

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

სალომე გვაზავა

კრიოგენული და თერმული დამუშავების კომბინირებული
ზეგავლენა თუჯებში მრავალფუნქციური მულტიფაზური
ბეინიტურ - მარტენსიტული სტრუქტურების ფორმირებაზე

სადოქტორო პროგრამა -მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0719

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2025 წ

სამუშაო შესრულებულია შემდეგ დაწესებულებებში:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის და ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიული და მასალათმცოდნეობის დეპარტამენტი;
- სსიპ - ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი;
- ლივერპულის ჯომ მორის უნივერსიტეტი (LJMU);

სამეცნიერო ხელმძღვანელი - პროფესორი **ნუგზარ ხიდაშელი**
რეცენზენტები:
.....

დაცვა შედგება 2025 წლის ” ”, საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,

მისამართი: 0160, თბილისი, მერაბ კოსტავას ქუჩა №

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი -

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. FeC - შენადნობების ტრიბოტექნიკური მახასიათებლების მიზანმიმართული მართვა დღეისათვისაც რჩება თანამედროვე მასალათმცოდნეობისა და მანქანათმშენებლობის ერთ-ერთ ძირითად პრობლემად. ეს განპირობებულია იმით, რომ მანქანა-დანადგარების ექსპლუატაციის პროცესში ხახუნი წარმოადგენს ენერგიის დისიპაციისა და დანაკარგების ძირითად წყაროს, რაც შესაბამისად ამცირებს საწარმოო დანახარჯების ეფექტურობას.

ლიტერატურული ანალიზის თანახმად, დეტალების 90%-ის ფრიქციული ზედაპირის სრული რღვევა გამოწვეულია ცვეთისა და კოროზიული პროცესებით. ცვეთის ნებისმიერი ნაირსახეობა გამოწვეულია მასალის დადლილობით, ვინაიდან ხორციელდება ფრიქციული ზედაპირების მრავალჯერადი დატვირთვა და როგორც წესი, მოხახუნე ზედაპირებზე შეინიშნება ლოკალური დეფორმაციები [1].

თანამედროვე მანქანა-დანადგარების (ჩქაროსნული და სპეციალური დანიშნულების სატრანსპორტო საშუალებები, საპასუხისმგებლო კვანძები, სამუხრუჭე სისტემების ელემენტები და ა.შ.) ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა ძირითადად დამოკიდებულია მოხახუნე კვანძების ცვეთამედეგობაზე. ამიტომ მექანიკური სისტემების უსაფთხოებისა და საიმედოობის უზრუნველყოფა შესაძლებელია ცვეთის ინტენსივობის მინიმიზაციის ხარჯზე.

შენადნობების ცვეთის დანაკარგების 2-3-ჯერ შემცირება შესაძლებელია მხოლოდ სტრუქტურული მდგენელების პარამეტრების (დისპერსულობა, ორიენტაცია და რაოდენობა) შეცვლის ხარჯზე. ამასთან გასათვალისწინებელია, რომ ზედაპირების ფრიქციული დატვირთვის პროცესში მნიშვნელოვან ფუნქციას ასრულებს შენადნობების მარცვალთა და ფაზათაშორისი საზღვრების მდგომარეობა, ვინაიდან ისინი წარმოადგენენ შინაგანი ძაბვების ლოკალური კონცენტრაციის ადგილებს.

ცნობილია, რომ ფრიქციული მასალების კონტაქტური ურთიერთქმედების მართვის ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს მათი მიზანმიმართული სტრუქტურირება. დადგენილია, რომ ლითონური ფუძის მულტიფაზური სტრუქტურა უზრუნველყოფს რკინა-ნახშირბადის შენადნობების მაღალ მექანიკურ და საექსპლუატაციო თვისებათა კომპლექსს. ისინი გამოირჩევიან შინაგანი

დაძაბულობის კონცენტრაციის დაბალი ხარისხით, რაც აუმჯობესებს მედეგობას ციკლური დაღლილობითი რღვევის მიმართ [2, 3, 5].

მულტიფაზური სტრუქტურის უპირატესობები მიიღწევა შენადნობებში სტრუქტურული მდგენელების ტიპისა და მათი ფორმირების თანმიმდევრობის კონტროლირებადი შერჩევით, ფაზური კომპონენტების თანაფარდობის რეგულირებით და მათი სივრცითი განლაგების მართვით.

აღსანიშნავია, რომ ბეინიტურ-მარტენსიტული მულტიფაზური სტრუქტურები, ორკომპონენტიანთან შედარებით, გამოირჩევიან მყიფე და კოროზიული რღვევისადმი მაღალი წინააღმდეგობით. ეს ყოველივე მიიღწევა ფირფიტოვან მარტენსიტში ნარჩენი აუსტენიტის დისპერსული მიკროშრეების წარმოქმნის ხარჯზე. მასალის ლითონურ ფუძეში გარკვეული რაოდენობის მარტენსიტული კრისტალების ფორმირება უზრუნველყოფს ულტრადისპერსული ბეინიტის წარმოქმნას, გავლენას ახდენს მის კრისტალოგრაფიულ თავისებურებებზე და აჩქარებს ნარჩენი აუსტენიტის დაშლის კინეტიკას [6-8].

შენადნობებში ულტრადისპერსული მარტენსიტის, ნარჩენი აუსტენიტისა და ნანობეინიტის მულტიფაზური სტრუქტურების მისაღებად გამოიყენება თერმული დამუშავების ინოვაციური, მრავალსაფეხურიანი მეთოდები კრიოგენული, პირდაპირი და იზოთერმული წრთობის პროცესების შერწყმით. ამასთან, კრიოგენული დამუშავებით გამოწვეული სტრუქტურულ-ფაზური ცვლილებები დადებით გავლენას ახდენს რკინა-ნახშირბადიანი შენადნობების ტრიბოტექნიკურ და კოროზიულ მახასიათებლებზე, კერძოდ - უმჯობესდება დარტყმითი სიბლანტე, თბოგამტარობა და ზოგ შემთხვევაში 300%-მდე იზრდება მათი ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა [9]. ეს ყოველივე აიხსნება შენადნობების ლითონურ ფუძეში დისპერსული კარბიდული ჩანართებისა და მარტენსიტული კრისტალების ფორმირებით. კრიოდამუშავების შედეგად მიმდინარე კრისტალოგრაფიული და მიკროსტრუქტურული გარდაქმნები გავლენას ახდენენ ასევე მასალის ლითონურ ფუძეში მალეგირებელი ელემენტების კარბიდული ჩანართების თანაბარ განაწილებაზე, რაც შესაბამისად იწვევს დარტყმითი სიბლანტის და ცვეთამედეგობის გაუმჯობესებას და ხელს უწყობს მასალაში წარმოქმნილი დაძაბულობების მოშვებას ან სრულად აღმოფხვრას [10].

კრიოგენული დამუშავების გამოყენებით შესაძლებელია სიმტკიცის გაზრდა

და ცვეთის ინტენსიობის სტაბილიზირება სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მასალის ლითონურ ფუძეში შეიმჩნევა კარბიდული მდგენელების დისლოკაციების სიმკვრივის გაზრდა, რის შედეგადაც იცვლება შენადნობების ფიზიკო-მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებები.

ამავე დროს, მარტენსიტული გარდაქმნა იწვევს შინაგანი ძაბვების წარმოქმნას, რაც დაკავშირებულია მიკრობზარების ჩასახვისა და გავრცელების რისკებთან. მაღალმტკიცე თუჯებისთვის კრიოგენული და პირდაპირი წრთობის მეთოდების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ თხევადი ლითონის მოდიფიცირების სპეციალური მეთოდების გამოყენებით, ვინაიდან ისინი მიეკუთვნებიან მაღალნახშირბადიან მყიფე მასალათა ჯგუფს, ხასიათდებიან დაბალი ბზარმდებლობით და მათი მარცვალთშორისი საზღვრები გაჯერებულია ისეთი მავნე ქიმიური ნაერთებით, როგორებიცაა სულფიდები, ნიტრიდები, კარბიდები და ა.შ.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შემუშავებულია თხევადი თუჯის მაგნიუმის ორთქლით მოდიფიცირების ახალი ინოვაციური მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს შენადნობის რაფინირების მაღალ ხარისხს. მაგნიუმის ორთქლით დამუშავება იწვევს ნადნობში მავნე მინარევების, მაგალითად S-ის შემცველობის შემცირებას $<0.002\%$ -მდე, რაც ამცირებს შინაგანი ძაბვების დაგროვების მიმართ მიდრეკილებას და მკვეთრად აუმჯობესებს მის ტექნოლოგიურ პლასტიკურობას. მაგნიუმის ორთქლითა და ბორის მიკროდანამატებით შენადნობის დამუშავება უზრუნველყოფს მაღალმტკიცე თუჯების მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესებას.

ამასთან, ამ თუჯების უპირატესობების მიუხედავად, პრაქტიკულად შეუსწავლელი რჩება კრიოგენული და თერმული დამუშავების გავლენა ზემოაღნიშნული შენადნობების სტრუქტურწარმოქმნის პროცესებზე და მათ ფრიქციულ და კოროზიულ მახასიათებლებზე.

ფუნქციონალური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით აუცილებელია შესწავლილ იქნას მულტიფაზური ბეინიტურ-მარტენსიტული ტიპის სტრუქტურების ფორმირების პროცესები და მათი რღვევის თავისებურებანი სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში.

კვლევის მიზანი. მაღალი ტრიბო-ენერგეტიკული ადაპტირების უნარის მქონე ახალი ბეინიტურ-მარტენსიტული მულტიფაზური სტრუქტურების მიღება კრიოგენული და თერმული დამუშავების მეთოდების კომბინირებით.

სადოქტორო ნაშრომში გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- სრულყოფილია თხევადი თუჯის Mg-ის ორთქლით რაფინირებისა და მოდიფიცირების ინოვაციური მეთოდი;
- შემუშავებულია მაღალმტკიცე თუჯების მიკროლეგირებისათვის Fe-B-ის მიღების ტექნოლოგია მეტალურგიული წარმოების რკინაშემცველი ნარჩენებისაგან თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის (თმს) მეთოდის გამოყენებით;
- ნაჩვენებია კრიოგენული და თერმული დამუშავების პროცესების კომბინირების გავლენა მაღალმტკიცე თუჯების სტრუქტურწარმოქმნის პროცესების თავისებურებებზე;
- დადგენილი იქნა ბეინიტურ-მარტენსიტული ტიპის მულტიფაზური სტრუქტურის ფრიქციული მახასიათებლები (ცვეთის სიჩქარე, ხახუნის კოეფიციენტი, კონტაქტური ზონის ტემპერატურა) სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში და მათი სტაბილურობა კონტაქტური ურთიერთქმედების პროცესში;
- შესწავლილი იქნა დინამიურ კონტაქტში მყოფი სხვადასხვა ტიპის ექსპერიმენტული მულტიფაზური სტრუქტურის მქონე ფრიქციული ზედაპირების დეგრადაციისა და რღვევის პროცესები;
- განსაზღვრულია მიღებული ახალი მულტიფაზური სტრუქტურების კოროზიული რღვევის კინეტიკა.

