

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ბესიკი სარალიძე

ახალი ცვეთამედეგი დასადულებელი მასალების
შესწავლა

სადოქტორო პროგრამა მასალათმცოდნეობა
შიფრი - 0412

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი
დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2021 წელი

დისერტაცია შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობის და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტსა და ფ.თავაძის სახელობის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში.

თანახელმძღვანელები: პროფ. მალხაზ ხუციშვილი.....
აკადემიური დოქტორი გურამ დადიანიძე.....
რეცენზენტები: ასოც. პროფ. ზურაბ საბაშვილი.....
აკად. დოქ. ლევან კოტიაშვილი.....

დისერტაციის დაცვა შედგება 2021 წლის „29“ ივლისს 14⁰⁰სთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი II აუდიტორია კომპიუტერული ცენტრი, მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ. #69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატი სა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

მრავალი დეტალის მუშაობის ხანგრძლიობა შეზღუდულია მუშა ზედაპირების ცვეთით. ცვეთა გამოწვეულია მუშა ზედაპირების ხახუნის პროცესის თანმიმდევრული რღვევით, ამ დროს იცვლება მათი ზომები და ფორმა.

მანქანებისა და მექანიზმების დეტალების უმრავლესობა ექსპლოატაციის პროცესში მწყობრიდან გამოდის ცვეთის, დარტყმითი დატვირთვების, კოროზიის და სხვა მიზეზებით. თანამედროვე ტექნიკის განვითარება საშუალებას იძლევა სხვადასხვა მეთოდებით აღვადგინოთ და გავამტიცოთ მათი ზედაპირები, რაც თავისთავად საგრძნობლად ზრდის მათი მუშაობის ხანგრძლიობას. პრაქტიკულად ყველა დეტალის მწყობრიდან გამოსვლის პროცესი იწყება მათი ზედაპირული რღვევით, ამ დროს იცვლება მათი გეომეტრიული ზომები და ფორმა. გეომეტრიული ზომების აღსადგენად საჭიროა გაცვეთილი დეტალების ზედაპირებზე ლილვაკების დადება, რომლებიც გადაფარავენ ერთ, ორ და რამოდენიმე შრეს. ყოველი შემდგომი შრის დადებისას ხდება წინამდებარე შრის მაღალტემპერატურული გახურება, შემოდნობა იცვლება ლითონის სტრუქტურა და განმტკიცებული შრის მოცულობა და შესაბამისად ცვეთამედეგობის გაზრდა .

ცვეთამედეგობა მანქანათა ნაწილებში სიმტკიცესა და სიხისტესთან ერთად არის საიმედოობის ერთერთი მთავარი განმსაზღვრელი.

ცვეთამედეგი ფოლადები გამოიყენება: მიწისმთხრელ დანადგარებში; სოფლის მეურნეობის ტექნიკაში; სამშენებლო მანქანებში; სასარგებლო წიაღისეულის მოსაპოვებელ მანქანებში: ქვების და მადნის სამტვრევ მანქანებში და სხვ. ცვეთამედეგი ფოლადების საექსპლოატაციო თვისებები შესაძლებელია შეინარჩუნებული იყოს 4-ჯერ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ვიდრე ჩვეულებრივი მაღალი სიმტკიცის ფოლადებში .

გავრცელებულია ცვეთის სხვადასხვა ტიპები: აბრაზიული; დაღლილობითი; პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად გამოწვეული;

კავიტაციური; მოლეკულურ-მექანიკური; კოროზიულ-მექანიკური; ჟანგვითი ცვეთა.

ცვეთასთან დაკავშირებული 50% ყველა პრობლემა დაკავშირებულია აბრაზიულ ცვეთასთან .

ცვეთამდეგია მასალები, როცა ხახუნისას და მძიმე დატვირთვებისას ნაკლებათ ცვდება. ცვეთამდეგობა არის საერთოთო ტერმინი ცვეთის სხვადასხვა ტიპებისათვის. კვლევებით დადგენილია, რომ დასადუღებელი მასალების ცვეთამდეგობის მნიშვნელოვან მახასიათებლებს წარმოადგენენ - სიმტკიცე, მოკროსისალე, დარტყმითი სიბლანტე. კარბიდებით მიკროსისალის გაზრდა იწვევს დარტყმითი სიბლანტის შემცირებას.

ცვეთამდეგი ფოლადები შეიცავენ არალითონურ ელემენტებს ნახშირბადს, აზოტს. მათი ატომები ავსებენ ფოლადში რკინის ატომებს შორის ადგილს,რაც აძნელებს ლითონის გისოსის ფენის სრიალს ერთი მეორეზე. შედეგად ცვეთამდეგი შენადნობი უფრო სალია დაუფრო პლასტიკურია ვიდრე სუფთა ლითონები .

