

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ხელნაწერის უფლებით

რევაზ ტაბიძე

**ახალი ეკონომიურად ლეგირებული მაღალმტკიცე ბინიტური
თუჯის მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება**

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა
შიფრი - 0412

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასათმცოდნეობისა და ლითონთა დამუშავების დეპარტამენტის სამსახელო წარმოებისა და ახალი ტექნოლოგიური პროცესების მიმართულებაზე და ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფ. ნ.ხიდაშელი
აკად. გ.თავაძე

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის და მასათმცოდნეობის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია ----- მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

თემის აქტუალობა

თანამედროვე ტექნიკა გამოყენებულ მასალებს უყენებს დიდ მოთხოვნებს. ისინი უნდა იყოს მრავალფუნქციონალურები და იაფი, ტექნოლოგიურები დამუშავებაში და ხანგძლივი ექსპლუატაციაში. დღეისათვის ვერც ერთი სამსხმელო საკონსტრუქციო მასალა ვერ შეედრება მაღალი სიმტკიცის სფერულგრაფიტთან თუჯს ტექნოლოგიური გამოყენების მრავალფეროვნებისა და მისგან დამზადებული დეტალების ეკონომიკური მახასიათებლების მიხედვით. ეს უნივერსალური საკონსტრუქციო მასალა ფლობს კარგ მექანიკურ მახასიათებლებს, რაც მას ხდის შეუცვლელს გარკვეულ პირობებში მომუშავე საპასუხისმგებლო დეტალების დამზადებისას. იზოთერმულად ნაწრთობი მაღალმტკიცე თუჯები წარმოადგენენ საკონსტრუქციო მასალების ახალ კლასს. დღეისათვის მსოფლიოში ბენიტური თუჯების წარმოების მოცულობა არ აღემატება ათობით მილიონ ტონას. აღნიშნული თუჯები ხასიათდებიან ყველაზე დაბალი კუთრი დანახარჯებით სიმტკიცეზე არსებულ ლითონურ საკონსტრუქციო მასალებს შორის. იზოთერმულად ნაწრთობი სფერულგრაფიტის თუჯები ხასიათდებიან ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებების უნიკალური შეხამებით, რაც მათ ხდის შეუცვლელს კბილანების, მუხლანა ლილვებისა და სხვა მძიმედ დატვირთული და საპასუხისმგებლო დეტალების წარმოებისთვის. აღნიშნული მასალა გამოიყენება მანქანათმშენებლობის პრაქტიკულად ყველა დარგში. ბენიტური თუჯისგან დამზადებული დეტალები გამოირჩევა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებებით ფოლადისგან დამზადებულთან შედარებით, რაც განპირობებულია დრეკადობის მოდულისა და ხახუნის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობით, მაღალი ბზარმედეგობითა და აბრაზიული ცვეთამედეგობით, ხმაურისა და ვიბრაციის დემფირებით, ნაკლები მასით. ჩამოსხმული ნამზადის მზა დეტალის ფორმამდე მაქსიმალური მიახლოება ამცირებს მის ღირებულებას 30%-მდე. ლითონის გამოყენების კოეფიციენტი ამ დროს იზრდება 25-45%-

დან 60-67%-მდე. მაღალი მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებების გამო ბენიტური თუჯი წარმოადგენს პერსპექტიულ და იაფ მასალას, რომელსაც შეუძლია შეცვალოს თუჯის სხვა ტიპები, აგრეთვე არალეგირებული და მცირედლეგირებული მაღალმტკიცე ფოლადები. დადგენილია, რომ მაღალი სიმტკიცის სფერულგრაფიტის თუჯის თვისებების შემდგომი ზრდა შესაძლებელია მისი იზოთერმული წრთობით. იზოთერმული დამუშავება მკვეთრად აუმჯობესებს როგორც მის მექანიკურ, ისე საექსპლუატაციო (ცვეთამედეგობა, დადლილობა და ა.შ.) თვისებებს თუჯის ლითონურ ფუძეში ბენიტური სტრუქტურების ფორმირების შედეგად. აღსანიშნავია, რომ მაღალი სიმტკიცის ბენიტური თუჯების სტრუქტურის და თვისებების მართვა შესაძლებელია მასალისადმი წაყენებული საექსპლუატაციო მოთხოვნების შესაბამისად საკმაოდ ფართო დიაპაზონში. ბენიტური თუჯები, სილიციუმის 2%-ზე მეტი შემცველობით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობენ, რადგან დადგენილია, რომ სილიციუმის 2.2-2.8 მასური წილის შემცველობისას მცირდება თუჯის ბზარწარმოქმნის საშიშროება. ამავდროულად ცნობილია, რომ სილიციუმი ამცირებს ლითონურ ფუძეში ნახშირბადის დიფუზური გადაადგილების სიჩქარეს, ზღუდავს ზედა ბენიტური სტრუქტურის ფორმირებას და ავიწროებს ზედა ბენიტის ფორმირების ტემპერატურულ ინტერვალს. სილიციუმის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად ეს გავლენა უფრო მეტად იჩენს თავს. სტაბილური ბენიტური სტრუქტურების მისაღებად მაღალმტკიცე თუჯების შედგენილობაში შეჰყავთ საკმაოდ მცირადღირებული მალეგირებლები, როგორცაა Ni, Cu და Mo.

თეორიულად და პრაქტიკულად დადგენილია, რომ ბორის მიკროდანამატები დადებით გავლენას ახდენს თუჯის მექანიკურ მახასიათებლებზე. ცნობილია, რომ Si ამცირებს ბორის მიკროდანამატების გავლენის ეფექტურობას მაღალმტკიცე თუჯების სტრუქტურასა და თვისებებზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ბორის ზემოქმედება ბენიტური თუჯების ცვეთამედეგობაზე, ტექნოლოგიურ პლასტიკურობაზე და

ბენიტური გარდაქმნის პროცესებზე თითქმის შეუსწავლელია. მეცნიერულ ინტერესს წარმოადგენს ბორის მიკროდანამატების ეფექტურობის შესწავლა ისეთი ძვირადღირებული ელემენტების ჩასანაცვლებლად, როგორებიცაა Ni, Cu, Mo.

სამუშაოს მიზანი

ეკონომიურად ლეგირებული მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯის მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება.

კვლევის ობიექტი

არალეგირებული და ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე (2.2-2.4 % Si) თუჯები.

კვლევის მეთოდები

ქიმიური ანალიზი, SEM და მეტალოგრაფიული კვლევები, სისალის გაზომვა, ცვეთამედეგობაზე და პლასტიკურობაზე გამოცდა.

მიკროსტრუქტურული კვლევები ჩატარებული იქნა მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპზე Neophot 32, ცვეთამედეგობაზე ნიმუშები გამოიცადა ხახუნის მანქანა CMI-2-ზე მშრალი ხახუნის პირობებში. ნიმუშების ცვეთამედეგობის შეფასება ხდებოდა ნიმუშების წონის დანაკარგით. მოხახუნე ზედაპირების შესასწავლად გამოყენებული იქნა SEM - მიკროსკოპია. მაღალმტკიცე თუჯების დეფორმირებადობის შესასწავლად გამოყენებული იქნა ლაბორატორიული საგლინავი „ცხლად და ცივად გლინვის დგანი - 280“. წინასწარ მზადდებოდა ნიმუშები ზომებით $\varnothing 28$ მმ და $l = 300$ მმ. გასაგლინი ნიმუშები ხურდებოდა მუფელის ღუმელში 950°C -მდე 30 წუთის დაყოვნებით. ნიმუშების დეფორმაციის ხაზობრივი სიჩქარე შეადგენდა 0.27 მ/წმ.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები

შემუშავებულია სფერული ფორმის გრაფიტის მქონე მიკროლეგირებული თუჯების შემადგენლობა და იზოთერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც სტაბილურად უზრუნველყოფს ბენიტური სტრუქტურის მიღებას;

0.02-0.03% ბორის მიკროდანამატები არსებითად მოქმედებს ბენიტური სტრუქტურის ფორმირებაზე 2.2-2.4% Si შემცველ მაღალმტკიცე თუჯებში;

ბორის მიკროდანამატები 30-35%-ით ამცირებს აუსტენიტიზაციის ხანგრძლივობას 900°C-ზე, რაც აუსტენიტში ნახშირბადის დიფუზიის კოეფიციენტის გაზრდის შედეგია;

ბორით 0.02-0.03% მიკროლეგირება 10%-ით ამცირებს აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის ხანგრძლივობას;

ბორის მიკროდანამატები 4-6%-ით ზრდის ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობას, რომელიც მიიღება აუსტენიტის სრული დაშლის შედეგად;

ბორით მიკროლეგირებული თუჯის სტრუქტურა ხასიათდება დისპერსულობის უფრო მაღალი ხარისხით და ნარჩენი აუსტენიტის თანაბარი განაწილებით;

ბორის მიკროდანამატები 40-50°C-ით აფართოებენ ზედა ბენიტის ფორმირების ტემპერატურულ არეალს;

ბორით მიკროლეგირება 5-7 HRC-თი ზრდის სისაღის საშუალო მაჩვენებლებს, რაც განაპირობებულია სტრუქტურის დაწვრილმარცვლოვნებით;

დადგენილია, რომ თუჯის ბორით მიკროლეგირებით და თერმული დამუშავებით ხახუნის კოეფიციენტი შეიძლება ვცვალოთ 0.44-0.68 დიაპაზონში მოთხოვნების შესაბამისად.

შედგების გამოყენების სფერო

შემუშავებული თუჯი წარმოადგენს პერსპექტიულ მასალას კბილანების და სამუხრუჭე დისკების წარმოებისთვის თანამედროვე სამუხრუჭე სისტემებში. მაღალი მექანიკური და გამოყენებითი თვისებები საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯი, როგორც პერსპექტიული მასალა დაბალლეგირებული ფოლადების მანქანათმშენებლობაში ჩასანაცვლებლად სხვადასხვა დეტალების წარმოებისას, რაც უზრუნველყოფს:

- დეტალების მასის შემცირებას 9-11% -ით;
- ლითონის გამოყენების კოეფიციენტის გაზრდას 65 %-მდე;
- წარმოების ციკლის შემცირებას მინიმუმ 2-ჯერ;
- მანქანების და დეტალების მუშაობისას ხმაურის შემცირებას თუჯების დემფირული თვისებების ხარჯზე;
- მაღალ სიმტკიცეს მშრალი ცვეთის პირობებში.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლეები

1. შესწავლილია ბორის მიკროდანამატების გავლენა მაღალმტკიცე სილიციუმისანი თუჯების ბენიტური სტრუქტურის ფორმირების პროცესებზე;
2. შესწავლილია ცხლად პლასტიკური დეფორმაციის გავლენა მაღალმტკიცე თუჯების სტრუქტურის ევოლუციაზე;
3. შესწავლილია სტრუქტურული კომპონენტების გავლენა მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯების ცვეთამდეგობის მახასიათებლებზე სრიალით მშრალი ხახუნის პირობებში.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავისა და დასკვნებისაგან. შეიცავს რეზიუმეს, შინაარსს, 26 ნახაზს, 15 სურათს, 12

ცხრილს, ციტირებული ლიტერატურის ნუსხას 58 წყაროს დასახელებით. დისერტაცია წარმოდგენილია 106 A4 ფორმატის ფურცელზე.