მეცნიერული სიახლე.

- ✓ დადგენილი იქნა სალი კომპონენტებისა და პლასტიკური მდგენელების ინტეგრირებული გავლენა მათ მექანიკურ მახასიათებლებზე და არასტაციონალური თერმული დატვირთვების მიმართ მედეგობაზე;
- ✓ შესწავლილი იქნა თუჯების კრიოგენული და თერმული დამუშავების (პირდაპირი და იზოთერმული წრთობა) კომბინირებული ტექნოლოგიური პარამეტრების გავლენა მაღალი დისიპაციური უნარის მქონე ახალი ტიპის მულტიფაზური სტრუქტურების ფორმირების კანონზომიერებებზე;

✓ გამოკვლეული იქნა მარტენსიტული კლასის თუჯების ფრიქციული ზედაპირების რღვევის და კოროზიული პროცესების კინეტიკა და თავისებურებანი სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში;

✓ შესწავლილი იქნა კრიოგენული და თერმული დამუშავების კომბინირებული ზეგავლენა ფრიქციული ზედაპირების დეგრადაციასა და რღვევის პროცესებზე სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში.

პრაქტიკული ღირებულება.

✓ რეკომენდირებულია მაღალმტკიცე თუჯების კრიოგენული და პირდაპირი წრთობის მეთოდების კომბინირების რაციონალური ტექნოლოგია, რაც უზრუნველყოფს მასალის ფუნქციონალური მახასიათებლების გაუმჯობესებას და მათ მიზანმიმართულ მართვას;

✓ შემუშავებულია მაღალმტკიცე თუჯებში ცვეთა და კოროზიამდეგი მარტენსიტული გარდაქმნით განმტკიცებული თუჯების მიღების ენერგოდამზოგი ტექნოლოგია;

✓ სრულყოფილია სსიპ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შემუშავებული მაგნიუმის ორთქლით თხევადი ლითონის დესულფურიზაციისა და გრაფიტული ჩანართების სფეროდიზაციის ტექნოლოგია;

✓ ნაჩვენებია, რომ მეტალურგიული წარმოების ნარჩენებისგან 5-10% ბორის შემცველი ლიგატურების მიღების ეფექტურ ტექნოლოგიას წარმოადგენს თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი.

ნაშრომის სტრუქტურა

წარმოდგენილი დისერტაცია შეიცავს დამახასიათებელ ძირითად ნაწილებს, როგორებიცაა: რეზიუმე, შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა, მიღებული შედეგები და მათი განსჯა, კვლევის მეთოდოლოგია, ძირითადი დასკვნები, გამოყენებული ლიტერატურული წყაროების ნუსხა, ინფორმაცია ნაშრომის აპრობაციის შესახებ და დანართები.

ნაშრომში მოყვანილია 9 ცხრილი და 91 სურათი, ხოლო დისერტაციის საერთო მოცულობა შეადგენს 133 გვერდს.

ნაშრომის აპრობაცია

1. Salome Gvazava, Nugzar Khidasheli, Adl Batako, Mikheil Chikhradze, Garegin Zakharov, Zurab Sabashvili. Investigation into the effect of process parameters on structural characteristics and functional properties of ductile martensitic irons. International Conference on Mining, Material, and Metallurgical Engineering, investigation into the effect of process parameters on structural characteristics and functional properties of ductile martensitic irons, Kyoto, Japan, 2025;
<https://academicsworld.org/Conference/22071/ICMMME/>
2. S.Gvazava , N.Khidasheli, ADL Batako, M.Chikhradze, G.Zakharov, M. Donadze.. Investigation the effect of combined quenching and deep cryogenic treatment on wear behavior of martensitic ductile irons. "10th International Conference on Materials Science & Engineering", Tokyo, Japan, 2024;
<https://materialsconferences.com/2024/programschedule>
3. Garegin Zakharov, Mikheil Chikhradze, Davit Kvashvadze, Nugzar Khidasheli, Levan Chkhartishvili, George Mikaberidze, Salome Gvazava. Peculiarities of Obtaining Complex Fe-Mn-B Ligatures by SHS-metallurgy Technology Using Production Wastes. World Summit: Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Congress, 21-23 october 2024; <https://ap.pensoft.net/article/32890/>
4. Garegin Zakharov, Mikheil Chikhradze, Davit Kvashvadze, Nugzar Khidasheli, Levan Chkhartishvili, George Mikaberidze, Salome Gvazava. Peculiarities of Obtaining Complex Fe-Mn-B Ligatures by SHS-metallurgy Technology Using Production Wastes. International Conference on Recent Advances in Engineering and Technology, IA-ICRAETKRABI-051023-001A Paper ID Iron-carbon Alloys, Thailand, 2023;
<https://www.icraset.com/#:~:text=Objective%20of%20the%203rd%20ICRASET,scholars%2C%20researchers%2C%20and%20educators.>
5. N. Khidasheli, E. Kutelia, S. Gvazava, M. Chikhradze, Andre.D.L Batako. Cryogen and heat treatments of boron-lacquered high-strength cast iron. International Conference on Materials, Manufacturing and Modelling, INDIA, DELHI, 2023;
<https://pureportal.coventry.ac.uk/en/activities/international-conference-on-materials-manufacturing-and-modelling>
6. Garegin Zakharov, Nugzar Khidasheli, Zurab Aslamazashvili, Giorgi Gordeziani, Mikheil Chikhradze, Salome Gvazava, Irakli Maisuradze ICWRM 2022: 16. International Conference on Wear Resistance of Materials, Wear Behavior of Boron-Microalloyed Austempered Ductile Iron Under Various Dry Sliding Conditions, Vienna, Austria, 2022;
https://www.researchgate.net/publication/355256704_Wear_behaviour_of_austempered_ductile_iron_microalloyed_with_boron_under_different_contact_load_by_dry_sliding_wear_conditions
7. Salome Gvazava, Nugzar Khidasheli, Mikheil Chikhradze, Garegin Zakharov. ICFWM 2022: 16. International Conference on Friction and Wear of Materials, Tribocorrosion Behavior of Austempered Ductile Iron Microalloyed with Boron, Rome, Italy, 2022;

8. Garegin Zakharov; Mikheil Chikhradze; Nugzar Khidasheli; Salome Gvazava; Zurab Aslamazashvili. SGEM 2025: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology. Investigation of heat treatment effect on microstructure and properties of iron-carbon alloys obtained using fe-mn-b-shs complex ligature. Bulgaria, 2025.
https://www.epslibrary.at/sgem_jresearch_publication_view.php?page=view&editid1=10155

კვლევის ობიექტი და მეთოდები.

სადოქტორო ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯები, რომელთა ფუნქციონალური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით გამოყენებული იქნა ღრმა კრიოგენული განმტკიცებისა და თერმული დამუშავების კომბინირების სხვადასხვა ვარიანტები.

- ნაშრომში დასმული მიზნის მისაღწევად გამოყენებულია კვლევის შემდეგი თანამედროვე მეთოდები:

კვლევის საწყის ეტაპზე გამოდნობილი იქნა ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯი. თხევადი ლითონის რაფინირება და მოდიფიცირება განხორციელდა მაგნიუმის ორთქლით დამუშავების ინოვაციური მეთოდით.

ექსპერიმენტული მასალის ქიმიური შემადგენლობის კონტროლის მიზნით გამოყენებულია სპექტრალური ანალიზატორი "MAGELLAN". მაღალმტკიცე თუჯების დისპერსულობისა და სტრუქტურული მდგენელების თანაფარდობების შესწავლა განხორციელდა ოპტიკური მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის Neophot 32 და HZG-4A და DPOH-4 X-Ray რენტგენოფაზური დიფრაქტომეტრის საშუალებით. ელექტრონულ-მიკროსკოპული კვლევების ჩასატარებლად გამოყენებული იქნა მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპები ZEISS- Gemini1, JSM-6510LV და JEOL. ფრიქციული რღვევის პროცესში ზედაპირულ შრეებზე ელემენტების განაწილება განისაზღვრა Hitachi TM3030Plus მარკის მასკანირებელ ელექტრონულ მიკროსკოპზე ენერგო-დისპერსული სპექტროსკოპიის მეთოდით (EDX). ექსპერიმენტული შენადნობის სისალის კონტროლი განხორციელდა როკველის ტიპის ხელსაწყოს გამოყენებით HRC შკალით. სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე მაღალმტკიცე მარტენსიტული კლასის თუჯების კოროზიული რღვევისადმი მედეგობა განისაზღვრა ტაფელის პოტენციოდინამიური მრუდებისა და ელექტროქიმიური იმპედანსური სპექტროსკოპიის (EIS) მეთოდების გამოყენებით პოტენციოსტატზე Ivium CompactStat CS350. ფრიქციული ტესტირება ჩატარდა ტრიბომეტრ CMI2-ზე სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში. CMI2-ის და ვიბრაანალიზატორ UNI-T UT315A-ის მეშვეობით შესწავლილი იქნება ცვეთის პროცესში განვითარებული ჰორიზონტალური რხევების სიხშირის მახასიათებლები და დადგინდება ცვეთის მექანიზმების კანონზომიერებები. ფრიქციული დატვირთვების პირობებში საკონტაქტო ზონაში განვითარებული

ტემპერატურული გრადიენტის ცვლილებისა და მათი ციფრულ ფორმატში ტრანზერისთვის გამოყენებულია VDS 1022 მარკის ოსცილოგრაფი და თერმული კამერა UNI-T PRO UTi260A.

მიღებული შედეგები და მათი განსჯა.