კარბიდების არსებობა ფოლადებში აუმჯობესებს ცვეთამდეგობას. მალეგირებელი ელემენტები ქრომი, ვანადიუმი, ვოლფრამი, მოლობდენი აუმჯობესებენ ფოლადების ცვეთამდეგობას.

ამრიგად, ზედაპირების ცვეთა მნიშვნელოვანი პრობლემაა მრავალი დარგისთვის. გაცვეთილი ზედაპირების აღსადგენად და მისი ზედაპირის საექსპლუატაციო მახასიათებლების ასამაღლებად, საიმედოობისა და ხანმდეგობის გასაზრდელად აუცილებელია ცვეთამდეგი დანაფარების დატანა.

როგორც ლიტერატურულმა ანალიზმა გვიჩვენა ცვეთამდეგობის მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს სისალე, სტრუქტურა და ლეგირების დონე. აქედან გამომდინარე კვლევის მიზანი იყო ცვეთამდეგი დანაფარების მიღება. დანაფარების დატანის არსებული მეთოდების ანალიზი, კონკრეტული მეთოდების შერჩევა მათი განხორციელებისათვის საჭირო მასალების დამუშავება.

როგორც ლიტერატურულმა ანალიზმმა გვითვინა დანაფარიანი ელექტროდებით ხელით რკალური დადუღებაა და ფხვნილგულა მავთულით დადუღებაა მცოფლიოში ყველაზე მეტად გავრცელებული ცვეთამედეგი დანაფარების დატანისას. ამასთანავე სულ უფრო იზრდება ფხვნილგულა მავთულის გამოყენება. აღნიშნული მეთოდები გამოირჩევიან ცვეთამედეგი დადუღებისათვის გაწეული დაბალი ხარჯებით, გამოირჩევიან დანადუღის მაღალი ხარისხით, შესაძლებელია დადუღება ვაწარმოთ ძნელად მისადგომადგომ ადგილებში სივრცით ნებისმიერ მდგომარეობაში და როგორც საწარმოებში ასევე საველე პირობებში. ისინი საჭიროებენ დანადუღის ცვეთამედეგობის გაზრდას.

კვლევის ობიექტი და საგანი. კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე, ახალი ფხვნილგულა მავთულების და დანაფარიანი ელექტროდების დადუღების ტექნოლოგიური პარამეტრების კვლევა: ფხვნილგულა მავთულებით დანადუღის მეტალოგრაფიული კვლევა: ფხვნილგულა მავთულებით დანადუღის ტრიბოლოგიური და კოროზიული კვლევა: დანაფარიანი ელექტროდების მეტალოგრაფიული კვლევა.

კვლევის მეთოდოლოგია და მეთოდიკა. დისერტაციის მეთოდოლოგია ემყარება, რკალური მეთოდებით დადუღების თეორიის დებულებებს. ახალი ცვეთამედეგი დასადუღებელი ფხვნილგულა მავთულების და დანაფარიანი ელექტროდების დადუღების ტექნოლოგიური პარამეტრების კვლევისას გამოყენებული იყო ინვერტორული არგონრკალური შედუღების აპარატი TIG MMA 320, მუდმივი დენის კვების წყარო P – ARC 840 და მუდმივი დენის კვების წყარო BDU-506.

მეტალოგრაფიული კვლევები ჩატარდა მიკროსკოპ NEOFOT- 32 - ზე, სისაღების გაზომვა მოხდა დანადგარზე ТП-7P-1 - ზე აღმასის პირამიდით. ტრიბოლოგიური ტესტირება ჩატარდა ლაბორატორიულ ხახუნის მანქანა CMI-2-ზე.

ნაშრომში გამოყენებულია ასევე უცხოელ და ქართველი მეცნიერეთა სამეცნიერო შრომები.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლეები

დადგენილია ახალი ფხვნილგულა მავთულების და დანაფარიანი ელექტროდების ცვეთამედეგი დანადურების ტექნოლოგიური პარამეტრების დიაპაზონები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დადურების საუკეთესო შედეგს. დაბალ დენებზე 120 ა. -მდე დადურების ხარისხი დაბალია, ხოლო 140 ა.-ის ზევით დადურების ხარისხი საშუალოა ან მკვეთრად უარესდება, რაც გამოწვეულია დადურებული ლითონის გადახურებით, ჩადურების სიღრმის გაზრდით, დანადურის ზედაპირის არაერლგვაროვნებით, ჭარბი დასადურებელი მასალის ხარჯვით.