ნაშრომის აპრობაცია

კვლევის შედეგები წარდგენილია კონფერენციებზე:

- **რ.ტაბიძე**, ნ.ხიდაშელი, გ.თავაძე, გ.გორდეზიანი, ა.გაჩეჩილაძე, ს.გვაზავა, ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდის მიზნით უსპილენძო, ახალი მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯის შემუშავება. პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. თბილისი, 11-12 ნოემბერი, 2019;
- N.Khidasheli, G.Gordeziani, **R.Tabidze**, G.Tavadze and Andre. DI. Batako Influence of structural parameters on the wear resistance of ADI during dry sliding friction. 15th Global congress on manufacturing and management (GCMM 2020) in association with ISPEM 2020. Liverpool, England, 25-27 November, 2020.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

პირველი თავი მოიცავს ლიტერატურის მიმოხილვას. განხილულია მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯების მიღების ძირითადი გამოყენების სფეროები. გაანალიზებულია სხვადასხვა ფაქტორის, როგორცაა ქიმიური შედგენილობა, აუსტენიტიზაცია, იზოთერმული წრთობის პირობები და სხვ. გავლენა ბენიტური თუჯების მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებებზე. ნაჩვენებია, რომ ბენიტური თუჯების გამოყენების ეფექტურობა შეიძლება გაიზარდოს მათი ლითონური მატრიცის სტრუქტურირებით. ეს ყოველივე განპირობებულია მასალების სტრუქტურის მდგომარეობით და ფუნქციონალური თვისებებით, რომელთა ფაზური კომპონენტების ცვლილება შესაძლებელია ფართო ზღვრებში.

ახალი შენადნობების შემუშავების და მათი საექსპლუატაციო პირობების შეცვლის გამო ბენიტური თუჯების მიკროსტრუქტურის ოპტიმიზაცია ინარჩუნებს თავის აქტუალობას. დიდ ინტერესს წარმოადგენს შენადნობების მიკროლეგიების, პლასტიკური დეფორმაციის და თერმული დამუშავების პროცესების გაერთიანების ეფექტურობის შესწავლა, რომლებიც სტრუქტურის დისპერსულობის გაზრდის და თუჯების ლითონურ მატრიცაში დისპერსული განმამტკიცებელი ფაზების ფორმირების საშუალებას იძლევა.

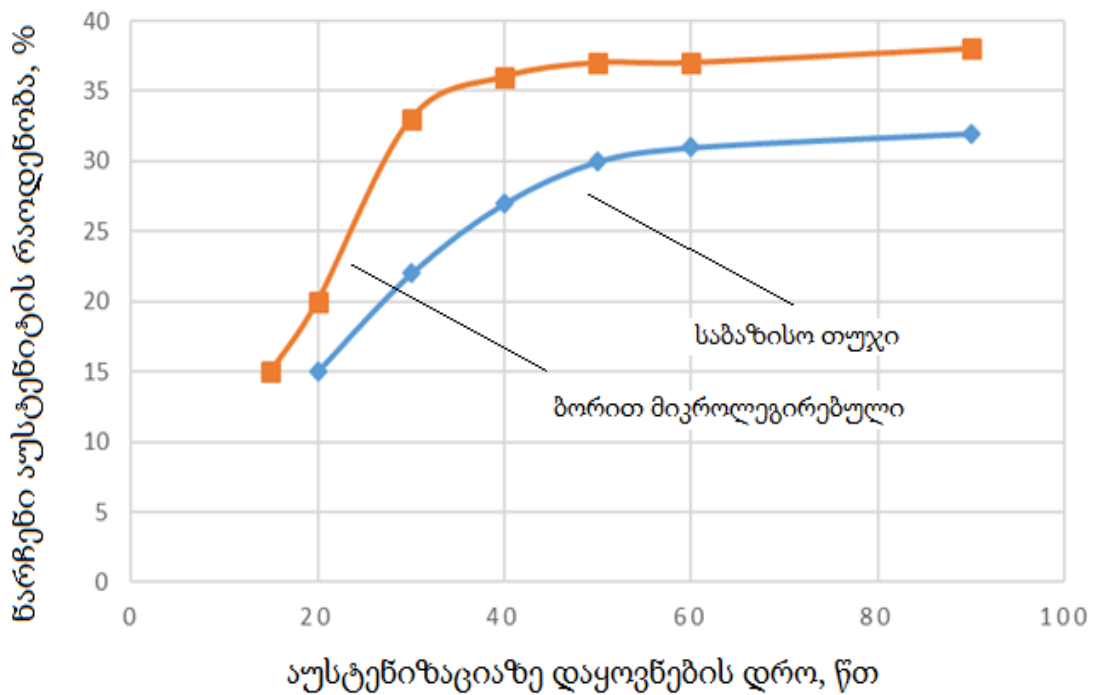
მეორე თავი მოიცავს შედეგებსა და მათ განსჯას. დასახული მიზნის მისაღწევად შესწავლილი იქნა ბენიტური სტრუქტურების ფორმირების თავისებურებანი მაღალმტკიცე სილიციუმთან თუჯებში. როგორც აღვნიშნეთ, სილიციუმის შემცველობა საბაზო თუჯებში იცვლებოდა 2.2-2.4%-მდე. რადგანაც ბენიტური თუჯის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი მოიცავს ორ სტადიას - აუსტენიტიზაციას და შემდგომ იზოთერმულ წრთობას, ექსპერიმენტების მსვლელობისას კვლევის პირველ ეტაპზე შესწავლილი იქნა საბაზისო და ბორით მიკროლეგირებული თუჯების აუსტენიტიზაციის პროცესები. აუსტენიტიზაციას ვატარებდით 900°C ტემპერატურაზე, რომელიც ჩვენი აზრით, ოპტიმალურია აუსტენიტის მარცვლის კოაგულაციის შემცირების და ნახშირბადით გაჯერების თვალსაზრისით. აუსტენიტიზაციაზე დაყოვნების ხანგრძლივობა იცვლებოდა 20-90წთ-მდე. ექსპერიმენტული თუჯების იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურა შეადგენდა 300°C. დაბალნახშირბადიანი აუსტენიტი არამდგრადია თუჯის იზოთერმული წრთობისას. ნახშირბადით გაჯერება იწვევს აუსტენიტის მდგრადობის გაზრდას ბენიტური გარდაქმნის პროცესში. აქედან გამომდინარე ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა ასახავს აუსტენიტის ნახშირბადით გაჯერების ხარისხს 900°C დაყოვნებისას.

ნახ. 1-ზე მოყვანილი მონაცემების მიხედვით ბორით მიკროლეგირება იწვევს აუსტენიტში ნახშირბადის დიფუზიის გაზრდას, რის შედეგადაც

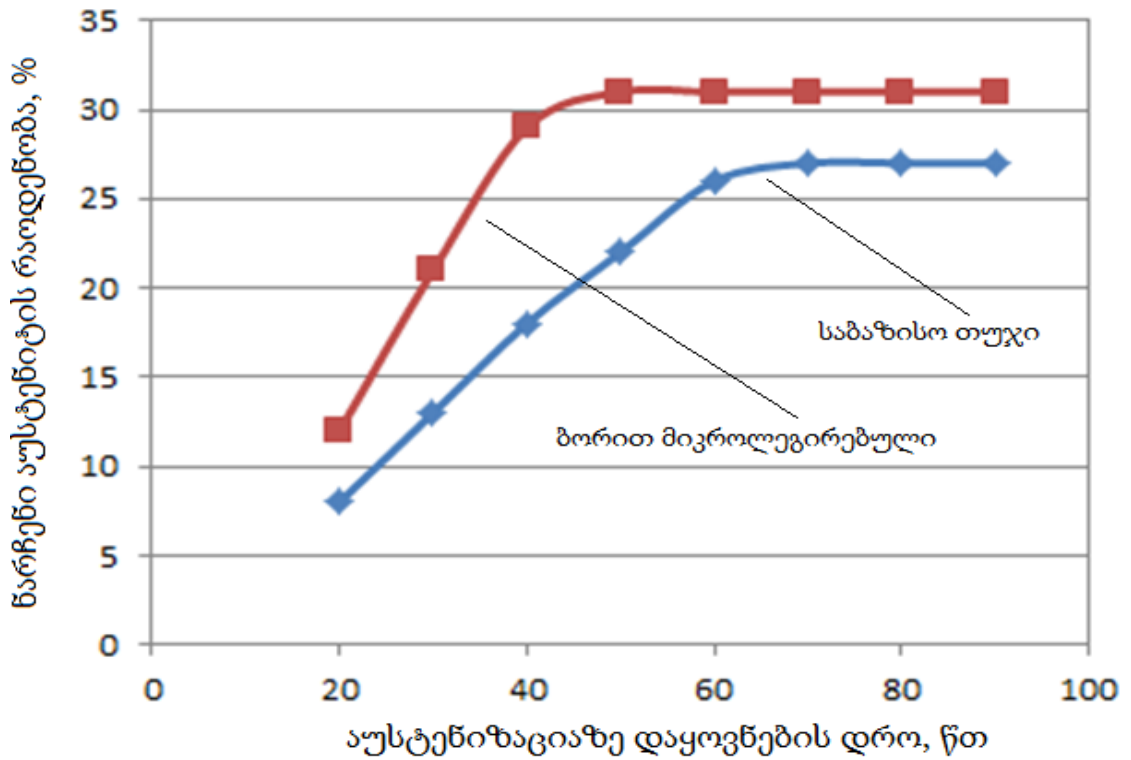
საწყისი აუსტენიტის გაჯერების დრო მცირდება 25-30%-ით, რაც გამოიხატება 300°C-ზე 30 წთ-იანი დაყოვნებით იზოთერმული წრთობის შედეგად მიღებული ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის მუდმივობით. ექსპერემენტული თუჯების აუსტენიტიზაციის ხანგრძლივობის ზედა ზღვარი შეადგენს 60 წთ-ს. ნიმუშების უფრო მეტი დროით დაყოვნების შემთხვევაში მიმდინარებს აუსტენიტის მარცვლების კოაგულაცია, რაც იწვევს მასალის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების გაუარესებას.