სრულყოფილია თხევადი ლითონის განგოგირდებისა და მოდიფიცირების ტექნოლოგია. მეთოდის თავისებურებას წარმოადგენს თხევადი თუჯის ღრმა რაფინირება 1320-1350°C-ზე ლითონური მაგნიუმის ორთქლით, რომელიც ინდუქციურ ღუმელში მიეწოდება ნადნობის ქვედა ფენებს 5-7 წთ-ის განმავლობაში. პიროვექტის და თხევადი ლითონის ამოფრქვევის თავიდან აცილების მიზნით შემუშავებული იქნა ახალი შემადგენლობის მაგნიუმის შემცველი გამჭოლი ფოროვანი კომპოზიტი, რომლის ქიმიური შემადგენლობა მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. ექსპერიმენტული მაგნიუმშემცველი გამჭოლი ფოროვანი კომპოზიტების ფაზური შემადგენლობა

კომპოზიტის #	კომპოზიტის მდგენელების წონითი რაოდენობა, %			
	MgO (ტ≈2.0 მმ.)	Mg (ტ≈1.8 მმ.)	PIK-104	LDPE (ტ≈1.6-1.8 მმ.)
1	60	30	10	-
2	60	28	10	2
3	60	27	10	3
4	60	29	10	1

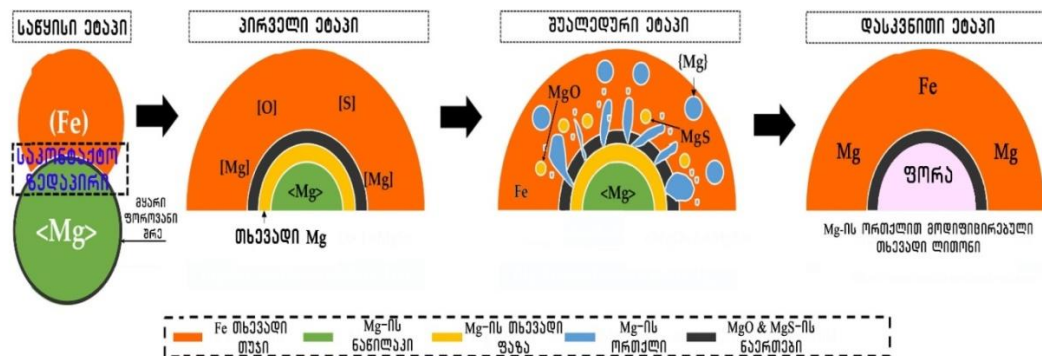
კომპონენტების გამყარება ერთმანეთში შერევისა და გრაფიტულ ზარში წინასწარი მოთავსების შემდეგ ხორციელდებოდა ნარევის დაყოვნებით (4-5 წთ.). თხევადი ლითონის ღრმა რაფინირებისა და გრაფიტული ჩანართების სფეროიდიზაციისთვის საკმარისი მაგნიუმის რაოდენობა შეადგენს 0.2%-ს. ნადნობის აღნიშნული მეთოდით მოდიფიცირება უზრუნველყოფს ლითონური მაგნიუმის აორთქლებას კომპოზიტის ფორმებში და თხევად ლითონში მის უსაფთხო მიწოდებას.

მოდიფიცირების პროცესის ამსახველი ვიზუალური მასალა მოყვანილია სურათზე 1.



სურათი 1. თუჯის მოდიფიცირების ნატურული ტექნოლოგიური პროცესი

ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ MgO -ს საშუალო ფრაქციის გაზრდას 1.6-2.5 მმ-მდე თან ახლავს ლითონში მაგნიუმის ათვისების ხარისხის მატება. აღნიშნული პარამეტრის შემცირება იწვევს მაგნიუმის ათვისების ხარისხის შემცირებას, ვინაიდან მცირდება აორთქლებული მაგნიუმის ტრანსპორტირების არხების კვეთი და იზრდება მისი გადაადგილების წინააღმდეგობა. ამის შედეგად მკვეთრად მცირდება ნადნობში მიწოდებული ორთქლის რაოდენობა. აიროვანი ფაზის წარმოქმნის და მისი თხევად ლითონში ტრანსპორტირების პროცესი მსხვილ ფოროვან კომპოზიტებში ვითარდება გაცილებით ინტენსიურად. ამავდროულად, იზრდება მაგნიუმის ორთქლის მიწოდების სიჩქარე, რის გამოც ინტენსიურად მცირდება მისი ათვისების ხარისხი. აღნიშნული პროცესი სქემატურად გამოსახულია სურათზე 2.



სურათი 2. გამჭოლი ფოროვანი კომპოზიტით თხევადი ლითონის Mg -ის ორთქლით მოდიფიცირების სქემატური მოდელი.

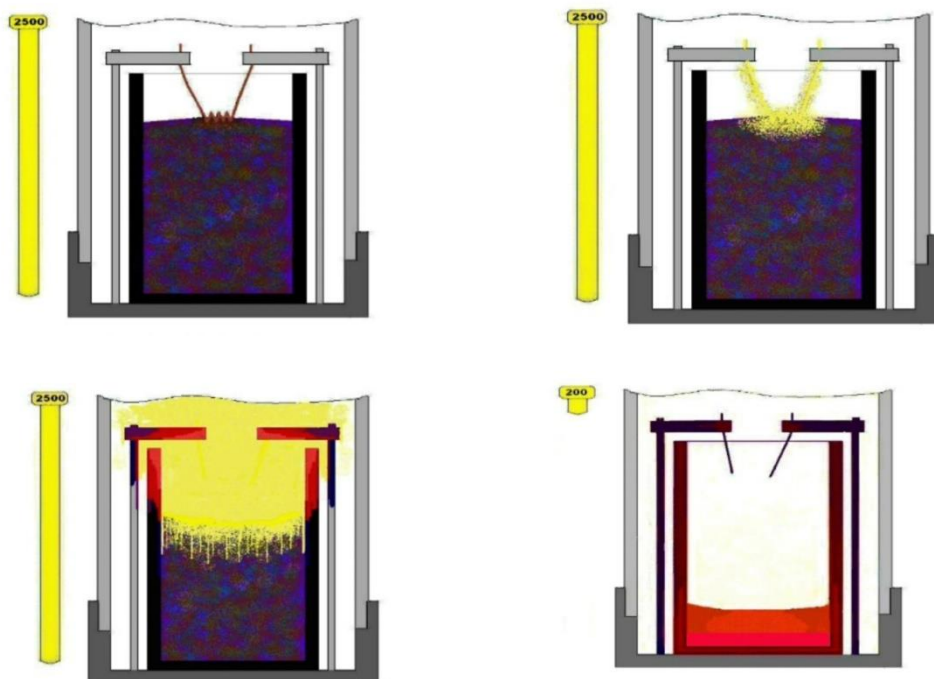
➤ ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ Mg - შემცველ გამჭოლ ფოროვან კომპოზიტში შემავალ კომპონენტად 1-3% LDPE-ს გამოყენება უზრუნველყოფს თხევადი თუჯის მოდიფიცირების ხანგრძლივობის შემცირებას 20-22%-ით.

მაღალმტკიცე თუჯის ბორით მიკროლეგირებისათვის საწარმოო ლიგატურების FB0 და FB1 (17-20%B) გამოყენების შემთხვევაში პროცესის რეკომენდირებული ტემპერატურა შეადგენს 1500-1550°C, რაც შესაბამისად აძვირებს ტექნოლოგიურ პროცესს და ზრდის თხევადი ლითონის დანაკარგებს.

ცნობილია, რომ ლიგატურაში ბორის უფრო დაბალი კონცენტრაცია უზრუნველყოფს მისი ათვისების ტემპერატურის შემცირებას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, თმს-მეთოდით შემუშავებული იქნა საწარმოო ნარჩენებიდან FeB-ის (B5-10%) სინთეზის ტექნოლოგია. კერძოდ, ამისთვის გამოყენებული იქნა რკინის <100 მკმ და ბორის ოქსიდები. რკინის და ბორის ფხვნილების შერევა ხდებოდა ლითონური ალუმინის ფხვნილთან. მიღებული ნარევის ეკზოთერმული რეაქციის აქტივაცია ხდება 800-850°C.

სინთეზის შედეგად მიღებული იქნა FeB-ის ლიგატურა, ბორის შემცველობით 5-10%, რის გამოც შემცირდა ბორის ათვისების ტემპერატურა 1400-1430°-მდე. თმს-პროცესის ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია სურათზე 3.



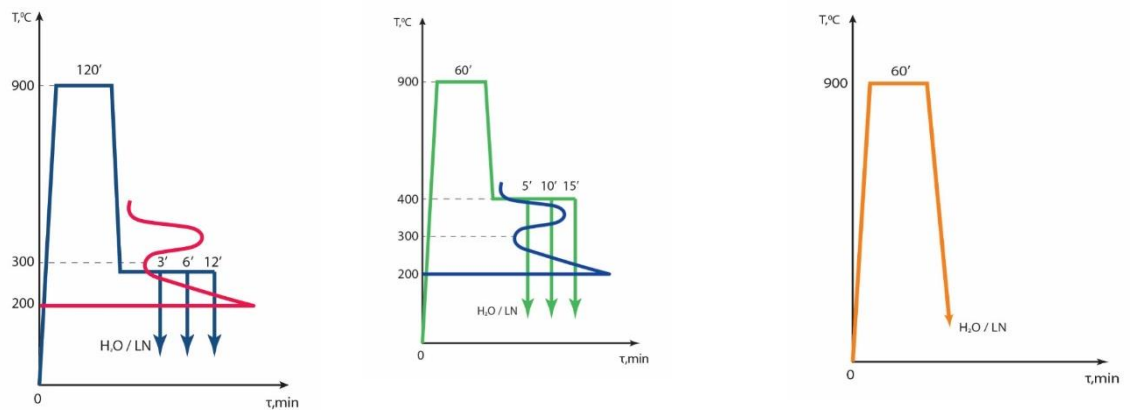
სურათი 3. თმს-პროცესის ტექნოლოგიური სქემა

შემუშავებულია ფოლადის წარმოების ნარჩენებისაგან 5-10% B-ის შემცველი ლიგატურის მიღების ტექნოლოგია თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული

სინთეზის გამოყენებით, რაც მიკროლეგიების ტემპერატურის 1420°C-მდე შემცირების საშუალებას იძლევა.

შესწავლილი იქნა მიღებული მასალის კრიოგენული და თერმული დამუშავების თანმიმდევრობისა და პარამეტრების კომბინირების ზეგავლენა ლითონურ ფუძეში სხვადასხვა მულტიფაზური სტრუქტურების ფორმირების თავისებურებებზე.

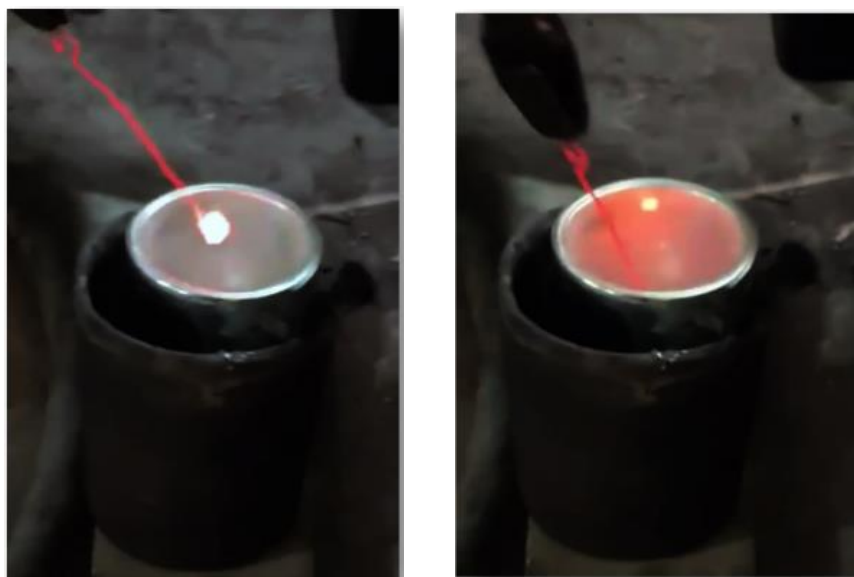
ფრიკციულ თუჯებში მულტიფაზური სტრუქტურების მისაღებად გამოყენებული იყო კრიოგენული და თერმული დამუშავების სხვადასხვა თანმიმდევრობა, რომელთა ტექნოლოგიური რეჟიმები წარმოდგენილია სურათზე 4.