დადგენილია, რომ ფხვნილგულა მავთულებით დანადურის, რომლის ლენტაც შედგება 20% ქრომი და 80% ნიკელი ან 08-кп, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება Cr_3C_2 სხვა კომპონენტებთან ერთად ორშრიან დანადურზე დაფიქსირებულია მინიმალური ცვეთა, რადგან ორშრიან დანადურებზე მაქსიმალურია სისალები, სამშრიან დანადურებზე მკვეთრად იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი, რადგან მესამე შრის დადურების შემთხვევაში ხდება ლითონის გადახურება, რის შედეგადაც გამოწვეულია სტრუქტურული ცვლილებებით, რა დროსაც მარცვლებში ჩამოყალიბდა წონასწორული სტრუქტურა ნელი გაციების გამო, რომლის სიბლანტის მახასიათებელი არის შემცირებული.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავისა და დასკვნებისაგან. შეიცავს რეზიუმეს, შინაარსს, 16 ნახაზს, 36 სურათს, 17 ცხრილს, ციტირებული ლიტერატურის ნუსხას 120 წყაროს დასახელებით. დისერტაცია წარმოდგენილია 148 A4 ფორმატის ფურცელზე.

სადისერტაციო ნაშრომის მეთოდოლოგიური და თეორიული მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას, რკალური მეთოდებით, ახალი ფხვნილგულა მავთულით და დანაფარიანი ელექტროდით ცვეთამდეგი დანადურის დატანისას, დადულების თეორიის ტექნოლოგიის სრულყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა. სადისერტაციო ნაშრომის დასკვნები და შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას რკალური მეთოდებით ახალი ფხვნილგულა მავთულით და დანაფარიანი ელექტროდით ცვეთამდეგი დანადურის დატანისას. შესაძლებელია საქართველოში იქნას წარმოებული, გამოკვლეული ცვეთამდეგი დანადურების მისაღებად, ახალი ფხვნილგულა მავთულები და დანაფარიანი ელექტროდები. სამამულე წარმოების დასადაულებელი მასალები იქნება ხარისხიანი, იაფი და ეკონომიკურად გამართლებული. ამასთანავე მისი წარმოება ქვეყანაში გაზრდის სამუშაო ადგილებს.

ნაშრომის აპრობაცია

კვლევის შედეგები მოხსენებულია - მირიჯანაშვილი ზ., ხუციშვილი მ., დადიანიძე გ., სარალიძე ბ. ახალი ცვეთამდეგი დასადაულებელი მასალის დამუშავება საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია, გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. თეზისების კრებული, თბილისი 2019, გ. 46-48.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების

მიხედვით

პირველ თავში ლიტერატურულ მიმოხილვაა. განხილულია დანაფარების დადების მეთოდების კონკრეტული მეთოდების შერჩევა მათი განხორციელებისათვის საჭირო მასალების დამუშავება. განხილულია აირთერმული დანაფარების დადების მეთოდები: აირალოვანი დაფრქვევა,

დეტონაციური დაფრქვევა, რკალური მეტალიზაცია. ელექტროიმპულსური, პლაზმური დაფრქვევა. ნაჩვენებია აირთერმული დანაფარების დადების პროცესის არსი, ცალკეული მეთოდების დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

ნაჩვენებია, რომ პლაზმური დაფრქვევისას მაღალენტალპიური ლამინარული ნაკადების გამოყენებით შეცვლილია დაფრქვევის ხასიათი და გაუმჯობესებულია დანაფარის მახასიათებლები. ასევე ნაჩვენებია, რომ ლამინარული პლაზმური ნაკადები ტურბოლენტურთან შედარებით ხასიათდებიან მაღალი ენერგოშემცველობით, ასევე მათი დიდი გაჭიმულობის (500 - 600მმ-მდე) უზრუნველოფს ნაწილაკების უფრო სრულყოფილ გადნობას და დანაფარის დადების ხარისხის გაუმჯობესებას. ნაჩვენებია ასევე პლაზმური დაფრქვევის უარყოფითი მხარეები.

ნაჩვენებია, რომ დადუღება გაცვეთილი დეტალების აღსადგენად და ცვეთამედეგი ზედაპირების მისაღებად დანაფარების დატანის ყველაზე მნიშვნელოვანი მეთოდია. განხილულია პლაზმური დადუღება. ნაჩვენებია, რომ პლაზმური დადუღება მართალია იძლევა ცვეთამედეგი დადუღების საუკეთესო შედეგებს, მაგრამ შემდუღებლისაგან მოითხოვს მაღალ კვალიფიკაციას და ყურადღების კონცენტრაციას.

პლაზმური დადუღებისას ძირითადად გამოიყენება პლაზმაწარმომქმნელ და დამცავ აირებად არგონი, რაც აძვირებს ტექნოლოგიურ პროცესს.

პლაზმატრონებში ვოლფრამის უდნობი ელექტროდი ან წყლის გამაცივლებიანი სპილენძის ელექტროდი და საქშენები ხასიათდებიან შედარებით დაბალი რესურსით, რის გამოც საჭირო ხდება მათი ხშირი გამოცვლა. ეს თავის მხრივ ართულებს და აძვირებს ტექნოლოგიურ პროცესს.