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია აუსტენიტიზაციაზე დაყოვნების დროის გავლენა ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე საბაზისო და ბორით მიკროლეგირებულ თუჯებში და აუსტენიტიზაციის დროის გავლენა ბენიტური სტრუქტურის წარმოქმნაზე 430°C-ზე 30 წთ-იანი დაყოვნებით.

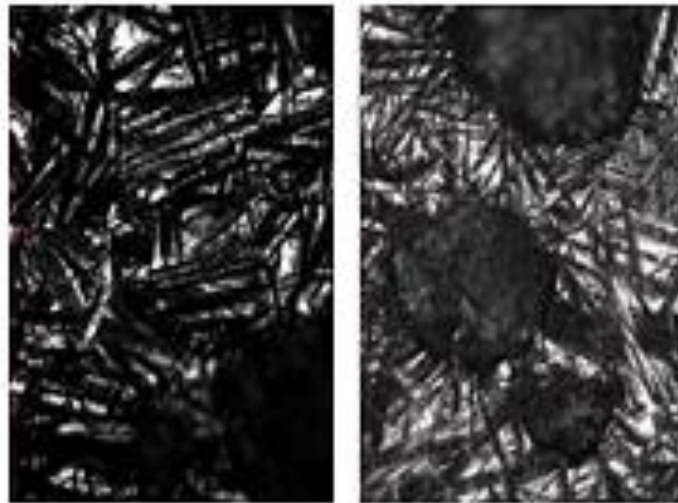
სურ. 1-ზე ნაჩვენებია 300°C-ზე 20 წთ-იანი დაყოვნებით იზოთერმულად ნაწრთობი ნიმუშების მიკროსტრუქტურები საბაზისო და ბორით მიკროლეგირებულ თუჯებში.



ნახ.1. საბაზისო და მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების აუსტენიტიზაციის დროის გავლენა ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე 300°C-ზე იზოთერმული წრთობისას



ნახ.2. საბაზისო და მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების აუსტენიტიზაციის დროის გავლენა ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე 430°C-ზე იზოთერმული წრთობისას



ა) X1000

ბ) X1000

სურ.1. 300°C-ზე 20 წთ-იანი დაყოვნებით იზოთერმულად ნაწრთობი ბეინიტური თუჯის მიკროსტრუქტურები:
 ა) საბაზისო; ბ) ბორით მიკროლეგირებული.

შესწავლილი იქნა ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების ტექნოლოგიური პლასტიკურობა. გამოცდილი იყო თუჯების ორი ჯგუფი:

- ლითონური მაგნიუმით მოდიფიცირებული თუჯი;
- Al-Mg -იანი ლიგატურით მოდიფიცირებული თუჯი.

ამ მიზნით გამოსაცდელი სხმული ნიმუშები ($\phi=30\text{მმ}$, $l=25\text{სმ}$) ხურდებოდა მუფელის ღუმელში 950°C -ზე 30წთ-ის დაყოვნებით. აღნიშნული დაყოვნების ხანგრძლივობა უზრუნველყოფს მასალის გამჭოლ, თანაბარ გახურებას და არ იწვევს ნახშირბადით აუსტენიტის დიფუზურ გაჯერებას. ამავდროულად, ნიმუშების ზედაპირის გაუნახშირბადიანების თავიდან ასაცილებლად ღუმელში თავსდებოდა გრაფიტის ფირფიტები, რომელთა წვის შედეგად წარმოიქმნებოდა CO-ს შემცველი დამცავი გარემო. 950°C -ზე გახურებული ნიმუშები იგლინებოდა ლაბორატორიულ საგლინავ დგანზე სიჩქარით 0.2-0.3 მ/წმ, საფეხურებრივი მოჭიმვით და ნიმუშის შუალედური გახურებით.

ცხრილი1. მაღალმტკიცე თუჯის ცხლად პლასტიკური დეფორმაციის პარამეტრები

გავლათა რაოდენობა	ნამზადის საწყისი ზომა, მმ.	ფარდობითი მოჭიმვა, %.	აბსოლუტური მოჭიმვა, მმ.	ნამზადის მიღებული სისქე, მმ
1	30	22	6,6	23,4
2	23,4	33,7	8,2	15,5
3	15,5	27	4,3	11,2

როგორც ცხრილი 1-ის მონაცემებიდან ჩანს, თუჯის მოჭიმვის ხარისხი პირველ გავლაზე შეადგენდა 22%, შუალედური გახურების შემდგომ მეორე გლინვის ფარდობითი დეფორმაციის ხარისხი აღწევდა 33,7% და საბოლოო საბოლოო მოჭიმვის მაჩვენებელი დაფიქსირდა 27% - ის ფარგლებში.

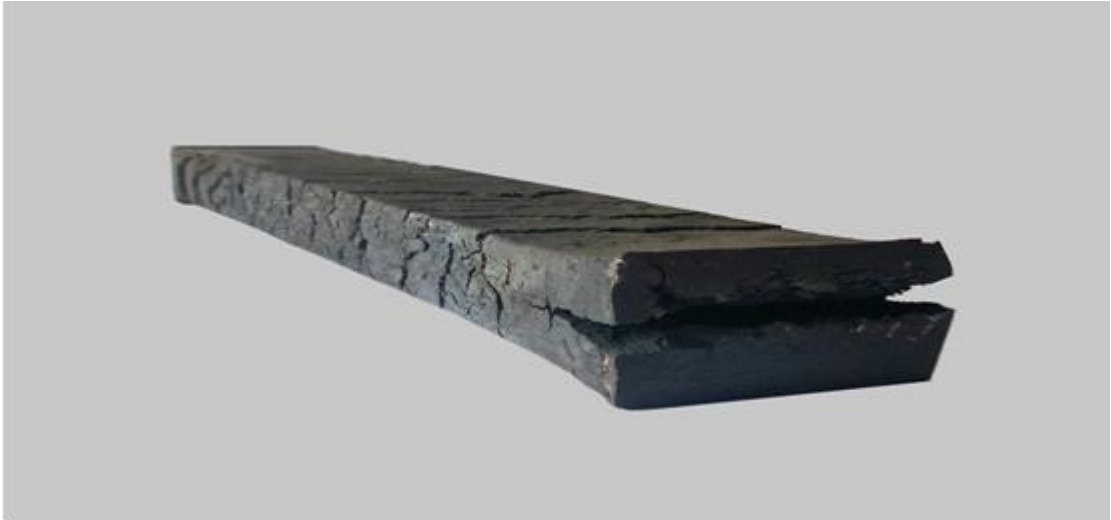
თუჯის 62,7%-ით ჯამური დეფორმაციის შედეგად ნამზადის საბოლოო სისქე დაყვანილი იქნა 12მმ-დე. ნამზადის ზედაპირზე არ შეინიშნებოდა არანაირი მიკრობზარები (სურ.2).

ცხლად პლასტიკური დეფორმაცია 4.2-4.5%-ით ზრდის ბორით მიკროლევირებული მაღალმტკიცე თუჯების სიმკვრივეს.



სურ. 2. გაგლინული თუჯის ნამზადი

ცხლად პლასტიკური დეფორმაცია იწვევს ლითონური სტრუქტურის დისპერსიულობის ხარისხის გაზრდას. გაგლინული ნიმუშების მეტალოგრაფიული ანალიზით დადგინდა, რომ გრაფიტული ჩანართების ფორმა იწყებს წაგრძელებას, როდესაც ცხლად დეფორმირებული ნიმუშების მოჭიმვის ხარისხი აჭარბებს 30%-ს. მოჭიმვის ხარისხის ზრდასთან ერთად მიმდინარეობს გრაფიტული ჩანართების წაგრძელება დეფორმაციის მიმართულებით. ექსპერემენტალურად დადგინდა, რომ Al-Mg-იანი ლიგატურით მიღებული მაღალმტკიცე თუჯი ხასიათდება დაბალი ტექნოლოგიური პლასტიკურობით, ვინაიდან ცხლად პლასტიკური დეფორმაცია იწვევს ნიმუშების მყიფე რღვევას (სურ. 3).



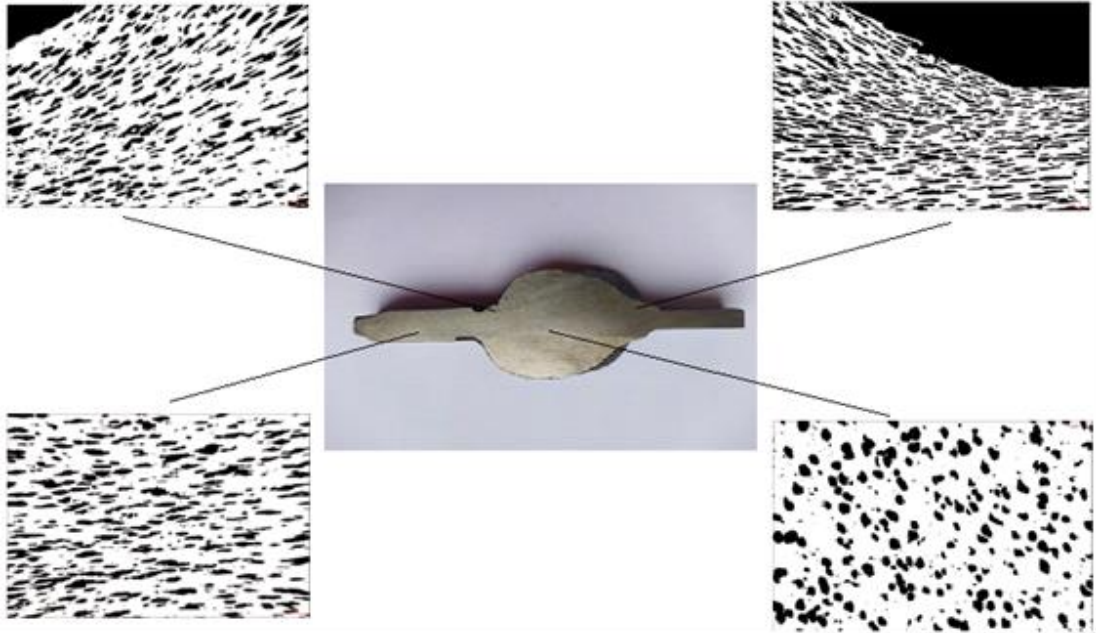
სურ. 3. Al-Mg- იანი ლიგატურით მიღებული მაღალმტკიცე თუჯის ნაგლინი

ეს გამოწვეულია თუჯში გოგირდის მაღალი შემცველობით, რაც იწვევს მასალის წითელმეტეხობას. სხვადასხვა დეტალების სატვიფრად ნიმუშები ხურდებოდა კამერულ ღუმელში 950°C -მდე და შემდგომში იტვიფრებოდა დამხმარე სამარჯვების გარეშე (სურ. 4).