სურათი 4. მაღალმტკიცე თუჯების თერმული დამუშავების რეჟიმები

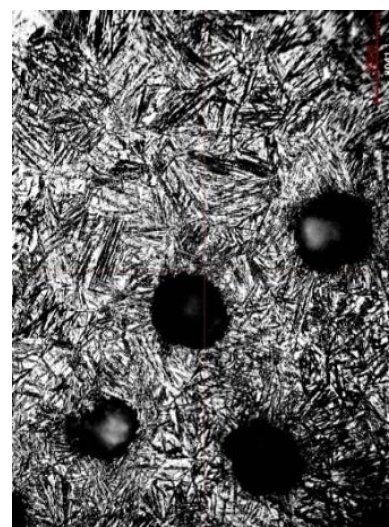
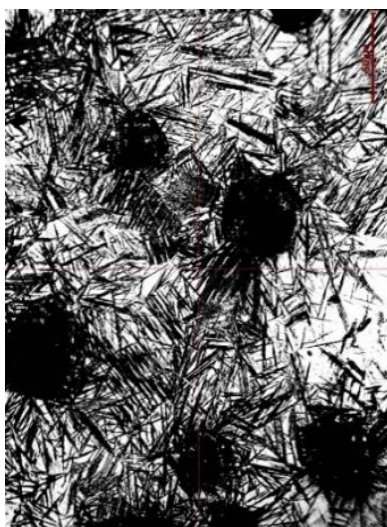
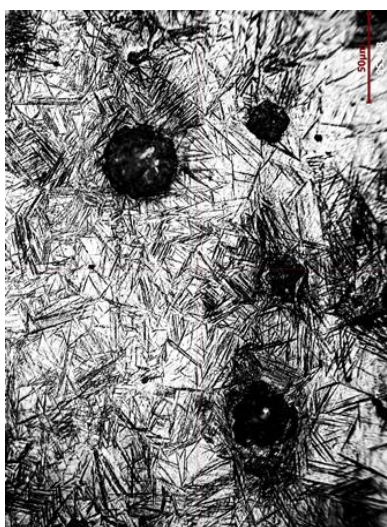
ექსპერიმენტული ნიმუშების წრთობა ხორციელდებოდა მინერალურ ზეთში, წყალში და თხევად აზოტში (სურათი 5).





სურათი 5. ექსპერიმენტული თუჯების ღრმა კრიოგენული დამუშავება

წარმოდგენილი რეჟიმებით მიღებული მულტიფაზური სტრუქტურების მეტალოგრაფიული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია სურათზე 6.



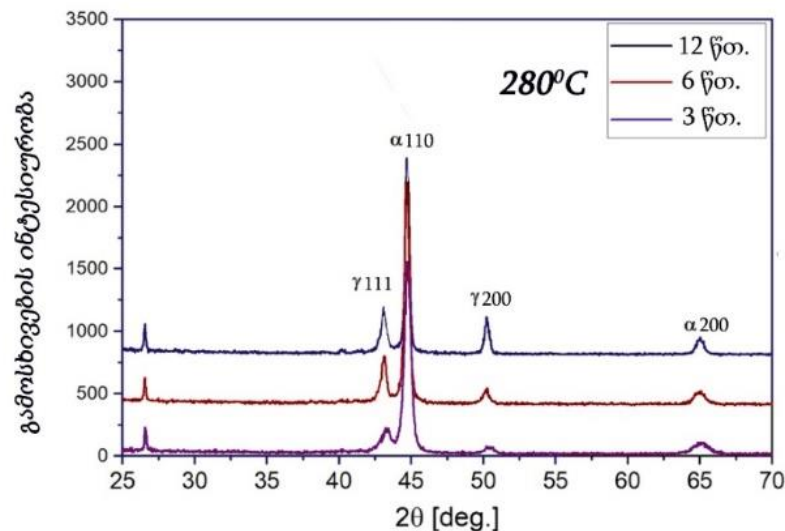
ა

ბ

გ

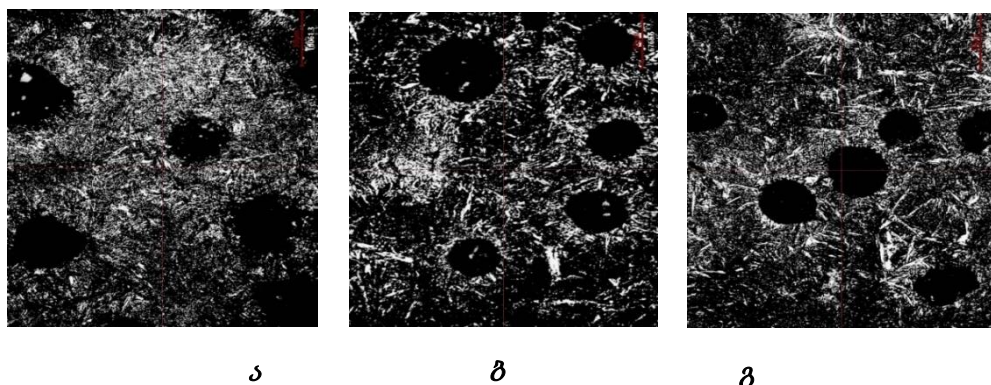
სურათი 6. 280°C-ზე სხვადასხვა დაცოვნების შემდეგ წყალში ნაწრთობი ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების მიკროსტრუქტურა:

ა- 3წთ; ბ- 6წთ; გ- 12წთ



სურათი 7. 280°C -ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბეინიტო-მარტენსიტული ექსპერიმენტული თუჯების X-RAY დიფრაქტოგრამები

მეტალოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული მონაცემების თანახმად, 280°C-ზე იზოთერმული წრთობის ხანგრძლივობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თუჯის ლითონურ ფუძეში ნარჩენი აუსტენიტისა და მარტენსიტის რაოდენობაზე. იზოთერმული წრთობის ხანგრძლივობის გაზრდა იწვევს ქვედა ბეინიტური ფაზის მატებას და შესაბამისად წყალში წრთობის შედეგად მარტენსიტული კრისტალების შემცირებას. ბეინიტური გარდაქმნის მიზანმიმართული შეწყვეტა და შემდგომში აუსტენიტის მარტენსიტული მექანიზმით დაშლა ~2.5-ჯერ ამცირებს სტრუქტურაში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობას, რომელიც შეადგენს ~15%-ს.

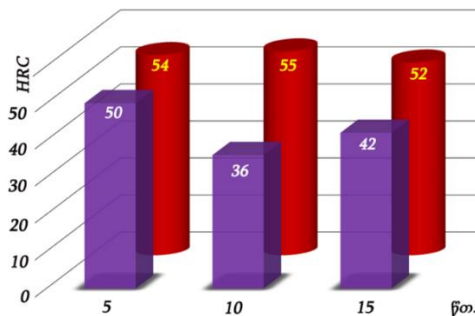


სურათი 8. 280°C-ზე სხვადასხვა დაცოვნების შემდეგ თხევად აზოტში ნაწრთობი ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების მიკროსტრუქტურა:

ა- 3წთ; ბ- 6წთ; გ -12წთ

კონტროლირებადი ბეინიტური გარდაქმნის შემდგომ ექსპერიმენტული თუჯების კრიოდამუშავება თხევად აზოტში იწვევს ნარჩენი აუსტენიტის უფრო სრულ დაშლას. ღრმა კრიოგენული დამუშავების შემდეგ თუჯების სტრუქტურაში ფიქსირდება 5-11%-მდე ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა და მისი მოცულობა დამოკიდებულია წინამორბედი ბეინიტური გარდაქმნის ხანგრძლივობაზე. კრიოგენული დამუშავება უმეტესწილად იწვევს მასალის ლითონურ ფუძეში თხელფირფიტოვანი მარტენსიტის ფორმირებას.

სტრუქტურაში მარტენსიტული ფაზის რაოდენობისა და მორფოლოგიის ცვლილების და ნარჩენი აუსტენიტის მოცულობითი წილის შემცირების შედეგად ლითონური ფუძის სისაღე მატულობს HRC $\approx 3-4$ ერთეულით და იგი შეადგეს 47-52 HRC (სურ. 9).

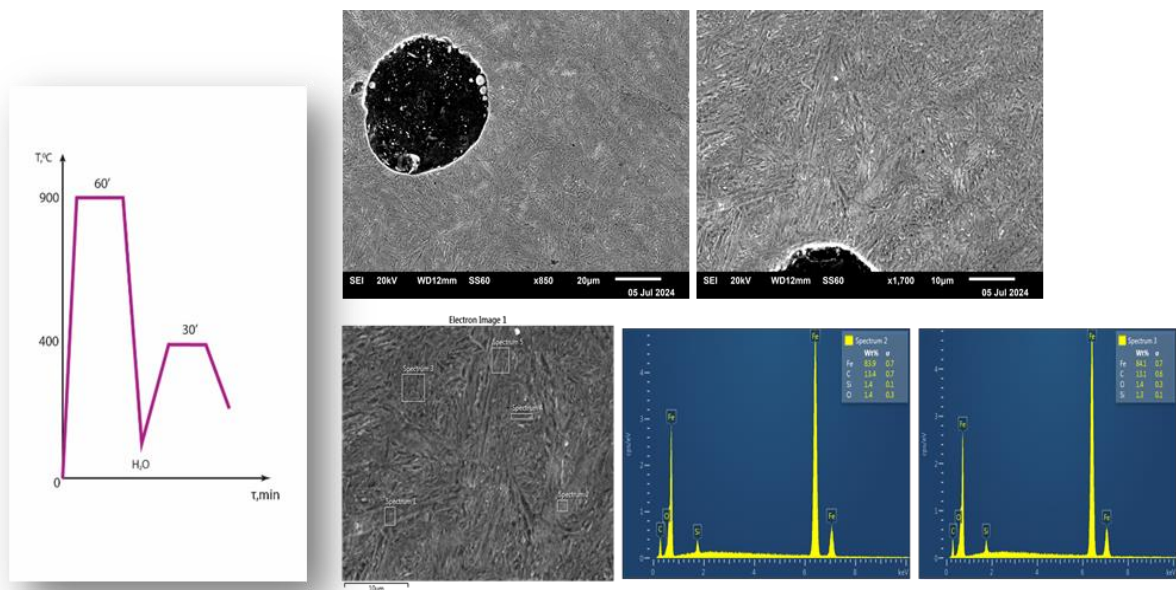


სურათი 9. 400°C-ზე იზოთერმული წრთობის ხანგრძლივობის გავლენა კრიოგენულად გამტკიცებული თუჯების სისაღეზე:

- წყალში ნაწრთობი;
- თხევად აზოტში

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ კრიოგენული დამუშავება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ზედა ბეინიტური სტრუქტურის მქონე თუჯების სისაღეზე, თუმცა ამ ტიპის სტრუქტურებში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა აღემატება ქვედა ბეინიტური სტრუქტურების მქონე შესაბამის მაჩვენებელს.

