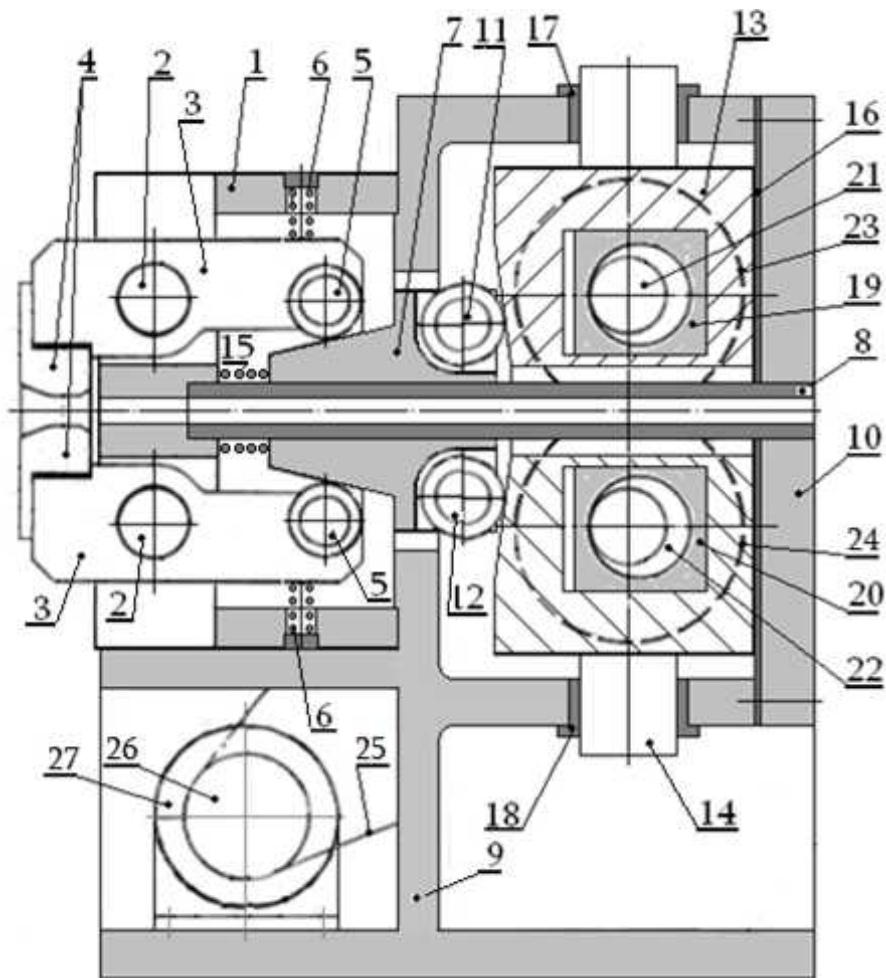
დისერტაციაში შემუშავებულია ლერძსიმეტრიული დეტალების რადიალური ჭედვის ტექნოლოგია. რთული ფორმის შიგა ზედაპირის მქონე ზომაგრძელი ლერძსიმეტრიული დეტალის მაგალითზე მოცემულია ტექნოლოგიური რეჟიმის და ინსტრუმენტის ანგარიშის მეთოდიკა, რომლის მეშვეობით დადგენილია ტექნოლოგიური ინსტრუმენტის - საცემელების და სამართულის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

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

მანქანა (ნახ.5) შეიცავს კორპუსს 1, რომელშიც ღერძებზე 2 დაყენებულია ორმხარა ბერკეტები 3. ბერკეტების 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, რომელიც არის ღრუ



და მისი ერთი ბოლო ჩამაგრებულია კორპუსში 1, ხოლო მეორე ბოლო გამოდის მანქანის სადგარის 9 სახურავიდან 10. სოლური ცოციას უკანა მხარეზე დაყენებულია გორგოლაჭები 11 და 12, რომლებიც მუდმივ კონტაქტში იმყოფება წამყვანი სოლების 13 და 14 მუშა ზედაპირებთან. ეს კონტაქტი უზრუნველყოფილია ზამბართ 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.



ნახ.5. რადიალურ - მომჭიმავი მანქანის ახალი სქემა

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 1.

ცხრილი 1: რადიალურ-მომჭიმავი მანქანის პარამეტრები

№	პარამეტრის დასახელება	მნიშვნელობა
1	ნამზადის მაქსიმალური დიამეტრი, მმ	60
2	მაქსიმალური ძალა, მნ	2,10
3	საცემელების სვლა, მმ	4
4	დარტყმების 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 ცოცის 7

გორგოლაქებზე 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.