სურ. 4. ნატვიფერი დეტალი- მილტუჩა

ნატვიფრი დეტალებისთვის დამახასიათებელია გრაფიტული ჩანართების განსხვავებული ფორმა, რაც განპირობებულია სხვადასხვა მიკრომოცულობების დეფორმაციის ხარისხის სიდიდით (სურ. 5).



სურ. 5. ნატვიფრი დეტალის მიკროსტრუქტურები

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ შემუშავებულია სფერული ფორმის გრაფიტის მქონე მიკროლეგირებული თუჯების შემადგენლობა და იზოთერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც იძლევა ბენიტური სტრუქტურის მიღების საშუალებას თუჯების მეტალურ ფუძეში მაღალი სიმტკიცით და სპეციალური თვისებებით.

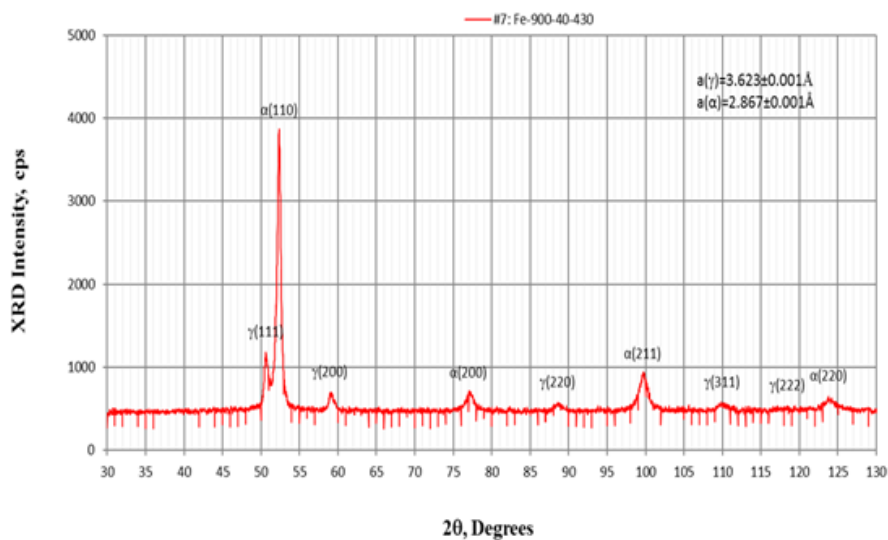
ცნობილია, რომ ბენიტური სტრუქტურის მისაღებად აუცილებელია საბაზისო თუჯის Cu, Ni და Mo-ით ლეგირება, რომელშიც სპილენძის შემცველობა ხშირ შემთხვევაში შეადგენს 1.5-2%-ს. ჩამოთვლილი ელემენტები წარმოადგენენ ძვირადღირებულ და დეფიციტურ მასალებს, რაც ზრდის მიღებული პროდუქტის თვითღირებულებას. გარდა ამისა, სპილენძის გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი ეკოლოგიური თვალსაზრისით. ამიტომ ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად მიიჩნევა უსპილენძო და ეკონომიურად ლეგირებული ახალი მაღალმტკიცე

ბენიტური თუჯების შემუშავება. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომში შესწავლილია ბორის მიკროდანამატების გავლენა მაღალმტკიცე თუჯების ბენიტური სტრუქტურის ფორმირებაზე. ამ მიზნით კვლევის საწყის ეტაპზე გამოკვლეულია ფაზური და სტრუქტურული გარდაქმნები მაღალმტკიცე სილიციუმისანი თუჯების იზოთერმული წრთობისას.

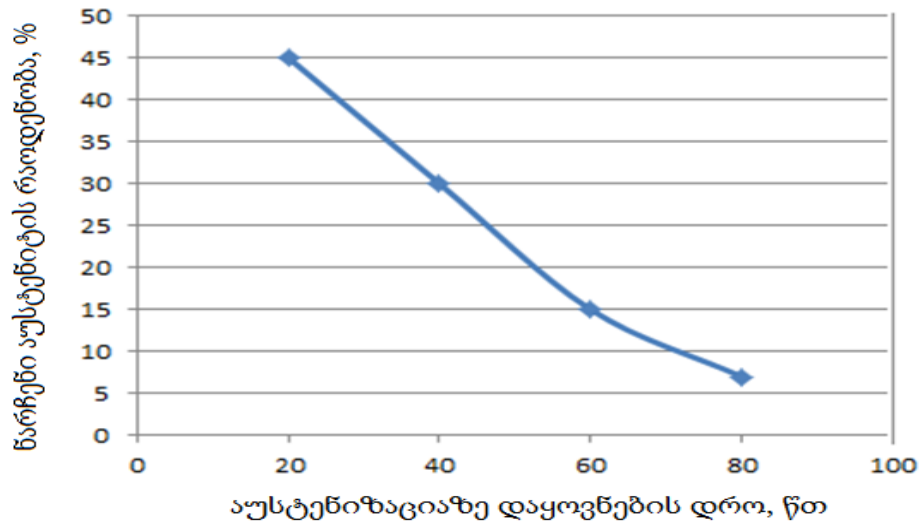
სხვადასხვა სახის სტრუქტურის მისაღებად იზოთერმული წრთობის ტემპერატურა იცვლებოდა 220-450°C -ის დიაპაზონში. ნიმუშების 900°C-ზე წინასწარი აუსტენიტიზაციის ხანგრძლივობა შეადგენდა 60წთ-ს. საექსპერემენტო ნიმუშების დაყოვნების ხანგრძლივობა იცვლებოდა 1-60 წთ-მდე. იზოთერმულად ნაწრთობი ნიმუშების სტრუქტურის შესასწავლად გამოყენებული იყო მეტალოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი. ბენიტური თუჯების ტიპური რენტგენოდიფრაქტოგრამა წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე.

ნიმუშების იზოთერმული წრთობისას 280°C-ზე ნარჩენი აუსტენიტის მინიმალური რაოდენობა შეადგენს 5%-ს და მიიღწევა 90წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ, ხოლო 15წთ-იანი დაყოვნებისას სტრუქტურაში ფიქსირდება ნარჩენი აუსტენიტის 40% (ნახ. 4).

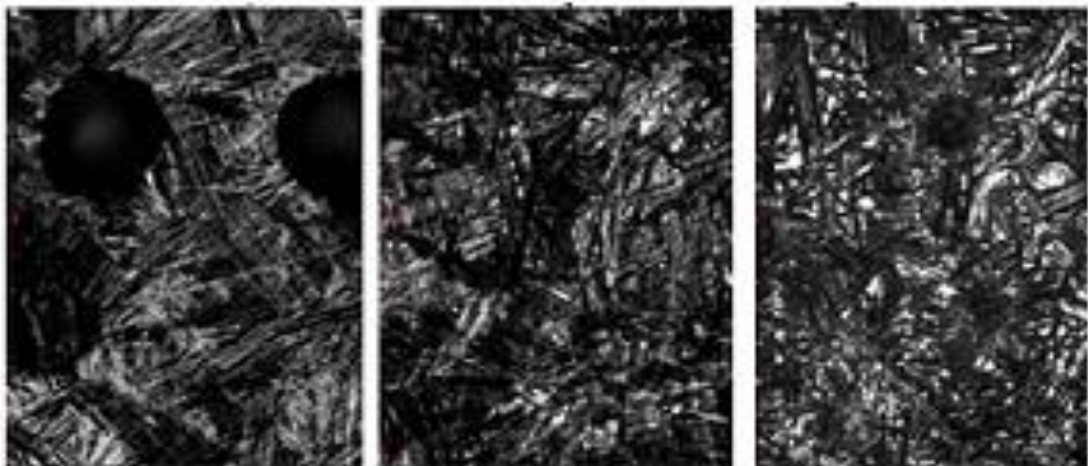
280°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი მაღალმტკიცე თუჯის ტიპური სტრუქტურები მოყვანილია სურ. 6.-ზე.



ნახ. 3. ბენიტური თუჯების ტიპური რენტგენოდიფრაქტოგრამა



ნახ.4. საბაზისო და მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების აუსტენიტიზაციის დროის გავლენა 280°C-ზე იზოთერმული წრთობისას ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე



ა) X1000

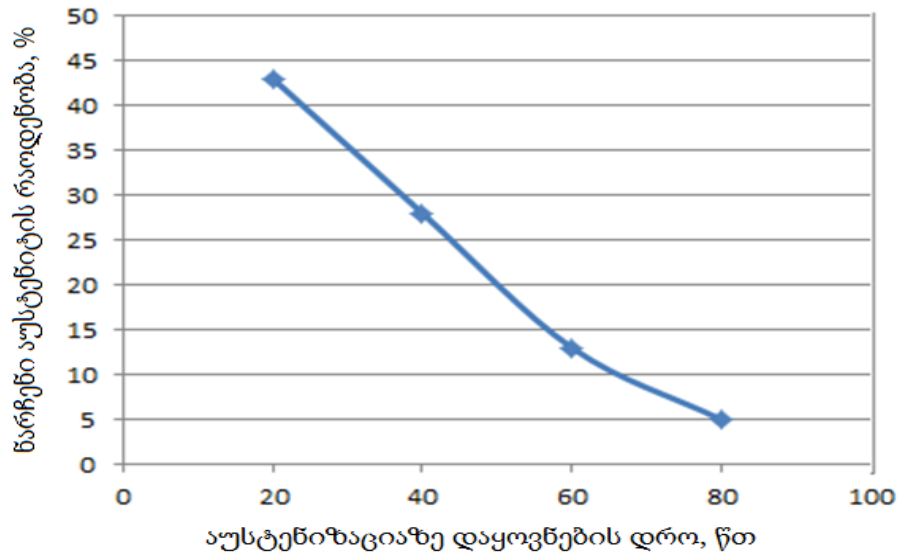
ბ) X1000

გ) X1000

სურ.6. 280°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბენიტური თუჯის მიკროსტრუქტურები:

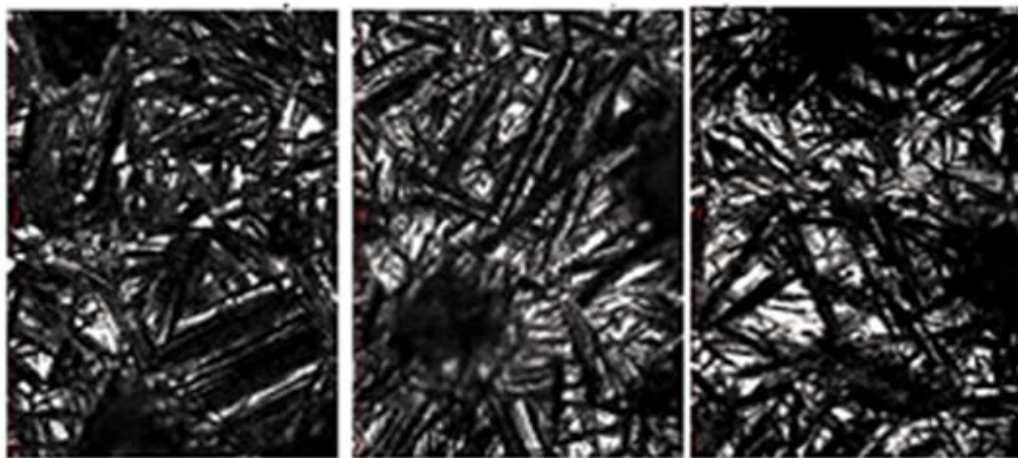
ა) 90 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; ბ) 60 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; გ) 45 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ

ნიმუშების იზოთერმული წრთობისას 300°C-ზე ნარჩენი აუსტენიტის მინიმალური რაოდენობა შეადგენს 10%-ს და მიიღწევა 80წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ, ხოლო 20წთ-იანი დაყოვნებისას სტრუქტურაში ფიქსირდება ნარჩენი აუსტენიტის 45% (ნახ. 5).