აგრეთვე აპრობირებული იქნა თერმული დამუშავების რეჟიმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სტრუქტურის ფორმირების საწყის ეტაპზე მარტენსიტული ფაზის წარმოქმნას და შემდგომში ნარჩენი აუსტენიტის დაშლას ბეინიტური მექანიზმით. კომბინირებული დამუშავების ერთ-ერთი რეჟიმი და მიღებული შესაბამისი სტრუქტურები წარმოდგენილია სურათზე 10.



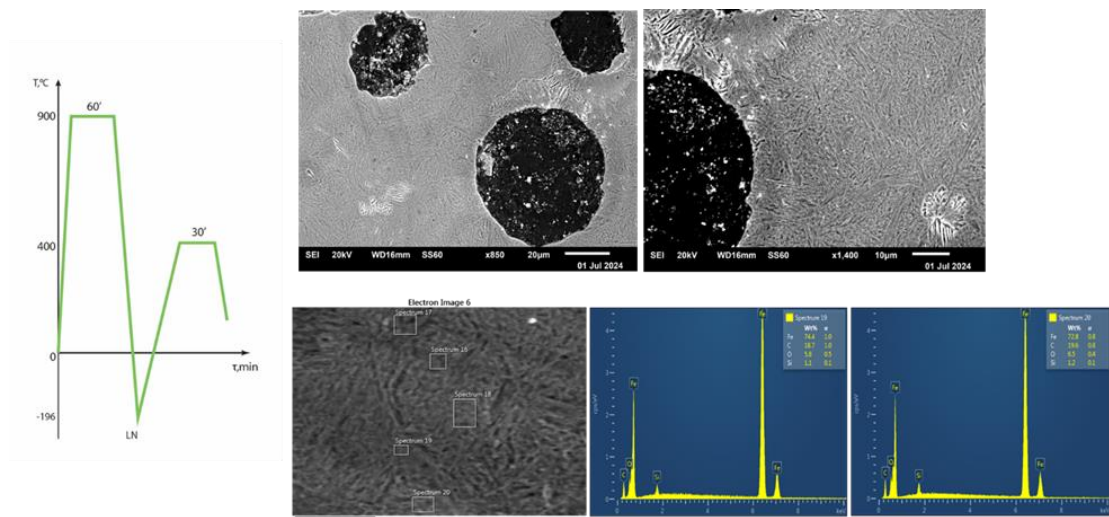
სურათი 10. თუჯების თერმული დამუშავების რეჟიმი

SEM ანალიზით დადგინდა, რომ აღნიშნული რეჟიმით მიღებული ლითონური ფუძის სტრუქტურა ხასიათდება მაღალი ერთგვარევნებით, მათში არ შეინიშნება ბლოკისებრი ნარჩენი აუსტენიტი. ამასთან, ღრმა კრიოგენული დამუშავება უზრუნველყოფს ნარჩენი აუსტენიტის უფრო სრულ დაშლას (სურ. 12).

სურათ 11-ზე წარმოდგენილია მაღალმტკიცე თუჯის SEM გამოსახულება, რომლებიც მიღებული იქნა ექსპერიმენტული ნიმუშების წყალში წრთობით და 200°C-ზე 3 წმ-იანი დაყოვნების შემდეგ მათი ღრმა კრიოგენული დამუშავებით თხევად აზოტში.

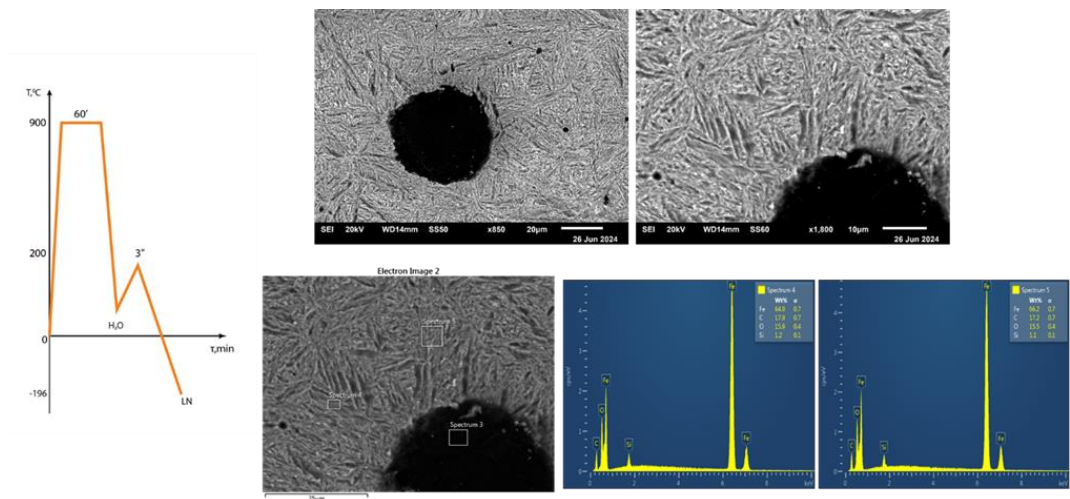
აღნიშნული რეჟიმი აგრეთვე უზრუნველყოფს ლითონური ფუძის ერთგვაროვნებას. მულტიფაზური სტრუქტურის ფორმირების პირველ ეტაპზე წარმოქმნილი საწყისი მარტენსიტი ქმნის დამატებით ფაზათაშორის საზღვრებს, რომლებიც წარმოადგენენ ბეინიტური კრისტალების ჩასახვისა და ზრდის დამატებით ცენტრებს და ხელს უწყობენ ნარჩენი აუსტენიტის დაშლას ძვრის და დიფუზიური მექანიზმით. მეტალოგრაფიული ანალიზის თანახმად, ბეინიტური ფაზის ფორმირება იწყება მარტენსიტ-აუსტენიტის საზღვრებზე და მიმდინარეობს ჰაერის გარემოშიც, რაც გამორიცხავს აღნიშნული ფაზის მისაღებად აუცილებელი თხევადი აბაზანების გამოყენების აუცილებლობას. სტრუქტურაში გამოყოფილი პირველადი მარტენსიტის რაოდენობა განისაზღვრება მაღალმტკიცე თუჯების

გაციების სიჩქარით და მისი რაოდენობა ვარირებს 35-70%-მდე. აღსანიშნავია, რომ მაღალნახშირბადიანი (1.2-1.35%C) აუსტენიტიდან ძირითადად წარმოიქმნება ლინზისებრი მარტენსიტი. გამომდინარე აქედან, პირდაპირი და იზოთერმული წრთობის პროცესების კომბინირება უზრუნველყოფს ლითონურ ფუძეში ბეინიტური ფაზის ფორმირებას ძვირადღირებული დანადგარების გამოყენების გარეშე, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს საწარმოო ხარჯებს. კერძოდ, საწარმოო დანადგარების ღირებულება მცირდება საშუალოდ 16500-40000 ლარით, ხოლო თხევადი აბაზანების გამოყენების გამორიცხვა უზრუნველყოფს საწარმოო დანახარჯების დამატებით შემცირებას 65000-98000 ლარით, რაც საერთო ჯამში ამცირებს 1ტ. სხმულის თვითღირებულებას 2000-2200 ლარით.



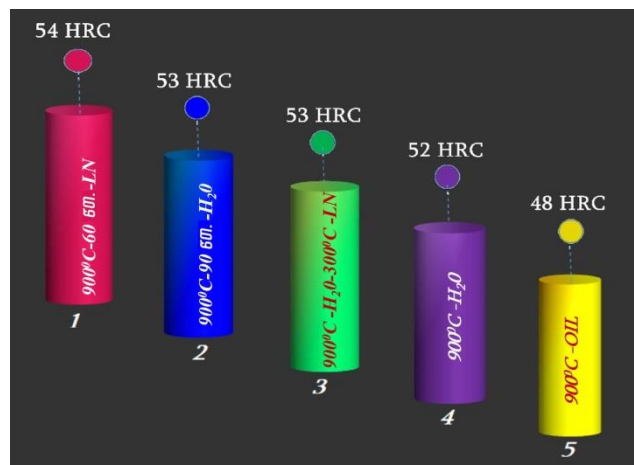
სურათი 11. მარტენსიტულ-ბეინიტური თუჯების თერმული დამუშავების რეჟიმი

ნიმუშების სხვადასხვა გაციების სიჩქარის უზრუნველსაყოფად წრთობის პროცესი ხორციელდებოდა ზეთში, წყალში და თხევად აზოტში, რის შედეგადაც იცვლებოდა ექსპერიმენტული თუჯების სისაღე. დადგენილია, რომ კრიო-დამუშავება უზრუნველყოფს აღნიშნული პარამეტრის მატებას 5-6 HRC ერთეულით (სურ. 12).



სურათი 12. თუჯების თერმული დამუშავების რეჟიმი

ეს განპირობებულია ლითონური ფუძის დისპერსულობითა და სტრუქტურული მდგენელების ორიენტაციით.



სურათი 13. სხვადასხვა რეჟიმით ნაწრთობი ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების სისალის მაჩვენებლები

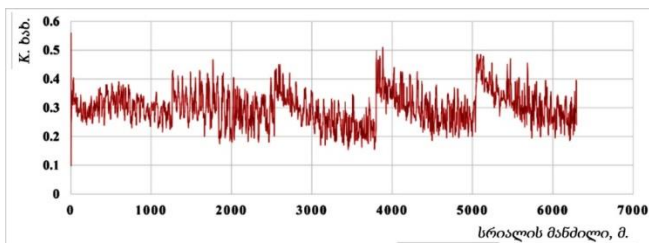
ექსპერიმენტების მსვლელობისას შესწავლილი იქნა მიღებული თუჯების ფრიქციული მახასიათებლები. კერძოდ, ფიქსირდებოდა მათი ხახუნის კოეფიციენტის ცვლილების კინეტიკა და ცვეთამედეგობა სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში 20 N კონტაქტური დატვირთვით.

ტრიბოსისტემას წარმოადგენდა უძრავი ხუნდი (ბეინიტურ-მარტენსიტული თუჯები) და მბრუნავი დისკი (კონტრსხეული). მოხახუნე სისტემის სქემატური მოდელი წარმოდგენილია სურათ 14-ზე.