განხილულია ელექტრორკალური დადუღების მეთოდები. ნაჩვენებია, რომ დანაფარიანი ელექტროდებით შესაძლებელია ცვეთამედეგი დანაფარების მიღება სივრცით ნებისმიერ მდგომარეობაში. მათი განმახორციელებელი აპარატურა ხასიათდება სიაფით და შესაძლებელია დანაფარის

განხორციელება საველე პირობებშიც. დანაფარიანი ელექტროდები საჭიროებენ დანაფარის ცვეთამედეგობის გაზრდას.

ლიტერატურული ანალიზით დასაბუთებულია ,რომ მსოფლიოში სულ უფრო მზარდია დადულებისათვის განკუთვნილი ფხვნილგულა მავთულებზე მოთხოვნები. მნიშვნელოვანია ახალი დასადულებელი ცვეთამედეგი ფხვნილგულა მავთულების დამუშავება და კვლევა.

დისერტაციის მეორე თავში წარმოდგენილია ახალი ცვეთამედეგი დასადულებელი ფხვნილგულა მავთულების კვლევა. მოცემული ახალი ფხვნილგულა მავთულების შემადგენლობები და მათი დამზადების ტექნოლოგია:

- ა. რომლის ლენტაც შედგება 20% ქრომი და 80% ნიკელი, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება Cr_3C_2 სხვა კომპონენტებთან ერთად;
- ბ. რომლის ლენტაც შედგება $08KII$, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება Cr_3C_2 სხვა კომპონენტებთან ერთად;
- გ. რომლის ლენტაც შედგება $08KII$, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება CrB_2 , სხვა კომპონენტებთან ერთად;
- დ. რომლის ლენტაც შედგება $08KII$, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება $(TiCr)B_2$.

ჩვენს მიერ დამზადებული ფხვნილგულა მავთულებით მოვახდინეთ არგონრკალური მეთოდით დადულება საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ინვენტორული შედულების აპარატზე TIG MMA 320-ზე, ხოლო ფ.თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში BДУ-506-ზე.

ფხვნილგულა მავთულების დადულების ტექნოლოგიური პარამეტრების კვლევებმა აჩვენა, რომ დაბალ დენებზე 120 ა. - მდე დადულების ხარისხი დაბალია, ხოლო 140 ა.-ის ზევით დადულების ხარისხი საშუალოა ან მკვეთრად უარესდება, რაც გამოწვეულია დადულებული ლითონის გადახურებით, ჩადულების სიღრმის გაზრდით, დანადურის ზედაპირის არაერღვაროვნებით, ჭარბი დასადულებელი მასალის ხარჯვით.

ზემოთ მოყვანილი ფხვნილგულა მასალების დადუღების ოპტიმალური რეჟიმებზე ფოლად 20-ზე, მოხდა ერთ, ორ და სამშრედ დადუღება, დამზადდა ხეხები და მოხდა მოწამვლა, მეტალოგრაფიული კვლევა ჩატარდა მიკროსკოპ NEOFOT- 32 - ზე. სისაღების გაზომვა მოხდა დანადგარზე TII-7P-1 - ზე აღმასის პირამიდით.

ერთშრიანი დადუღებული ნაკერის მიკროსტრუქტურა რომელიც გადაღებულია დადუღებული ზონის სხვადასხვა უბანში ერთმანეთისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება, კარბიდული ჩანართების ფორმით, ზომებით, ურთიერთგანლაგებით. კარბიდული ჩანართები მსხვილი და წაგრძელებულია, შეინიშნება კარბიდული ჩანართების თავმოყრის უბნები, სადაც ჩანართები არაერთგვაროვანი ფორმითა და ზომებით გამოირჩევა: მსხვილ კარბიდულ ჩანართებთან ერთად მოსჩანს შედარებით უფრო წვრილი და ნებისმიერად ორიენტირებული კარბიდული ჩანართები.

ანალოგიური სიტუაცია შეინიშნება ორშრიან და სამშრიან დადუღებულ ნაკერებში, რომლებშიც დადუღების თვალთაზრისით კარბიდული ჩანართები უფრო მოწესრიგებული და მისაღებია ჩამოყალიბებული სტრუქტურები, დანარჩენ სურათებში სტრუქტურები ერთმანეთის მიმართ ანალოგიურია, მაგრამ ერთშრიან დადუღებულ ნიმუშთან შედარებით კარბიდული ჩანართები უფრო უხეში ფორმით გამოირჩევა.

სამშრიან დადუღებულ ნიმუშზე განსხვავებით გამოირჩევა სრულიად განსხვავებული სტრუქტურით, სადაც მკაფიოდ არის გამოხატული კარბიდული ლიკვაციის ზონები.

მიკროსისალის გაზომვის შედეგები იძლევა შესაძლებლობას დავასკვნათ, რომ ნაჩვენები თეთრი უბნები (სისაღე 7281,4 მგპა) კარბიდულ ფაზას მიეკუთვნება.