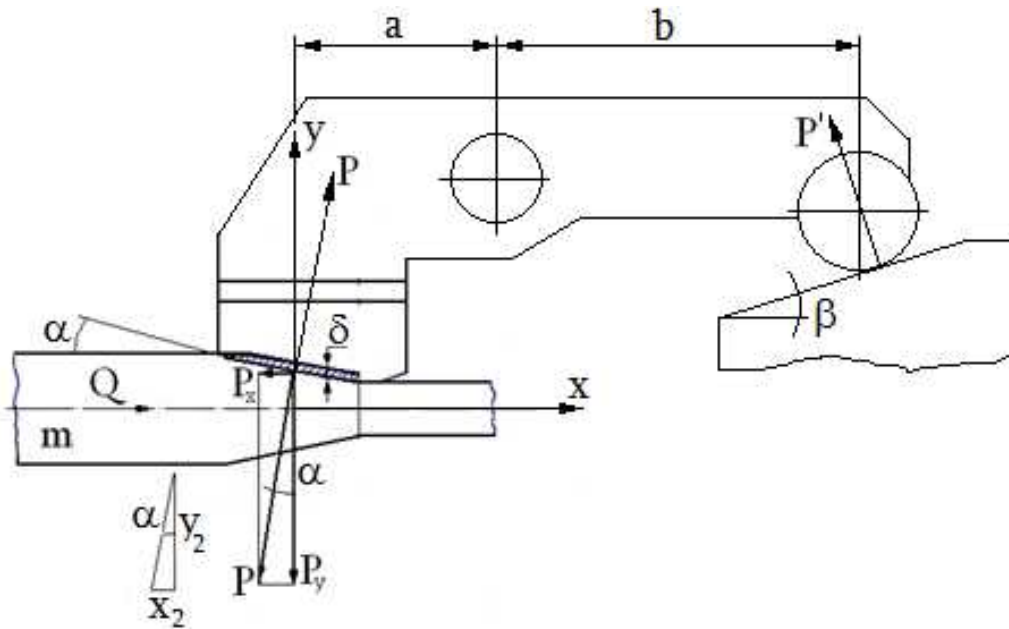
მანქანის ტექნოლოგიური შესაძლებლობები საგრძნობლად გაზრდილია ანალოგებთან შედარებით.

მიღებულია დარტყმითი ძალების საანგარშო ფორმულა ღერძსიმეტრიული ნამზადების ჭედვის დროს.

დარტყმითი ძალების მოქმედების სქემა მოცემულია ნახ.6-ზე.

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.



ნახ.6. დარტყმითი ძალების მოქმედების სქემა

დარტყმის ძირითად დიფერენციალურ განტოლება:  $\frac{d^2u}{dt^2} = -\frac{1}{M} P(u),$

აქ  $M$  არის შეჯახებადი სხეულების დაყვანილი მასა:

$$M = \frac{I \cdot m}{ma^2 (\cos^2 \alpha - \cos^2 \beta) + I \cdot \sin^2 \alpha}.$$

განტოლებაში საკონტაქტო ძალის მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ  $P$  ძალის მაქსიმალურ სიდიდეს, რისთვისაც ვიყენებთ დინამიკურ ძალურ მახასიათებელს, 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.

ამ განტოლების ინტეგრირების შედეგად ვღებულობთ მაქსიმალურ დეფორმაციას:  $u_{\max} = [\sqrt{k} (\frac{n+1}{n}) \frac{Mv_0^2}{2}]^{\frac{n}{n+1}}$  და დარტყმითი ძალას:

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

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.

## 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  $\dot{\alpha} = \text{const}$ , ამასთან  $\alpha = 0$ .
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 დამზადებულია 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  $II\Phi\Xi^2$  და  $II\Phi\Xi^3$  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.



დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

1. 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.
2. 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). 2015. P.55-61.
3. მ.ბაკაშვილი-ანთელავა. რადიალურ-საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობები და გამოყენების სფერო. სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, თბილისი, 2015. გვ.135.
4. M.Baakashvili-Antelava, S.Mebonia. The use of radial-forging method. Works of the International Conference “Innovative Technologies in Metallurgy and Material Science”. Tbilisi, 16-18 July 2015. Pp.214-215.
5. მ. ბაკაშვილი-ანთელავა, ს.მეზონია. რადიალურ-საჭედი მანქანების ტექნოლოგიური შესაძლებლობები. სტუ-ს შრომები, №1 (499), 2016. გვ.105-112.
6. მ. ბაკაშვილი-ანთელავა. რადიალურ-საჭედი მანქანის რაციონალური კონსტრუქციის შემუშავება. სტუ-ს სტუდენტთა 84-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, თბილისი, 2016. გვ.162.
7. ს. მეზონია, თ. ნატრიაშვილი, მ. ბაკაშვილი-ანთელავა. დადებითი გადაწყვეტილება პატენტის გაცემაზე №*AP 2015 014011 /22/*, (3.11.2016).
8. 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.

## Abstract

Dissertation 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.

The obtained results are given in the conclusion of the thesis.