ნახ. 5. აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამა, 240°C

300°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი მაღალმტკიცე თუჯის ტიპიური სტრუქტურები მოყვანილია სურ. 7-ზე.



ა) X1000

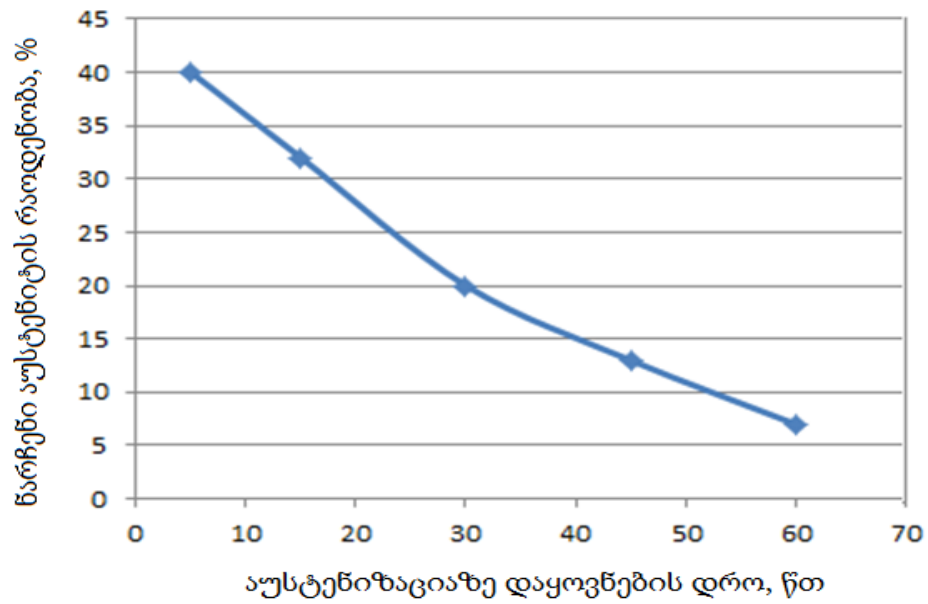
ბ) X1000

გ) X1000

სურ.7. 300°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბეინიტური თუჯის მიკროსტრუქტურები:

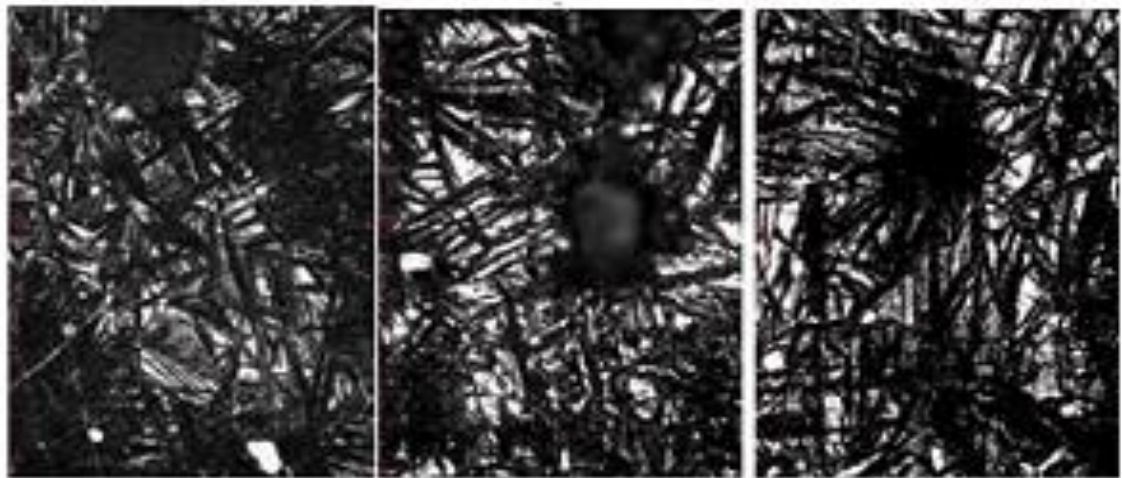
ა) 45 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; ბ) 30 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; გ) 20 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ

ნიმუშების იზოთერმული წრთობისას 320°C-ზე ნარჩენი აუსტენიტის მინიმალური რაოდენობა შეადგენს 50%-ს და მიიღწევა 25წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ, ხოლო 60 წთ-იანი დაყოვნებისას სტრუქტურაში ფიქსირდება ნარჩენი აუსტენიტის 20% (ნახ. 6).



ნახ. 6. აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამა, 320°C

320°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი მაღალმტკიცე თუჯის ტიპიური სტრუქტურები მოყვანილია სურ. 8-ზე.



ა) X1000

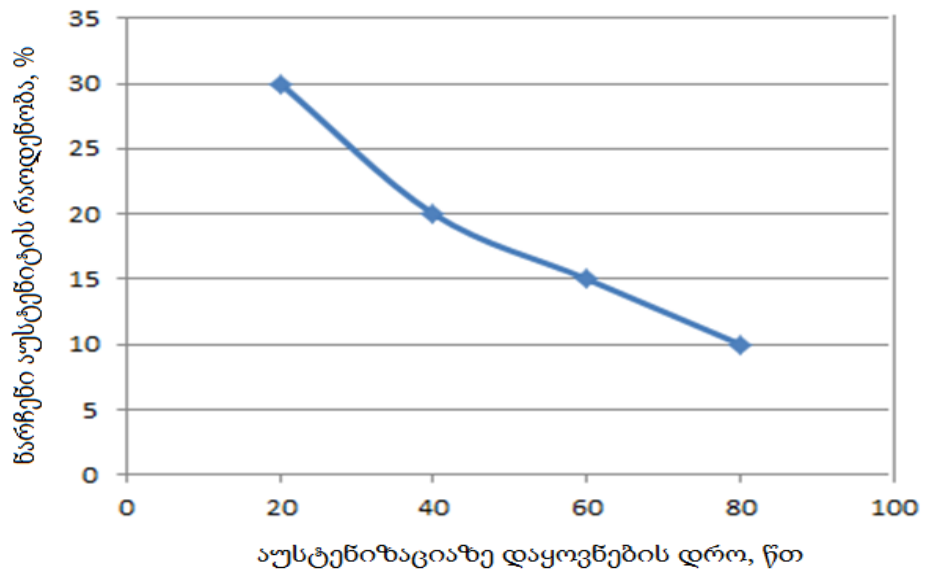
ბ) X1000

გ) X1000

სურ.8. 320°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბენიტური თუჯის მიკროსტრუქტურები:

ა) 60 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; ბ) 40 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; გ) 25 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ

ნიმუშების იზოთერმული წრთობისას 430°C-ზე ნარჩენი აუსტენიტის მინიმალური რაოდენობა შეადგენს 10%-ს და მიიღწევა 80წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ, ხოლო 40წთ-იანი დაყოვნებისას სტრუქტურაში ფიქსირდება ნარჩენი აუსტენიტის 20% (ნახ. 7).



ნახ. 7. აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამა 430°C-ზე (ზედა ბენიტი - პერლიტის საზღვარი)

430°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი მაღალმტკიცე თუჯის ტიპიური სტრუქტურები მოყვანილია სურ. 9-ზე.



ა) X1000

ბ) X1000

გ) X1000

სურ.9. 430°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბენიტური თუჯის მიკროსტრუქტურები:
 ა) 80წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; ბ) 60წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ; გ) 40 წთ-იანი დაყოვნების შემდეგ

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საბაზისო თუჯების 320-400°C-მდე იზოთერმული დაყოვნებისას არ მიმდინარეობს ბენიტური სტრუქტურის ფორმირება, რაც გამოწვეულია ცემენტიტის წარმოქმნაზე უარყოფითი გავლენით, ვინაიდან ზედა ბენიტის ფორმირებისას წამყვან ფაზას წარმოადგენს ცემენტიტი და ნახშირბადის დიფუზია აღნიშნულ ტემპერატურულ ინტერვალში შენელებულია და არ მიმდინარეობს ზედა ბენიტის კრისტალების წარმოქმნა. ბენიტური სტრუქტურის ფორმირება ფიქსირდება 400°C-ზე ზევით, რაც გამოწვეულია ნახშირბადის დიფუზიური პროცესების გააქტიურებით.

საბაზისო თუჯების იზოთერმული დაყოვნების 320-400°C ტემპერატურულ ინტერვალში ბენიტური სტრუქტურის ფორმირება არ ფიქსირდება, რაც ჩვენი აზრით გამოწვეულია Si-ის გავლენით ცემენტიტის წარმოქმნაზე.

ნახშირბადის დიფუზიური აქტივობის გასაზრდელად და ქვედა და ზედა ბენიტის კრისტალების ფორმირებისთვის ხელსაყრელი პირობების შესაქმნელად შესწავლილი იყო ბორის მიკროდანამატების გავლენა.

ბორით მიკროლეგირებულ მაღალმტკიცე თუჯებს უტარდებოდა ანალოგიური რეჟიმებით თერმული დამუშავება.