მუქი უბნები შეესაბამება ძირითადი ლითონის სტრუქტურას, რომელიც საწყის მდგომარეობაში ფერიტო-პერლიტურია, ხოლო დადუღებულ ზონაში არ არის გამორიცხული მისი ლეგირება და ტროსტიტულ სტრუქტურასთან მიახლოებით აგებულებას ღებულობს, გაზომვების თანახმად მისი სისაღე

შეადგენს (5188 მგპა) აღსანიშნავია ერთი გარემოება, რომ კარბიდული ჩანართების ცენტრიდან ძირითადი ლითონის საზღვართან მიახლოებასთან ერთად სისალის მნიშვნელობა თანდათან მცირდება მაქსიმალურიდან მინიმალურ მნიშვნელობამდე (8362,732 - 11078,9 - 7281,4 მგპა).

ამასთან აღსანიშნავია, რომ სისალის მნიშვნელობა მაქსიმალურია, ვინაიდან გამორიცხულია დიფუზური პროცესები ნახშირბადმცირე ძირითად ლითონთან და შენარჩუნებულია დადუღებული ზონისათვის დამახასიათებელი თვისებები, რომელიც უახლოვდება დასადუღებელი ფხვნილგულა მავთულის შედგენილობას.

ქრომნიკელიანი გარსაცმით დამზადებული ფხვნილგულა მავთულით დადუღებული ზედაპირის მეტალოგრაფიულმა გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ ორშრიან ნიმუშებში შეიმჩნევა მომატებული სისალე, რაც იძლევა ვარაუდს რომ შესაბამისად იქნება გაზრდილი ცვეთამედეგობაც.

დამზადებული ფხვნილგულა მავთულით დადუღებული ზედაპირის მეტალოგრაფიულმა გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ ორშრიან ნიმუშებში შეიმჩნევა მომატებული სისალე, რაც იძლევა ვარაუდს რომ შესაბამისად იქნება გაზრდილი ცვეთამედეგობაც.

სისალებებისა და მიკროსისალების გაანალიზებამ გვიჩვენა, რომ მესამე შრის დადუღების შემთხვევაში ხდება ლითონის გადახურება, რის შედეგადაც გამოწვეულია სტრუქტურული ცვლილებებით, რა დროსაც მარცვლებში ჩამოყალიბდა წონასწორული სტრუქტურა ნელი გაციების გამო, რომლის სიბლანტის მახასიათებელი არის შემცირებული.

ტრიბოლოგიური კვლევები ჩატარდა ფხვნილგულა მავთულებზე, რომლებიც შედგება: ქრომნიკელიანი გარსაცმით დამზადებული ფხვნილგულა მავთულით სადაც Ni 80% და Cr 20% -ია და ფხვნილი შედგება Cr₃C₂ ასევე, რომლის ლენტაც შედგება 08кп, ხოლო გულარის ფხვნილი შედგება Cr₃C₂ სხვაკომპონენტებთან ერთად.

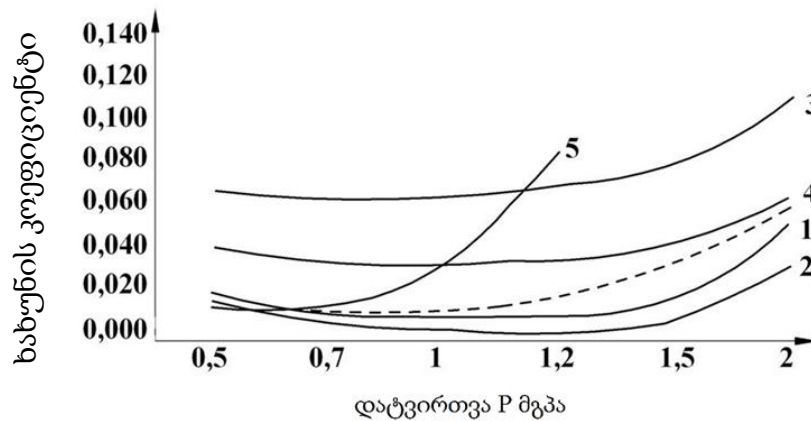
დადუღდა სპეციალურ ნიმუშებზე (ზომით გარე დიამეტრი 50 მმ, შიგა დიამეტრი 40 მმ, სიმაღლე 9 მმ) ერთი, ორი და სამ შრიანი ფენები.

ტრიბოლოგიური ტესტირება ჩატარდა ლაბორატორიულ ხახუნის მანქანა CMI-2-ზე.

ტრიბოლოგიური კვლევის შედეგები ორი საათის განმავლობაში (10 წუთის ინტერვალით) მოყვანილია ცხრილებში 1, 2, 3 და გრაფიკულად ნახ. 1 -ზე მოცემულია დამოკიდებულება დატვირთვისა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის

დადგინდა, რომ დატვირთვის მოცემულ დიაპაზონში შეხეთვისას ადუღებული ზედაპირები აჩვენებენ დაბალ ხახუნის კოეფიციენტს და მათი ცვეთა უმნიშვნელოა.