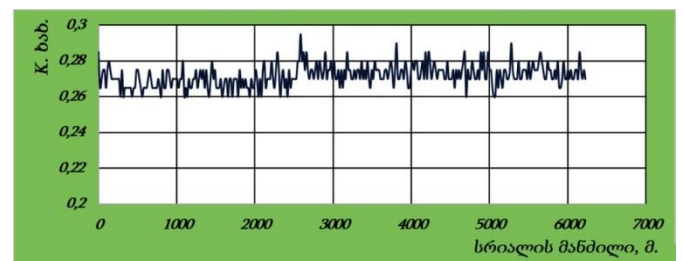


სურათი 14. ექსპერიმენტული თუჯების ფრიქციული გამოცდების გამოსახულება

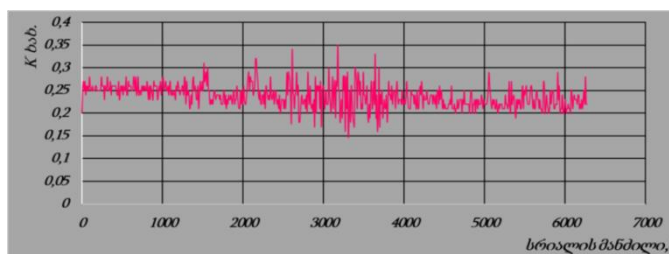
მიღებული შედეგების თანახმად, მულტიფაზური სტრუქტურის მქონე მაღალმტკიცე თუჯები, ბეინიტურ ლითონურ ფუძესთან შედარებით, ხასიათდებიან შედარებით სტაბილური ხახუნის კოეფიციენტით. ამასთან, მარტენსიტული მდგენელის რაოდენობის გაზრდა იწვევდა ხახუნის კოეფიციენტის უმნიშვნელო შემცირებას და იგი მერყეობდა 0.2-0.28-მდე (სურათი 15).



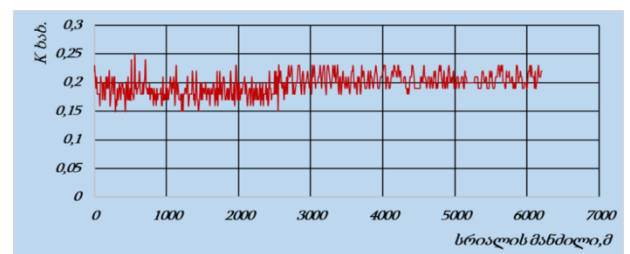
ა



ბ



გ



დ

სურათი 15. მაღალმტკიცე თუჯების ხახუნის კოეფიციენტის ევოლუცია:

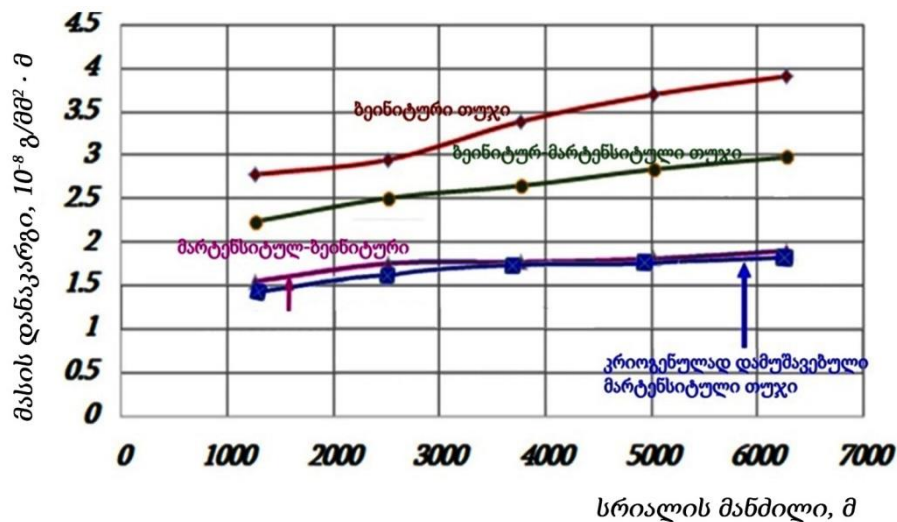
ა- ბეინიტური თუჯი; ბ- ბეინიტურ-მარტენსიტული თუჯი; გ- მარტენსიტულ-ბეინიტური თუჯი;
დ- კრიოგენულად დამუშავებული

ამასთან, მიღებული მულტიფაზური სტრუქტურის მქონე ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების ცვეთამედეგობა მნიშვნელოვნად აღემატება ბეინიტური თუჯების შესაბამის მაჩვენებელს (სურათი 16).

მაგალითად, ბეინიტურ-მარტენსიტული თუჯების ცვეთამედეგობა 1.3-ჯერ, ხოლო მარტენსიტულ-ბეინიტურის - 2-ჯერ მეტია ბეინიტური სტრუქტურის მქონე ნიმუშებთან შედარებით.

როგორც სურათი 17-დან ჩანს, ყველაზე მაღალი მედეგობით ფრიქციული რღვევის მიმართ ხასიათდებიან მარტენსიტული კლასის თუჯები, რომელთა წრთობა განხორციელდა 900°C -დან თხევად აზოტში სწრაფი გაციებით.

სავარაუდოდ, ეს აიხსნება, მასალის ლითონურ ფუძეში გრაფიტული ჩანართების ირგვლივ ულტრადისპერსული მარტენსიტული ფაზის ფორმირებით და მარტენსიტულ კრისტალებს შორის ფირისებრი ნარჩენი აუსტენიტის შრეების განლაგებით.



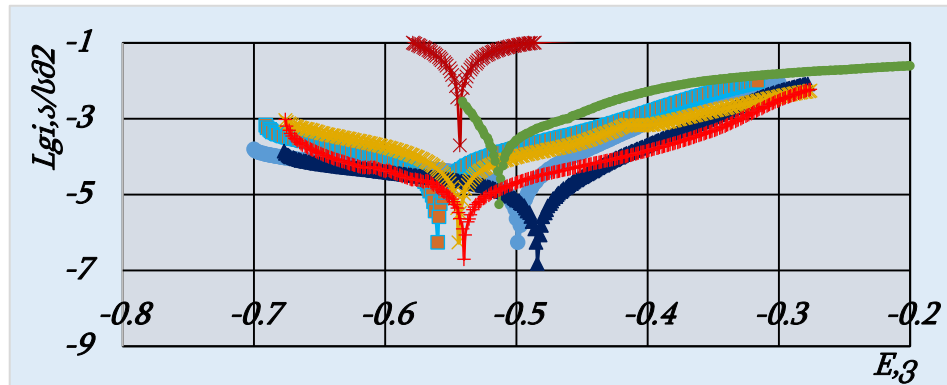
სურათი 17. სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ექსპერიმენტული თუჯების ცვეთამედეგობა

ბორით მიკროლეგირებული თუჯების საუკეთესო ფრიქციული მახასიათებლები სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში მიიღწევა ლითონურ ფუძეში 35-40%-მდე პირველადი მარტენსიტის შემცველობით.

განისაზღვრა სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ექსპერიმენტული ბეინიტურ-მარტენსიტული თუჯების კოროზიული რღვევისადმი მედეგობა ტაფელის მრუდების გამოყენებით. ანოდური და კათოდური უბნების ექსტრაპოლარიზაციით დადგინდა $E_{\text{კორ}}$. და სპეციალური მათემატიკური ფორმულის გამოყე-

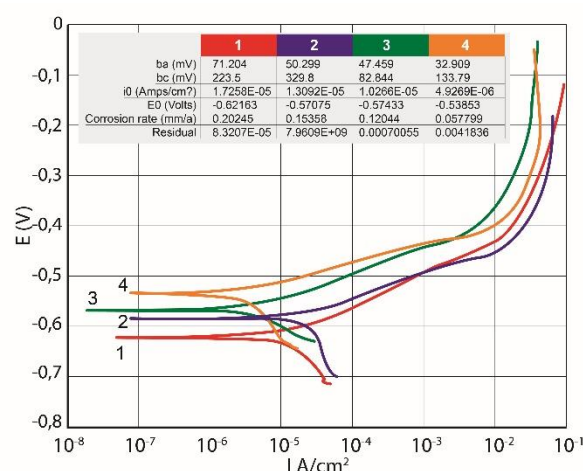
ნებით გაანგარიშებულ იქნა თუჯების კოროზიის სიჩქარეები.

კვლევის შედეგად დადგენილი იქნა, რომ ყველაზე დაბალი კოროზიის სიჩქარით (სურათი 18) ხასიათდებიან თხევად აზოტში ნაწრთობი ქვედა ბეინიტური სტრუქტურისა და 10%-მდე ნარჩენი აუსტენიტის მქონე ნიმუშები.



სურათი 18. სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ბეინიტურ-მარტენსიტული თუჯების ტაფელის მრუდები

სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე მარტენსიტურ-ბეინიტური კლასის თუჯების კოროზიული რღვევის თავისებურებების დადგენის მიზნით ჩატარებული იქნა ელექტროქიმიური კვლევები, სადაც ფიქსირდებოდა კოროზიული დენის სიმკვრივის დამოკიდებულება კათოდურ პოტენციალზე. როგორც სურათი 19-დან ჩანს, ექსპერიმენტული თუჯები ხასიათდებიან რთული კოროზიული კინეტიკით.



სურათი 19. ექსპერიმენტული თუჯების პოლარიზაციული პოტენციოდინამიური მრუდები:

1- წრთობა ზეთში; 2- წრთობა წყალში; 3- კრიოგენულად დამუშავებული; 4 - კრიოგენული და თერმული დამუშავების კომბინირება

ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ყველაზე დადებითი კოროზიული პოტენციალით ხასიათდებიან კომბინირებული (კრიოგენული განმტკიცება და იზოთერმული წრთობა) რეჟიმით მიღებული მაღალმტკიცე თუჯები. ტაფელის მრუდებზე მკვეთრად გამოხატული პასივობის უბნები არ ფიქსირდება, რაც მიუთითებს ექსპერიმენტული მასალის კოროზიული პროცესების აქტივობაზე. პოლარიზაციული პოტენციალის გაზრდა -0.23 V იწვევს წვრილდისპერსული მარტენსიტული აღნაგობის მქონე თუჯებში კოროზიული დენის სიმკვრივის შემცირებას. ეს, ჩვენი აზრით, აიხსნება ელექტროდ/ელექტროლიტის საზღვარზე ფორმირებული რკინის ჟანგულების მყიფე ფენით, რომელიც აფერხებს იონების დიფიზიას და შესაბამისად ნელდება კოროზიული რღვევის პროცესიც. აღსანიშნავია, რომ ულტრადისპერსული სტრუქტურის მქონე ექსპერიმენტული თუჯები ხასიათდებიან მოჩვენებითი პასივობის უბნებით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. დადგენილია, რომ ბლოკური ნარჩენი აუსტენიტის მქონე თუჯების ჟანგვითი პროცესები სტაბილურად მიმდინარეობს და ინტენსიურად. კრიოგენული დამუშავების, იზოთერმული და პირდაპირი წრთობის პროცესების კომბინირება იწვევს დაბალი კოროზიული შეღწევადობის ახალი ფაზათაშორისი საზღვრების წარმოქმნას.

დასკვნა

წარმოდგენილ ნაშრომში შესწავლილია თერმული და კრიოგენული დამუშავების კომბინირების გავლენა მარტენსიტული კლასის თუჯებში სტრუქტურწარმოქმნის პროცესის თავისებურებებზე.

გამოკვლეული იქნა მაღალმტკიცე თუჯების ფრიქციული ზედაპირების რღვევის და კოროზიული პროცესების კინეტიკა და თავისებურებანი სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში.