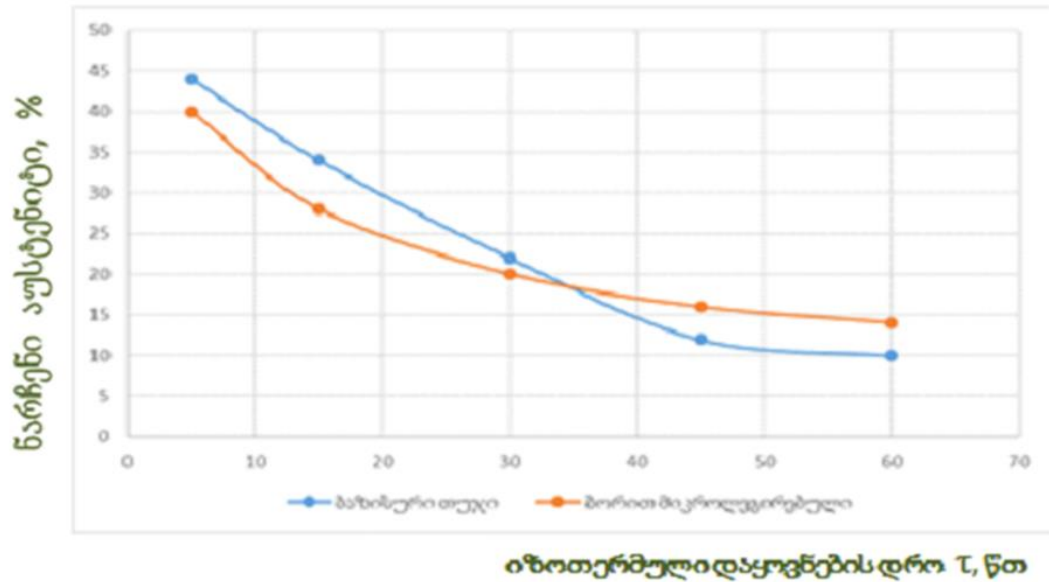
მიღებული შედეგების მიხედვით თუჯის ბორით მიკროლეგირება უზრუნველყოფს საწყისი აუსტენიტის დაშლას როგორც ზედა, ისე ქვედა ბენიტის წარმოქმნით. ზედა ბენიტური სტრუქტურის ფორმირება მიმდინარეობდა 350-450°C-ზე, ხოლო ქვედა ბენიტის – 220-280°C-ზე. 290°C-დან 300°C-მდე შესაბამისი დაყოვნებისას გარდაქმნის საინკუბაციო პერიოდი მინიმალურია და ფორმირდება როგორც ზედა, ისე ქვედა ბენიტის სტრუქტურები. ამავდროულად ბენიტური გარდაქმნის ხანგრძლივობა მცირდება 10-15%-ით. წარმოდგენილი მონაცემების თანახმად, 900°C-ზე ერთნაირი დაყოვნების პირობებში ბორით მიკროლეგირებულ თუჯებში მეტი ნარჩენი აუსტენიტი შეინიშნება, რაც

აუსტენიტიში ნახშირბადის მეტ გაჯერებაზე მიუთითებს და ასახავს ბორის მიკროდანამატების გავლენას ნახშირბადის დიფუზიის კოეფიციენტის გაზრდაზე. მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ ბორით მიკროლეგირებულ თუჯებში აუსტენიტის ნახშირბადით გაჯერება და სტაბილიზაცია მიმდინარეობს უფრო მცირე დროში, რაც ამცირებს თერმული დამუშავების პერიოდს. ბორის მიკროდანამატები უზრუნველყოფენ ზედა ბენიტის სტრუქტურის ფორმირებას 320-430°C ტემპერატურულ ინტერვალში. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ ბორის მიკროდანამატები აჩქარებენ თუჯების ლითონურ მატრიცაში ნახშირბადის დიფუზურ აქტივობას. ბორის აღნიშნული გავლენა დასტურდება ქვემოთ მოყვანილი დიაგრამის მონაცემებითაც (ნახ. 8). ერთის მხრივ, ბორის მიკროდანამატები ზრდიან ლითონურ ფუძეში ნახშირბადის დიფუზურ აქტივობას და ამით უზრუნველყოფენ აუსტენიტის სტაბილიზაციას, ხოლო მეორე მხრივ, ზრდიან აუსტენიტის დისპერსულობას და ბენიტური კრისტალების ცენტრების ჩასახვას უწყობენ ხელს, რის შედეგადაც იზრდება აუსტენიტის ბენიტიში გარდაქმნის ხარისხი. დიაგრამიდან ჩანს, რომ იზოთერმაზე ხანმოკლე დაყოვნების შემთხვევაში დომინირებს ბორის მიკროდანამატების გავლენის პირველი ფაქტორი, ხოლო უფრო ხანგრძლივი დაყოვნებისას ადგილი აქვს ბენიტური ფაზის რაოდენობრივ ზრდას საბაზისო თუჯთან შედარებით. აღნიშნული კანონზომიერება აგრეთვე ვიქსირდება 280°C-ზე იზოთერმული დაყოვნების დროსაც (ნახ. 9).

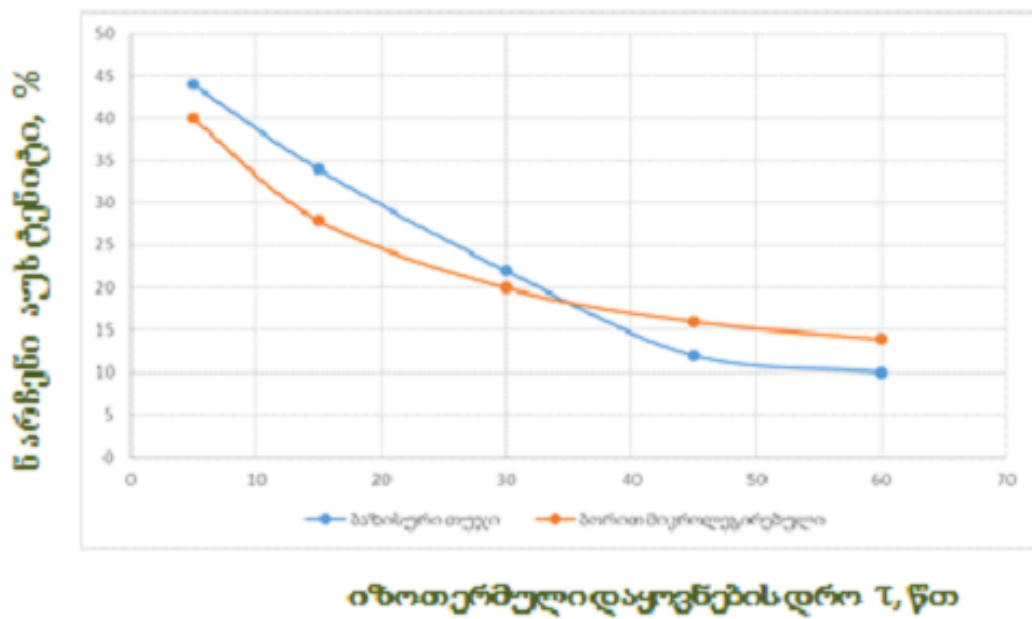
მიკროლეგირებული თუჯის ზედა ბენიტის სისალე დაფიქსირდა 48-52 HRC, ხოლო ქვედა ბენიტისთვის – 52-56HRC, რაც დაახლოებით 5-7 ერთეულით აღემატება საბაზისო ბენიტური თუჯების სისალეს.

მეტალოგრაფიული კვლევისას დადგინდა, რომ ბორით მიკროლეგირებული თუჯები ხასიათდებიან უფრო წვრილდისპერსული ბენიტით, ვიდრე საბაზისო. ნარჩენი სტაბილური აუსტენიტის რაოდენობა

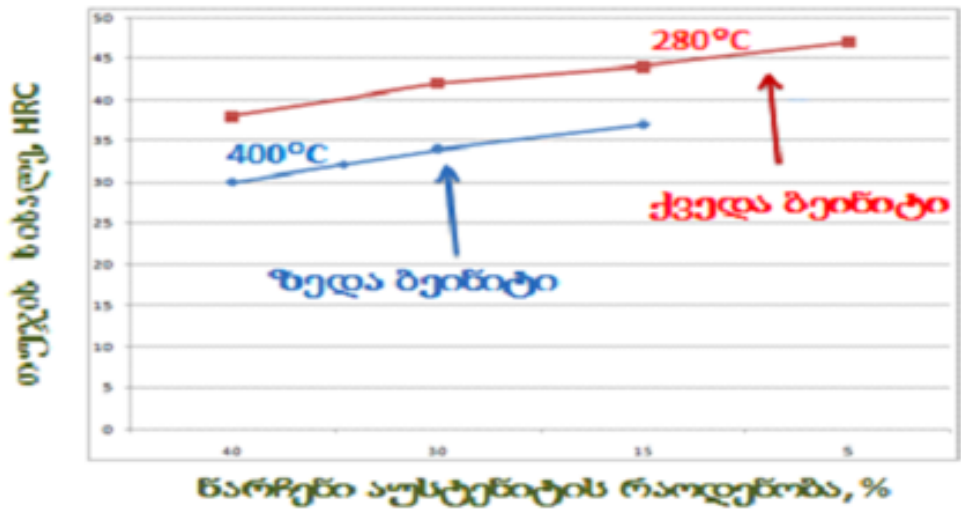
ბორის მიკროდანამატების გავლენით მატულობს 4-5%-ით და საბაზისო თუჯთან შედარებით უფრო თანაბრადაა განაწილებული (ნახ. 10).



ნახ. 8. 300°C-ზე იზოთერმული დაშლის ხანგრძლივობის გავლენა საბაზისო და ბორით ლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების აუსტენიტის დაშლაზე

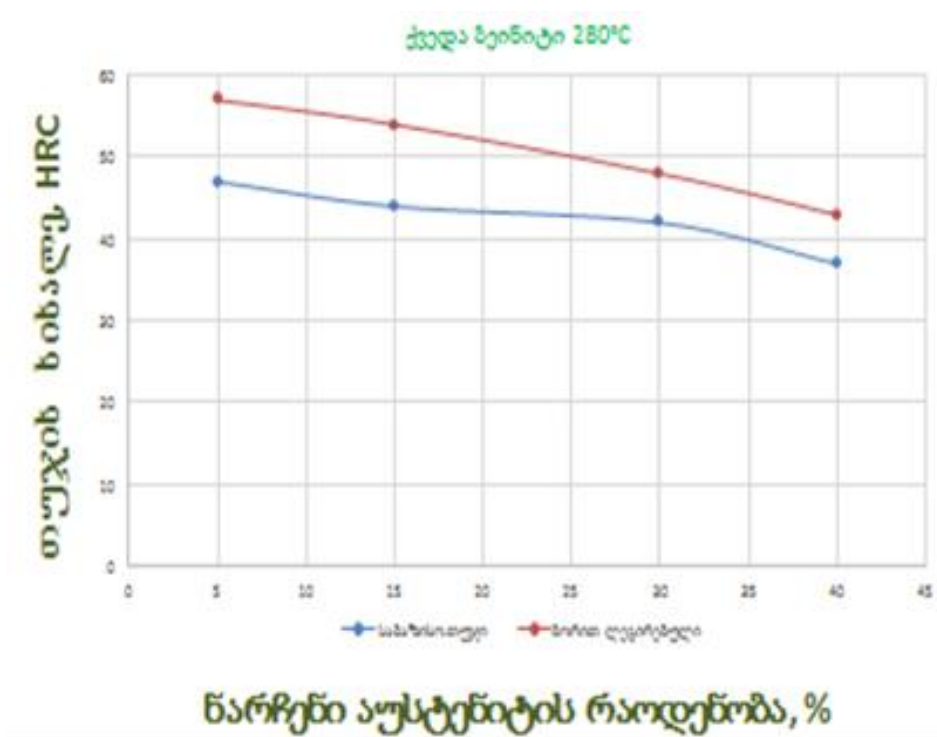


ნახ. 9. 280°C-ზე იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობის გავლენა საბაზისო და ბორით ლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების აუსტენიტის დაშლაზე