დადუღებულ ერთ, ორ და სამშრიანზე საგრძნობლად ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს და შესაბამისად ცვეთას, რაც დადასტურებული იყო მიკროსისალების ზრდითაც, როგორც მეტალოგრაფიულმა ანალიზებმა გვიჩვენა ორშრიან დანადგურებზე მაქსიმალურია სისალები, აქაც როგორც ნახაზიდან ჩანს სამშრიან დანადგურებზე მკვეთრად იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი და შესაბამისად მცირდება ცვეთამდეგობა.



ნახ.1. დამოკიდებულება დატვირთვისა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის დანადგურის:

1-ერთშრიანი 08-KII+Cr₃C₂, 2-ორშრიანი 08-KII+Cr₃C₂;

3-ერთშრიანი NiCr+Cr₃C₂, 4-ორშრიანი NiCr+Cr₃C₂, 5-სამშრიანი NiCr+Cr₃C₂

ნახ. 2 - ზე მოცემულია დამოკიდებულება სრიალის მანძილსა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის: NiCr+Cr₃C₂, სხვა კომპონენტებთან ერთად. დაახლოებით 1300 მეტრის გავლის შემდეგ ხახუნის კოეფიციენტი

უმნიშვნელოდ იცვლება. შეიძლება დავასკვნათ, რომ დადუღებული ნიმუშის ზედაპირი სატაბილური სისალისაა და შესაბამისად ცვეთამდეგობაზე მნიშვნელოვან ცვლილებებს არ შეიტანს. აქედან გამომდინარე ზედაპირის ცვეთამდეგობაც სტაბილური იქნება.

ცხრილი 11. NiCr+Cr₃C₂-ით დანადული ფენის ტესტირების შედეგები
ორშრიანი

| P ₄ =1.5 მგპა | | | P ₅ =2.0 მგპა | |
|--------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|
| ხაზ. კოეფ.f | ცვეთ Δq, მგ | ხაზ. ტემ. T ^o c | ხაზ. კოეფ.f | ცვეთ Δq, მგ |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0.0827 | 4მგ | 50 | 0.0870 | 8მგ |
| 0.0898 | | 90 | 0.0950 | |
| 0.0960 | | 110 | 0.0980 | |
| 0.0870 | | 115 | 0.1050 | |
| 0.0870 | | 120 | 0.1100 | |
| 0.0870 | | 120 | 0.1200 | |
| 0.0870 | | 120 | 0.1200 | |
| 0.0870 | | 120 | 0.1200 | |

ორშრიანი

| | | | | | |
|----|--------|------------------------|----|-------|------------------------|
| 35 | 0.0675 | ცვეთა არ ფიქსირდება | 70 | 0.087 | ცვეთა არ ფიქსირდება |
| 58 | 0.0613 | | 85 | 0.084 | |
| 65 | 0.0630 | | 90 | 0.084 | |
| 70 | 0.0580 | | 85 | 0.072 | |
| 70 | 0.0536 | | 85 | 0.071 | |
| 70 | 0.0489 | | 85 | 0.071 | |
| 70 | 0.0489 | | 85 | 0.071 | |
| 70 | 0.0489 | | 85 | 0.071 | |

სამშრიანი

| | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| P ₄ =1.5 ვერ იმუშავა | P ₅ =2.0 ვერ იმუშავა |
|------------------------------------|------------------------------------|

ცხრილი 12. NiCr+Cr₃C₂ დანადგლის ტესტირების ტრიბოლოგიური პარამეტრები.
ტესტირების დრო 2 სთ. თვითოეულ დატვირთვაზე

| | დატვირთვა, მგპა | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
|------------|-------------------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|
| ერთენიანი | | | | | | |
| 1 | ხახუნის ტემპერატურა T°C | 38 | 48 | 65 | 90 | 120 |
| 2 | ხახუნის კოეფიციენტი | 0.067-0.065 | 0.060 | 0.076 | 0.087 | 0.012 |
| 3 | ცვეთა Δq, მგ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| ორფენიანი | | | | | | |
| 1 | ხახუნის ტემპერატურა T°C | 38 | 38 | 55 | 70 | 5 |
| 2 | ხახუნის კოეფიციენტი | 0.04 | 0.03 | 0.047 | 0.0429 | 50.071 |
| 3 | ცვეთა Δq, მგ | 5 | - | 4 | - | - |
| სამფენიანი | | | | | | |
| 1 | ხახუნის ტემპერატურა T°C | 32 | 28 | 85 | - | - |
| 2 | ხახუნის კოეფიციენტი | 0.011 | 0.015 | 0.18 | | |
| 3 | ცვეთა Δq, მგ | 3.5 | - | - | | |

ცხრილი 13. 08KII+Cr₃C₂ დანადგლის ტესტირების ტრიბოლოგიური შედეგები.