- ✓ დადგენილია, რომ Mg - შემცველ გამჭოლ ფოროვან კომპოზიტში შემავალ კომპონენტად 1-3% LDPE-ს გამოყენება უზრუნველყოფს თხევადი თუჯის მოდიფიცირების ხანგრძლივობის შემცირებას 20-22%-ით.
- ✓ შემუშავებულია ფოლადის წარმოების ნარჩენებისაგან 5-10% B-ის შემცველი ლიგატურის მიღების ტექნოლოგია თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის გამოყენებით, რაც მიკროლეგიერების ტემპერატურის 1420°C-მდე შემცირების საშუალებას იძლევა.
- ✓ დადგენილია, რომ კრიოგენული და თერმული დამუშავების კომბინირება უზრუნველყოფს მაღალი დისიპაციური უნარის მქონე ახალი ტიპის მულტიფაზური სტრუქტურების ფორმირებას.
- ✓ დადგენილია, რომ ბორით მიკროლეგიერებული თუჯების საუკეთესო ფრიქციული მახასიათებლები სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში მიიღწევა ლითონურ ფუძეში 35-40%-მდე პირველადი მარტენსიტის შემცველობის დროს.
- ✓ დადგენილია, რომ ბეინიტური სტრუქტურის მქონე თუჯებთან შედარებით მარტენსიტულ-ბეინიტური კლასის შენადნობები გამოირჩევა ხახუნის კოეფიციენტის სტაბილურობით და მათი ცვეთამედეგობა იზრდება 1.5-2-ჯერ.
- ✓ დადგენილია, რომ მაღალმტკიცე თუჯების პირდაპირი წრთობა 240-260°C-ზე აჩქარებს შემდგომში ნარჩენი აუსტენიტის დაშლის კინეტიკას ბეინიტური მექანიზმით, ძვირადღირებული თხევადი აბაზანების გამოყენების

გარეშე, რაც 15-20%-ით ზრდის ტექნოლოგიური პროცესის ენერგოეფექტურობას.

- ✓ დადგენილია, რომ მაღალმტკიცე ბეინიტური თუჯების კრიოგენული და იზოთერმული წრთობის მეთოდების კომბინირება უზრუნველყოფს სტრუქტურული კომპონენტების მართვას ფართო დიაპაზონში და მათი სისალის ცვლილებას 32-57HRC ერთეულამდე.
- ✓ დადგენილია, რომ აუსტენიტიზაციის ხანგრძლივობა და შენადნობის გაციების სიჩქარე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წრთობის შედეგად ფორმირებული მარტენსიტის მოცულობაზე და მის მორფოლოგიურ მახასიათებლებზე.
- ✓ დადგენილია, რომ ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების ღრმა კრიოგენული დამუშავება იწვევს წვრილდისპერსული მარტენსიტის ფორმირებას და აფერხებს ბლოკური ნარჩენი აუსტენიტის წარმოქმნას, რაც განაპირობებს მათ მედეგობას ციკლური გარეგანი დაღლილობითი რღვევის მიმართ.
- ✓ დამტკიცებულია, რომ ნაწრთობის მაღალმტკიცე თუჯების კრიოგენული და იზოთერმული დამუშავება უზრუნველყოფს მასალის ცვეთა- და კოროზია-მედეგობის მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას.
- ✓ დადგენილია რომ მაღალმტკიცე თუჯების პირდაპირი წრთობა აჩქარებს შემდგომში ნარჩენი აუსტენიტის დაშლას ბეინიტური მექანიზმით ძვირადღირებული თხევადი აბაზანების გამოყენების გარეშე, რაც 15-20%-ით ზრდის ტექნოლოგიური პროცესის ენერგოეფექტურობას, გამორიცხავს ძვირადღირებული დანადგარების გამოყენების აუცილებლობას და უზრუნველყოფს 1ტ. პროდუქტის თვითღირებულების 2000-2200 ლარით შემცირებას.

1. S. Gvazava, N. Khidasheli, Z. Rusishvili, M. Chikhradze, T. Badzoshvili, G. Zakharov, R. Tabidze. High-strength cast irons with micro-additives of boron - an innovative structural material for automotive components. Journal of the georgian ceramists' association journal of the georgian ceramists' association. (ISSN 2960-9534. UDC 669.01).Ceramics - Vol. 25. 2(50).2023. pp.20-32;
https://ceramics.gtu.ge/wp-content/uploads/2024/06/ceramics-Vol-25.2_50_2023_7.pdf
2. N. Khidasheli, E. Kutelia, S. Gvazava, M. Chikhradze, Andre.D.L Batako. Cryogen and heat treatments of boron-lacquered high-strength cast iron. Materials Today Proceedings, Vol. 112.2024, ISSN 2214-7853; 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.250>,
3. Khidasheli, N., Gordeziani, G., Gvazava, S., Tavadze, G., Tabidze, R., Batako, A.D.L. Influence of Structural Parameters on the Wear Resistance of ADI During Dry Sliding Friction. Advances in Manufacturing Processes, Intelligent Methods and Systems in Production Engineering, LNNS, Vol. 335 , Firs Online 20 april 2022. PP.109-111; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-90532-3_9,
4. Nugzar Khidasheli, Salome Gvazava, Garegin Zakharov, Mikheil Chikhradze, Andre Danonu Lignamnateh Batako, Juan Ignacio Ahuir-Torres, Ashwath Pazhani, Micheal Anthony Xavier. Effect of Heat Treatments on the Microstructure, Corrosion Resistance and Wear Behaviour of Bainitic/Martensitic Ductile Iron Under Dry Sliding Friction, Journal of Manufacturing and Materials Processing, Volume 9, Pages 145, Publisher MDPI. J. Manuf. Mater. Process. , 9(5), 145; 2025;
<https://doi.org/10.3390/jmmp9050145>.
5. S.Gvazava, N.Khidasheli, T.Badzoshvili, M.Chikhradze, G.Zakharov. Influence of structural factors on the frictional characteristics of bainitic cast irons, "Ceramics". Journal of the Georgian ceramists' association Vol.24.2(48).2022. PP.13-14;
<https://ceramics.gtu.ge/wp-content/uploads/2024/06/CERAMICS-24.-248.2022.pdf>
6. S. Gvazava. Investigation of the effectiveness of permeable porous composites for spheroidization of graphite inclusions and desulfurization of liquid cast iron, international journal of ceramics, composites, science and advanced technologies, ISSN 2960-9534, Vol. 26. 2(52). Issn 2960-9534, 2024. PP.29-37;
<https://doi.org/10.36073/2960-9534>.
7. Garegin Zakharov; Mikheil Chikhradze; Nugzar Khidasheli; Salome Gvazava; Zurab Aslamazashvili. Investigation of heat treatment effect on microstructure and properties of iron-carbon alloys obtained using fe-mn-b-shs complex ligature, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, ISSN: 1314-2704, Vol: 24, Issue: 6.2, Page: 17-27, 2024.
https://www.epslibrary.at/sgem_jresearch_publication_view.php?page=view&editid1=10155

8. Garegin Zakharov, Mikheil Chikhradze, Davit Kvashvadze, Nugzar Khidasheli, Levan Chkhartishvili, George Mikaberidze, Salome Gvazava. Peculiarities of Obtaining Complex Fe-Mn-B Ligatures by SHS-metallurgy Technology Using Production Wastes, Journal ARPHA Proceedings, Vol. 7, Pages 53-58. Proceedings CAUSummit 2024, 0053-0058 doi: 10.3897/ap.7.e0053, <https://ap.pensoft.net/article/32890/>

პატენტი

გამცემი ორგანიზაცია: საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების
ეროვნული ცენტრი "საქპატენტი";

დასახელება: კაზმი კომპლექსური ლიგატურის მისაღებად;

სარეგისტრაციო ნომერი: AP 2024 16496;

გაცემის წელი: 2025.

Abstract

One of the most urgent tasks of modern engineering and materials science today is the development of high-functional alloys and their production technologies. This issue can be solved at the expense of minimizing the intensity of wear of friction nodes and improving resistance to corrosive breakdown.

The functional indicators of the alloy depend significantly on their structural indicators and a way to improve the above-mentioned parameters is the purposeful optimization of the dispersion, orientation and number of structural components, reduce the losses caused by wear by ≈ 2 times.

It is known that the multiphase structure of the metal base provides a complex set of iron-carbon alloys high mechanical and operational properties.

Multiphase structure advantages are achieved by controlled selection of type of structural constituents in alloys and the sequence of their formation, by regulating the ratio of phase components and managing their spatial arrangement.

Obtaining of multiphase structures in alloys, is available by combining of cryogenic, direct and isothermal hardening processes. It should also be noted that the structure-phase changes caused by cryogenic treatment have a positive effect on the tribotechnical and corrosion characteristics of iron-carbon alloys.

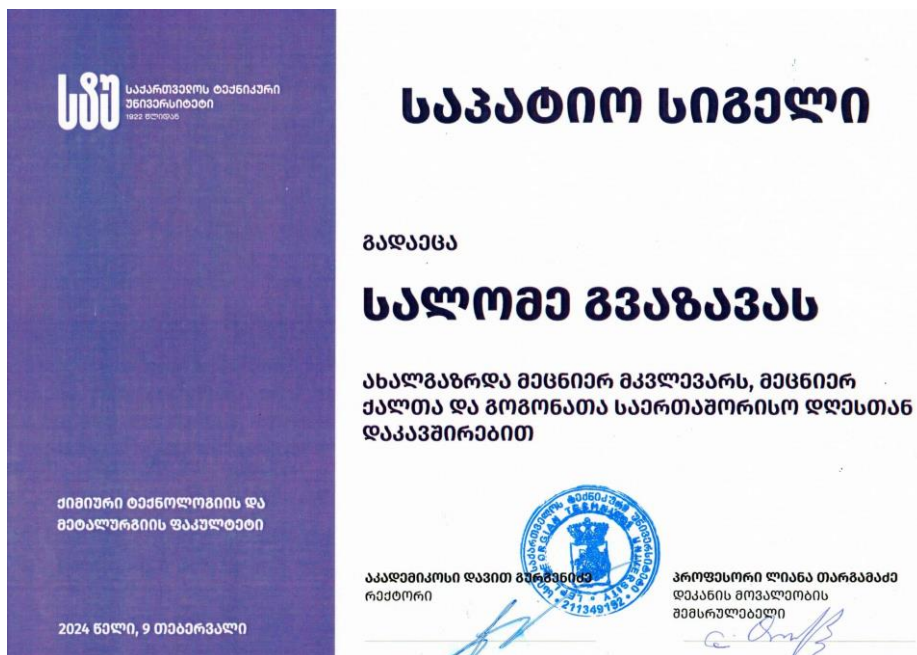
It should be noted that the martensitic transformation is associated with the risks of initiation and propagation of microcracks. For high-strength cast iron, cryogenic and direct hardening methods can only be used using special methods of liquid metal modification, since they belong to the group of high-carbon brittle materials, are characterized by low crack resistance, and their grain boundaries are saturated with harmful chemical compounds.