ნახ.10. ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის გავლენა ბენიტური თუჯის სისაღეზე

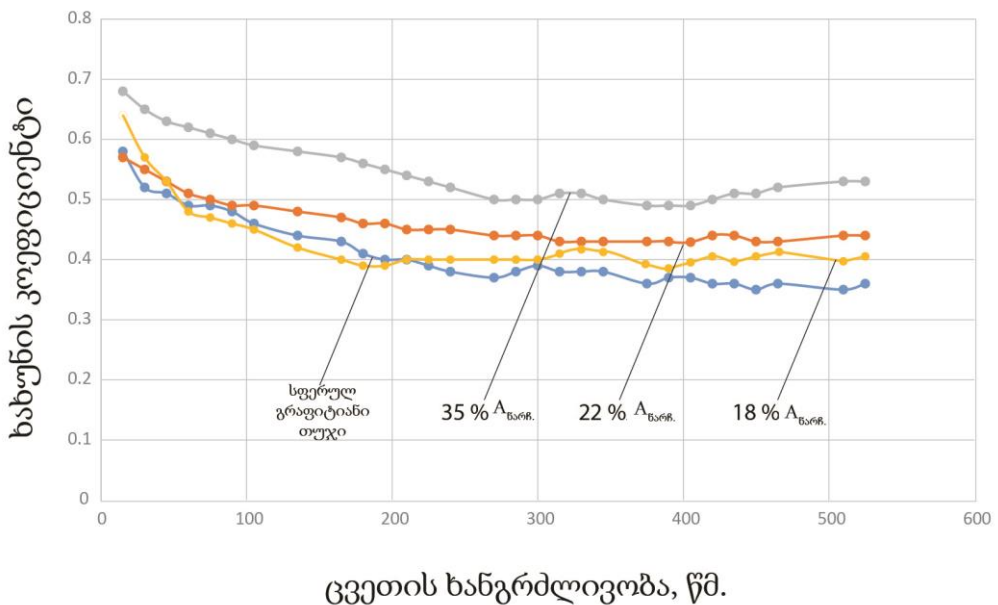
სტრუქტურაში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის გაზრდა იწვევს ლითონური ფუძის სისაღის შემცირებას (ნახ. 11).



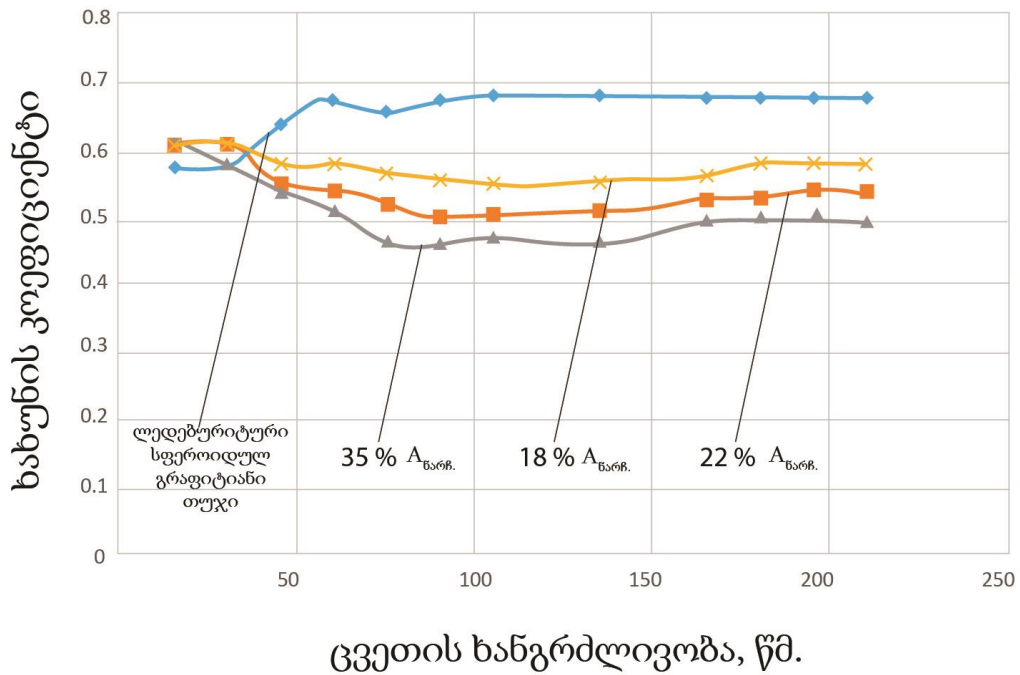
ნახ.11. ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის გავლენა ბენიტური თუჯის სისაღეზე

მოცემულ სამუშაოში საწყისი და მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე თუჯების (3.4% C და 2.2% Si) ტექნოლოგიური პარამეტრებისა და თერმული დამუშავების პროცესების ვარირებით მიღებული იქნა ექსპერემენტული ნიმუშები აუსტენიტის განსხვავებული რაოდენობით (10, 20, 35%) ქვედა და ზედა ბეინიტის მატრიცაში. მეტალოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ თხევადი მეტალის 0.03% ბორით ლეგირება ზრდის ბეინიტური მატრიცის სტრუქტურული ელემენტების დისპერსულობას და მათ თანაბარ განაწილებას. სტრუქტურაში ფორმირდება რკინის ბორიდები და შლიფის სიბრტყეში აღინიშნება სავარაუდოდ, ბორის ნიტრიდების და კარბიდების ულტრადისპერსული ჩანართები. ლეგირების პროცესის შემდეგ ზედა ბეინიტური სტრუქტურის მქონე ნიმუშების სისალე გაიზარდა 45-48 HRC-მდე, ხოლო 300° C-ზე იზოთერმულად ნაწრობების – 57-60 HRC-მდე.

ექსპერემენტალური მონაცემების ანალიზი სხვადასხვა ლითონური მატრიცის მქონე ბეინიტური თუჯების ძირითადი ტრიბოლოგიური მახასიათებლების შეფასების საშუალებას გვაძლევს მშრალი სრიალით ხახუნის პირობებში (ნახ. 12).



ა)



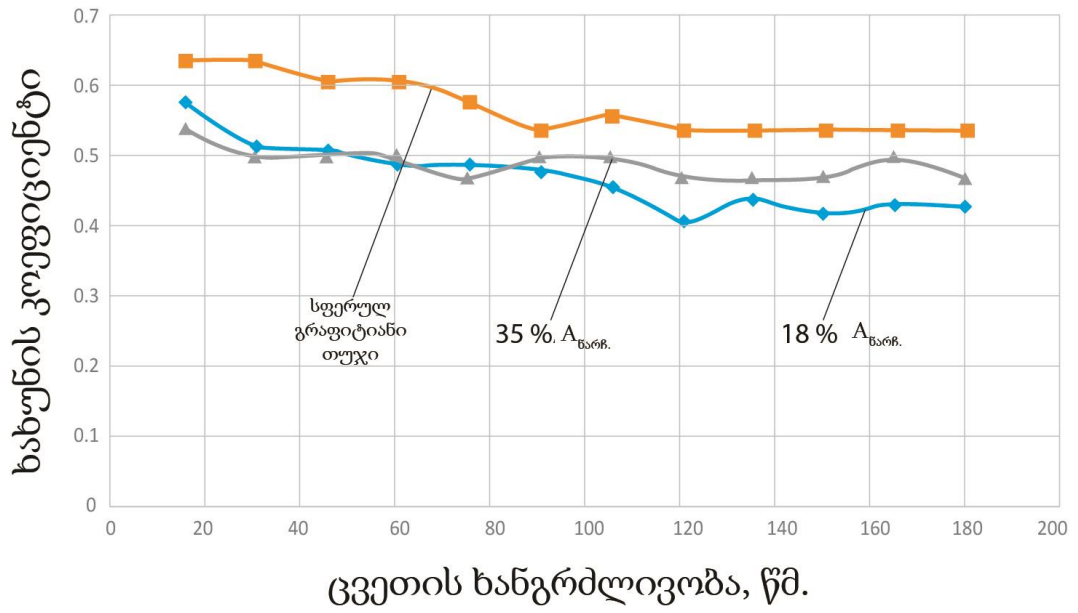
ბ)

ნახ.12. ნარჩენი აუსტენიტის გავლენა 300°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი არალეგირებული (ა) და ბორით მიკროლეგირებული თუჯის (ბ) ხახუნის კოეფიციენტზე

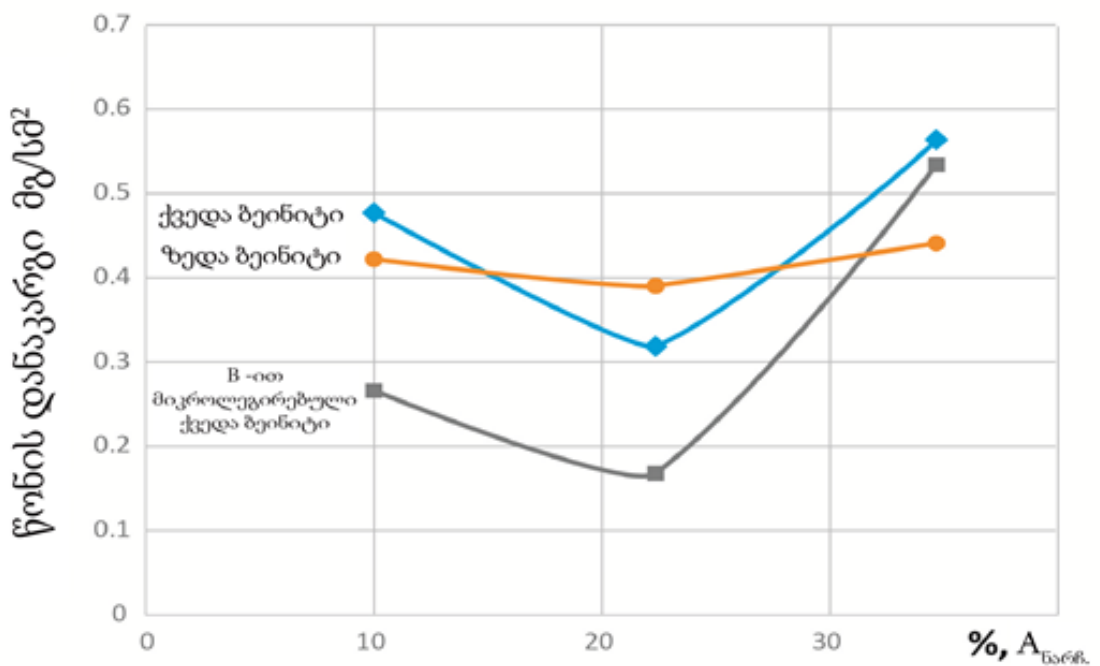
როგორც მოცემული მნიშვნელობებიდან ჩანს, ცვეთის კოეფიციენტი იცვლება 0.4-0.57-მდე და ამ პარამეტრების გაზრდით იზრდება ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა. მაღალმტკიცე თუჯების ბორით მიკროლეგირება იწვევს ცვეთის კოეფიციენტის შემცირებას.