ერთშრიანი

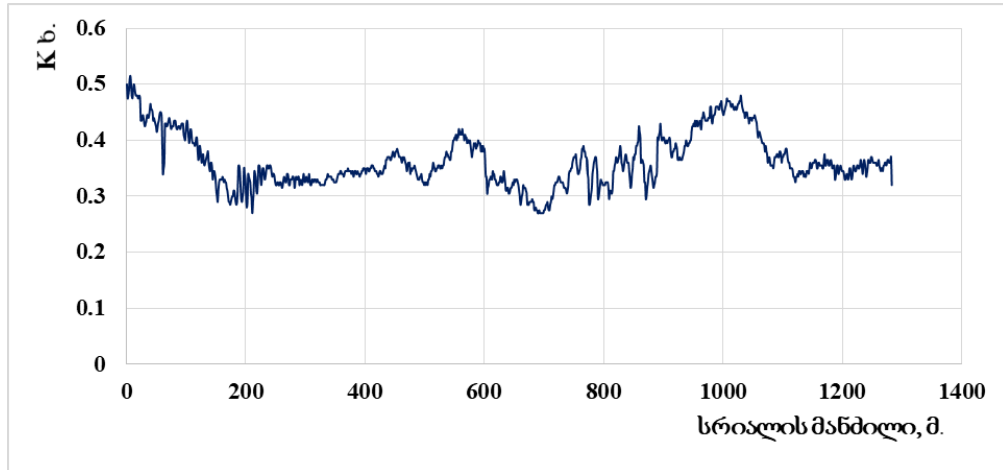
| P ₁ =0.5 მგპა | | | P ₂ =0.7 მგპა | | | P ₃ =1.0 მგპა | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| ხახ. ტემ. T ⁰ c | ხახ. კოეფ. f | ცვეთა Δq, მგ | ხახ. ტემ. T ⁰ c | ხახ. კოეფ. f | ცვეთა Δq, მგ | ხახ. ტემ. T ⁰ c | ხახ. კოეფ. f | ცვეთა Δq, მგ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 30 | 0.067 | 4 მგპა | 30 | 0.057 | 4 მგპა | 40 | 0.074 | 4 მგპა |
| 35 | 0.067 | | 45 | 0.067 | | 50 | 0.076 | |
| 35 | 0.067 | | 50 | 0.076 | | 55 | 0.079 | |
| 35 | 0.065 | | 48 | 0.057 | | 60 | 0.079 | |
| 36 | 0.065 | | 45 | 0.057 | | 65 | 0.079 | |
| 38 | 0.065 | | 48 | 0.060 | | 65 | 0.076 | |
| 38 | 0.065 | | 48 | 0.060 | | 65 | 0.076 | |
| 38 | 0.065 | | 48 | 0.060 | | 65 | 0.076 | |

ორშრიანი

| | | | | | | | | |
|----|--------|--------|----|--------|------------------------|----|-------|--------|
| 38 | 0.100 | 5 მგპა | 32 | 0.076 | ცვეთა არ ფიქსირდება | 50 | 0.094 | 4 მგპა |
| 40 | 0.090 | | 40 | 0.0320 | | 60 | 0.081 | |
| 38 | 0.075 | | 40 | 0.0320 | | 60 | 0.076 | |
| 40 | 0.052 | | 40 | 0.0285 | | 60 | 0.072 | |
| 40 | 0.0450 | | 40 | 0.0285 | | 60 | 0.047 | |
| 40 | 0.0400 | | 38 | 0.0285 | | 55 | 0.047 | |
| 40 | 0.0400 | | 38 | 0.0285 | | 55 | 0.047 | |
| 38 | 0.0400 | | 38 | 0.0285 | | 55 | 0.047 | |