It has been prescribed that alloy treatment with magnesium vapor and boron micro-additions ensures the improvement of high-strength cast irons mechanical and operational properties by isothermal hardening, and they can be strengthened by hot plastic deformation methods.

The aim of the doctoral thesis was to improve the friction and corrosive properties of high-strength cast iron microlegged with multiphase structure. For the realization of the tasks set, a new innovative technology for refining and modifying Mg steam-liquid cast iron was developed, the peculiarity of which is the use of a penetrating porous Composite containing 1-3% LDPE. This ensures a high degree of assimilation of magnesium by liquid metal (95-98%) and a 20-22% reduction in the technological process. In order to reduce the microlegging temperature of the slurry to 1420-1430°C, a ligature containing up to 5-10% B was obtained from steel production waste using self-propagating high-temperature synthesis (SHS) method. For the purpose of targeted structuring of high-strength Thuja, cryogenic strengthening and various thermal processing methods were first used. The influence of combined multi-stage thermal and deep cryogenic processing on the peculiarities of the structure formation of high-strength cast iron, their thermal-physical, wear and corrosion characteristics has been experimentally studied. The sequence of formation of Phase components (bainite and martensite) in boron microlegged high-strength Thuja with multiphase structure significantly affects their mechanical, tribotechnical and corrosive characteristics. It was established that cooling of Thuja after isothermal tempering with controlled duration in liquid nitrogen or water ensures the volume of the formed martensitic phase and its morphological characteristics. Deep cryogenic treatment of high-strength Thuja microlegged with boron leads to the formation of fine-grained martensite and inhibits the formation of block residual austenite. The combination of direct tempering and deep cryogenic processing processes ensures improvement of frictional characteristics of martensitic Thuja, which is caused by

homogenization and stabilization of the structure. The best friction characteristics of boron microalloyed cast iron are achieved by sliding under dry friction conditions with up to 35-40% primary martensite content in the metal base. Compared to samples with bainitic structure, the wear resistance of bainitic-martensitic alloys is 1.3 times higher, and martensitic-bainitic is 2 times higher.

აქტივობის დამადასტურებელი დოკუმენტური მასალა
წარმოდგენილია დანართის სახით







INTERNATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, TECHNOLOGY,
ENGINEERING AND MANAGEMENT

International Conference on
Recent Advances in Engineering and Technology

Certificate

This is to certify that *Salome Gvazava* has presented a paper
entitled "*Complex Ligatures Obtained by Shs-metallurgy for
Iron-carbon Alloys*" at the International Conference on
Recent Advances in Engineering and Technology (ICRAET)
held in Krabi, Thailand on 05th - 06th December, 2023.



IA-ICRAETKRABI-051023-001A

Paper ID


Conference Co-ordinator
International Academy of Science,
Technology, Engineering and Management

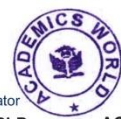


Chairman
International Academy of Science,
Technology, Engineering and Management

ACADEMICSWORLD**International Conference on
Mining, Material, and Metallurgical Engineering (ICMMME)****Organized by:** Academics World | Kyoto, Japan , 27th - 28th April, 2025

Certificate

This is to certify that *Salome Gvazava* has presented a paper entitled "*Investigation Into The Effect of Process Parameters on Structural Characteristics and Functional Properties of Ductile Martensitic Irons*" at the International Conference on Mining, Material, and Metallurgical Engineering (ICMMME) held in Kyoto, Japan during 27th-28th April, 2025.

info@academicsworld.org
www.academicsworld.org
Conference Coordinator
ACADEMICS WORLD
Managing Director
ACADEMICS WORLDJournal of
**Manufacturing and
Materials Processing**
an Open Access Journal by MDPI

CERTIFICATE OF PUBLICATION



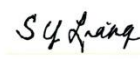
The certificate of publication for the article titled:
Effect of Heat Treatments on the Microstructure, Corrosion Resistance and Wear Behaviour of
Bainitic/Martensitic Ductile Iron Under Dry Sliding Friction

Authored by:
Nugzar Khidasheli; Salome Gvazava; Garegin Zakharov; Mikheil Chikhradze; Andre Danonu Lignamnatheh
Batako; Juan Ignacio Ahuir-Torres;
Ashwath Pazhani; Micheal Anthony Xavier

Published in:
J. Manuf. Mater. Process. 2025, Volume 9, Issue 5, 145



Basel, April 2025


Prof. Dr. Steven Y. Liang
Editor-in-Chief

ScienceFather

[HOME](#)[NOMINATE NOW](#)[REGISTRATION](#)[PROGRAM](#) ▾[CONFERENCE](#)[ABOUT](#) ▾[FEATURED](#) ▾[HELP](#) English

International Research Awards on New Science Inventions | Award Winners

Award Winners

Entry ID:

25635

Search Entries:

Filter by date:

Start date

End date

 Download Winners E-Certificate

Page Size 20 ▾

 Title	 First Name	 Last Name	 Institution/Organization	 Country	 Domain	 Subdomain/Subject/Service Area	 Selected for
Ms	Salome	Gvazava	Georgian Technical University	Georgia	Materials Science	Effect of Heat Treatments on the Microstructure, Corrosion Resistance	Best Researcher Award
						of Bainitic/Martensitic Ductile Iron Under Dry Sliding Friction	

 Title	 First Name	 Last Name	 Institution/Organization	 Country	 Domain	 Subdomain/Subject/Service Area	 Selected for
Leave a message							

https://new-science-inventions.sciencefather.com/digital-health-awards-winners/?gv_id=25635&gv_search=&gv_start=&gv_end=&mode=any#gv-...

1/6

ScienceFather

HOME

SUBMIT ABSTRACT

REGISTRATION

PROGRAM ▾

AWARDS

ABOUT ▾

FEATURED ▾

HELP

 English

Salome Gvazava | Materials Science | Best Researcher Award

Posted on 02/05/2025 | by ScienceFather

Ms. Salome Gvazava | Materials Science | Best Researcher Award

78
/ 100**Georgian Technical University, Georgia**

Salome Gvazava is a Ph.D. student at Georgian Technical University specializing in **materials science**, with a strong background in chemical and biological engineering. She is actively involved in several research projects related to the development of advanced materials and thermochemical processes, including high-performance cast irons and the conversion of plastic waste into carbon black. Gvazava has contributed to numerous research articles and patents, reflecting her expertise in materials engineering, tribocorrosion, and high-temperature processing. She has worked as a senior engineer and researcher in various academic and research institutions, including the LEPL Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute. Additionally, she has presented at multiple international conferences and published in journals such as *Materials Today* and *Manufacturing and Materials Processing*. Her scientific contributions focus on enhancing the properties of alloys and optimizing industrial applications, positioning her as a promising candidate for the Best Researcher Award.

Professional Profile

- [Scopus Profile](#)
- [ORCID Profile](#)

[Leave a message](#)<https://new-science-inventions.sciencefather.com/salome-gvazava-materials-science-best-researcher-award-25635/>

1/5



LLC "POTI FOUNDRY"

MALTAKVA SANAPIRO №7, 4400 POTI, GEORGIA

15/05/2025

LLC "POTI FOUNDRY"



საწარმოო გამოცდის აქტი

შპს «ფოთი ფაუნდრი»-ს საწარმოო კომისია: ცვლის უფროსი - ზაურ გახოკია., ინჟინერ-ტექნოლოგი - ელენა ტიმოშკოვა, უფროსი მდნობელი - ჯანსუღ ლოლაია და დოქტორანტი - სალომე გვაზავა ვადასტურებთ, რომ საწარმოს პირობებში განხორციელდა "კრიოგენული და თერმული დამუშავების კომბინირებული ზეგავლენა თუჯებში მაღალფუნქციონალური მულტიფაზური ბენიტურ-მარტენსიტული სტრუქტურების ფორმირებაზე" - თემის ფარგლებში შემსავებული თხევადი თუჯის Mg - ის ორთქლით მოდიფიცირების ახალი ინოვაციური ტექნოლოგიის ტესტირება.

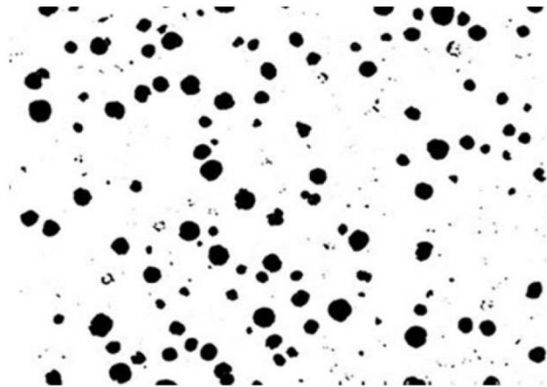
ამ მიზნით წინასწარ მომზადებული იქნა ორი სხვადასხვა შემადგენლობის მაგნიუმშემცველი გამჭოლი ფოროვანი კომპოზიტები, რომელთა შემადგენლობა მოყვანილია ცხრილ #1-ში.

დნობის ს #	კომპოზიტის შემადგენლობა, %				MgO-ს ნაწილაკების ზომა, მმ
	Mg	IIK-104	MgO	LDPE	
1	2	3	4	5	6
21	28	10	60	2	2.0
25	30	10	60	-	2.0

ცხრილის მონაცემების თანახმად, სალომე გვაზავას მიერ შემუშავებული კომპოზიტის შემადგენელ კომპონენტს წარმოადგენს Ø2 მმ. LDPE-ს გრანულები.

კომპოზიტების ორივე შემადგენლობის ეფექტურობის დასადგენად ინდუქციურ ღუმელში თანმიმდევრულად განხორციელდა 0.5ტ. თხევად თუჯის მოდიფიცირება 1350°C-ზე.

ცდების შედეგად დადგინდა, რომ ორივე შემადგენლობის კომპოზიტის გამოყენება უზრუნველყოფს თხევადი თუჯის მოდიფიცირებას პიროფექტის და ლითონის აღმოფხვრის გარეშე. ლითონის დამუშავების ხანგრძლივობა ახალი შემუშავებული კომპოზიტის გამოყენებით მცირდება 1.4-ჯერ (22%) და შენადნობში გოგორდის შემცველობა დაყვანილია 0.002%-ზე. ამავდროულად, მიიღწეულია გრაფიტული ჩანართების სრული სფეროიდიზაცია და მათი იზოლირებული ნაწილაკების თანაბარი განაწილება სურათი 1.



დასკვნის სახით, შემუსავებული ახალი LDPE-ს და Mg-შემცველი კომპოზიტი შეიძლება რეკომენდირებული იქნას თხევადი თუჯის მოდიფიცირების მიზნით საწარმოო პირობებში გამოსაყენებლად.

ცვლის უფროსი -

ინჟინერ-ტექნოლოგი -

უფროსი მდნობელი -

დოქტორანტი -

გ. გვაზავა
შ. გვაზავა
ჯ. გვაზავა
ს. გვაზავა

ზაურ გახოკია

ელენა ტიმოშკოვა

ჯანსუღ ლოლაია

სალომე გვაზავა