მშრალი ხახუნის პირობებში ტესტირებისას ცვეთის კოეფიციენტის უმნიშვნელო რხევა ასახავს ექსპერემენტალური ბეინიტური თუჯების სტრუქტურულ სტაბილურობას (ნახ.12-13).

დადგენილია, რომ სტრუქტურაში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის ზრდა 10-22%-მდე იწვევს ბეინიტური თუჯების ცვეთის ინტენსიობის შემცირებას. თუჯები, რომელშიც ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა აღემატება 22%-ს, გამოირჩევიან შედარებით უფრო დაბალი ცვეთამედეგობის პარამეტრებით (ნახ.14).



ნახ. 13. ნარჩენი აუსტენიტის გავლენა 400°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი არალეგირებული მაღალმტკიცე თუჯის ხახუნის კოეფიციენტზე



ნახ.14. ნარჩენი აუსტენიტის გავლენა სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე მაღალმტკიცე თუჯების ცვეთამედეგობაზე

ეს დამოკიდებულება მკვეთრად გამოხატულია ქვედა ბენიტური სტრუქტურის მქონე თუჯებში. მაქსიმალური ცვეთამდეგობით გამოირჩევიან 300°C-ზე იზოთერმულად ნაწრთობი ბორით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯები.

მოხახუნე ზედაპირების კვლევით დადგინდა, რომ სტრუქტურაში ნარჩენი აუსტენიტის მაღალი შემცველობისას თუჯის ზედაპირული შრეები, ფრიქციული კონტაქტის ზონაში, განიცდიან პლასტიკურ დეფორმაციას. ნიმუშის ზედაპირზე ყალიბდება მცირე ზომის აუსტენიტური შრე, რომელიც ნაწილობრივ ფარავს გრაფიტულ ჩანართებს. აქედან გამომდინარე, გრაფიტული ჩანართების საკონტაქტო ზედაპირი მცირდება, რის შედეგადაც ისინი ნაკლებად ეფექტურად ასრულებენ მყარი საპოხის როლს. ზედაპირული შრის მრავალჯერადი ციკლური დეფორმაცია იწვევს აუსტენიტური შრის დაღლილობით რღვევას. სტრუქტურაში ნარჩენი აუსტენიტის არასაკმარისი რაოდენობის შემთხვევაში მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთქმედება იწვევს ბენიტური თუჯის მყიფე რღვევას.

ბორით მიკროლეგირებულ მაღალმტკიცე თუჯებში წარმოიქმნება ბორიდები, ნიტრიდები და კარბიდები, რის შედეგადაც წარმოიქმნება შედარებით უფრო მრავალფაზიანი ლითონური ფუძე, რის შედეგადაც იზრდება მოხახუნე ზედაპირების კონტაქტური სიმტკიცე და მიიღწევა კონტაქტური დატვირთვების ხელსაყრელი განაწილება, რაც ამალღებს მასალის ფუნქციონირების რესურსს.

დასკვნა

1. შემუშავებულია სფერული ფორმის გრაფიტის მქონე მიკროლეგირებული თუჯების შემადგენლობა და იზოთერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც სტაბილურად უზრუნველყოფს ბენიტური სტრუქტურის მიღებას;
2. ბორის მიკროდანამატები 30-35%-ით ამცირებს აუსტენიტიზაციის ხანგრძლივობას 900°C-ზე, რაც აუსტენიტში ნახშირბადის დიფუზიის კოეფიციენტის გაზრდის შედეგია;
3. ბორით 0.02-0.03% მიკროლეგირება 10%-ით ამცირებს აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის ხანგრძლივობას;
4. ბორის მიკროდანამატები 4-6%-ით ზრდის ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობას, რომელიც მიიღება აუსტენიტის დაშლის შედეგად;
5. ბორით მიკროლეგირებული თუჯები ხასიათდებიან სტრუქტურის უფრო მაღალი დისპერსულობით და ნარჩენი აუსტენიტის თანაბარი განაწილებით;
6. ბორის მიკროდანამატები 40-50°C-ით აფართოებენ ზედა ბენიტის ფორმირების ტემპერატურულ არეალს;
7. ბორით მიკროლეგირება 5-7 HRC-თი ზრდის სისალის საშუალო მაჩვენებლებს, რაც განაპირობებულია სტრუქტურის დაწვრილმარცვლოვნებით ბორიდებით;
8. დადგენილია, რომ თუჯის ბორით მიკროლეგირებით და თერმული დამუშავებით ხახუნის კოეფიციენტი შეიძლება ვცვალოთ 0.44-0.68 დიაპაზონში, მოთხოვნების შესაბამისად;
9. დადგენილია, რომ 0.02-0.03% B-ით მიკროლეგირებული მაღალმტკიცე სილიციუმიანი (2.2-2.4% Si) თუჯები ექვემდებარებიან ცხლად პლასტიკურ დეფორმაციას. დეფორმაციის ხარისხი 950°C-ზე აღწევს 65%;
10. ბენიტურ თუჯებში Ni, Mo და Cu-ის ჩანაცვლება ბორის მიკროდანამატებით $\approx 100-130$ \$-ით ამცირებს 1 ტონა ვარგისი სხმულის თვითღირებულებას.

სადისერტაციო ნაშრომთან დაკავშირებული შრომების სია:

1. **რ.ტაბიძე**, ნ.ხიდაშელი, გ.თავაძე, გ.გორდეზიანი, ა.გაჩეჩილაძე, ს.გვაზავა ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდის მიზნით უსპილენძო, ახალი მაღალმტკიცე ბენიტური თუჯის შემუშავება. პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“ შრომები. სტუ, გვ. 108-113. თბილისი, 2020.
2. **რ.ტაბიძე**, გ.თავაძე, ნ.ხიდაშელი, გ.გორდეზიანი, ნ.გონჯილაშვილი მაღალმტკიცე თუჯის მიღების ახალი ტექნოლოგიის შემუშავება. მეცნიერება და ტექნოლოგიები. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. №2(731), გვ. 57-65. თბილისი, 2019.
3. Тавадзе Г., Цинцадзе И., Гордезиани Г., **Табидзе Р.**, Гвазава С., Хидашели Н. Экономно легированный высокопрочный бейнитный чугун. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. ტ.90, გვ. 25-27. თბილისი, 2020.
4. G.Tavadze, N.Khidasheli, **R.Tabidze**, G.Gordeziani, S.Gvazava Influence of hot plastic deformation on austenitization process during austempering of ductile iron. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მოამბე, ტ. 14, №3, გვ. 80-84. თბილისი, 2020.
5. N.Khidasheli, G.Gordeziani, **R.Tabidze**, G.Tavadze and Andre. DI. Batako Influence of structural parameters on the wear resistance of ADI during dry sliding friction. 15th Global congress on manufacturing and management (GCMM 2020) in association with ISPEM 2020. Liverpool, England, 25-27 November, 2020.

Abstract

Modern technology have great demands on the materials. They must be multifunctional and inexpensive, technological in processing and long-lasting in operations. Today, no foundry construction material can be compared to high-strength spherical cast iron in terms of the variety of technological applications and the subsequent use of details made from it in terms of economic characteristics. This universal construction material possesses good mechanical properties, which makes it indispensable in the production of responsible details working under certain conditions. Isothermally hardened high-strength cast iron is a new class of construction materials.

At present, the volume of production of bainitic cast iron in the world does not exceed tens of millions of tons. These cast irons are characterized by the lowest costs in terms of tensile strengths among existing metal construction materials. Isothermally hardened spherical cast irons are characterized by the unique combination of physical and mechanical and operational properties, which makes it indispensable for the production of teeth, crankshafts and other heavily loaded and responsible details.

This material is used in practically all fields of mechanical engineering. Details made of bainitic cast iron are characterized by high performance properties compared to steel based, which is due to the low modulus of elasticity and coefficient of friction, high crack resistance and abrasive wear-resistance, noise and vibration damping, reduced mass. The maximum approximation of the cast details to the finished part shape reduces its value by up to 30%. The metal utilization rate at this time increases from 25-45% to 60-67%. Due to its high mechanical and operational properties, bainitic cast iron is a promising and inexpensive material that can replace other types of cast iron, as well as non-alloyed and low-alloyed high-strength steels. It has been established that further enhancement of the properties of high-strength spherical graphic cast iron is possible by its isothermal hardening. Isothermal processing dramatically improves

both its mechanical and operational properties (wear resistance, fatigue, etc.) due to the formation of bainitic structures in the cast iron on metal base. It should be noted that the structure and properties of high-strength bainitic cast iron can be managed in a fairly wide range according to the operating requirements of the material.

Bainitic cast iron, with a content of more than 2% silicon, attracts special attention, as it has been established that the content of 2.2-2.8 mass fraction of silicon reduces the risk of cast iron cracking. At the same time, silicon is known to reduce the diffusion rate of carbon in the metal base, limit the formation of the upper bainitic structure, and narrow the temperature interval of the upper bainitic formation. As the silicon concentration increases, this effect becomes more evident. Quite expensive alloys such as Ni, Cu and Mo are incorporated into the composition of high-strength cast iron to obtain stable bainitic structures.

It is theoretically and practically established that boron micro-additives have a positive effect on the mechanical properties of cast iron. Si is known to reduce the effectiveness of boron micronutrients on the structure and properties of high-strength cast irons. It should be noted that the impact of boron on the wear resistance of bainitic cast iron, technological plasticity and bainitic transformation processes - is almost not studied. It is of scientific interest to study the effectiveness of boron micro additive in replacing such expensive elements as Ni, Cu, Mo.