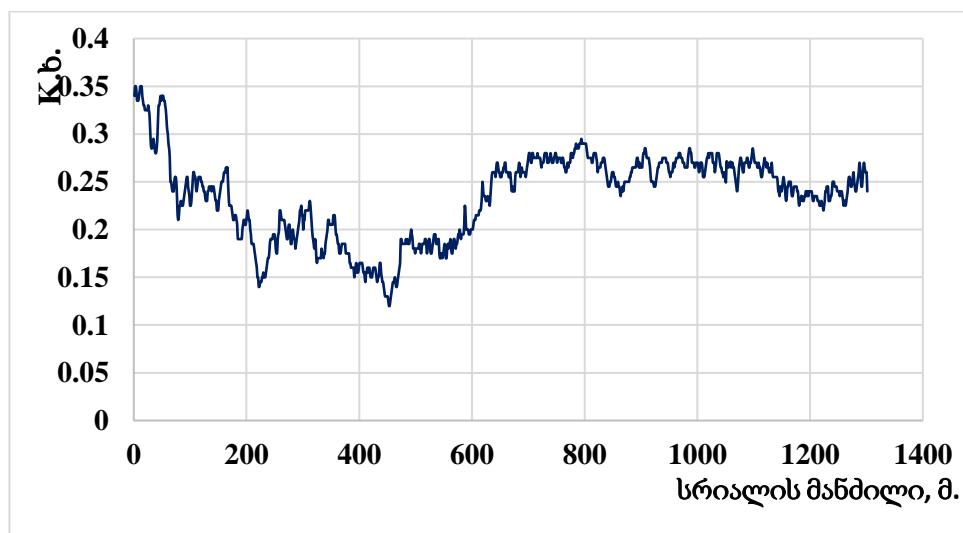
სამშრიანი

| | | | | | | | | |
|----|-------|----------|----|-------|----------------------------|----|-------|-----------------------|
| 30 | 0.016 | 3.5 მგპა | 22 | 0.031 | ცვეთა არ ფიქსირდე ბა | 50 | 0.114 | მოხდა ჩაჭეჭყ ვა |
| 32 | 0.018 | | 25 | 0.029 | | 60 | 0.113 | |
| 32 | 0.013 | | 25 | 0.020 | | 60 | 0.110 | |
| 32 | 0.013 | | 27 | 0.019 | | 85 | 0.180 | |
| 32 | 0.011 | | 27 | 0.018 | | | | |
| 32 | 0.011 | | 27 | 0.017 | | | | |
| 32 | 0.011 | | 27 | 0.015 | | | | |
| 32 | 0.011 | | 28 | 0.015 | | | | |

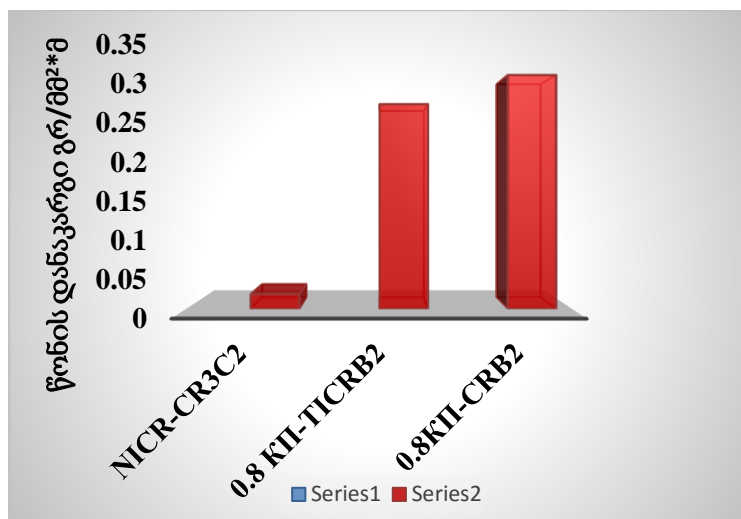


ნახ. 2 დამოკიდებულება სრიალის მანძილსა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის: $NiCr+Cr_3C_2$, სხვა კომპონენტებთან ერთად

ნახ.3 - ზე. მოცემულია დამოკიდებულება სრიალის მანძილსა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის 1200 - დან 1350 მეტრამდე გავლის შემდეგ გარკვეულ მონაკვეთზე განიცდის მცირედ ჩავარდნას, რაც აისახება მასური წონის დანაკარგზედაც და შესაბამისად ცვეთამედეგობაზე მნიშვნელოვნად არ იმოქმედებს. სურათი 1.



ნახ. 3 დამოკიდებულება სრიალის მანძილსა და ხახუნის კოეფიციენტს შორის: ლენტა 08კი ფხვნილგულა მავთულით დადუღებული ფლ. 20-ზე Ar-ის ქვეშ; ფხვნილის შემადგენლობა: $(TiCr)B_2$ საჭირო კომპონენტებთან ერთად



სურათი 1. ცვეთაზე გამოცდილი 1. NiCr-Cr₃C₂, 2. 08KII - (TiCr)B₂, 3. 08KII - CrB₂, ნიმუშების მასური წონის დანაკარგი

ფხვნილგულა მავთულით დანადულების კოროზიულმა კვლევამ აჩვენა, რომ მოცემული სამი სხვადასხვა შემადგენლობის ნიმუშებიდან საუკეთესო

შედეგი აჩვენა კოროზიამედეგობის თვალსაზრისით დანადულმა, რომლის ლენტაც შედგება 20% ქრომი და 80% ნიკელი, ხოლო გულარის ფხნილი შედგება Cr₃C₂ სხვა კომპონენტებთან ერთად.

დისერტაციის მესამე თავში წარმოდგენილია ახალი ცვეთამედეგი დასადულებელი დანაფარიანი

ელექტროდების კვლევა, ახალი დანაფარიანი ელექტროდები დამუშავებული და დამზადებული იქნა ფ. თავაძის სახელობის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში პრესზე, ორი სახის:

1. ელექტროდის შემადგენლობაა ღერო Ni-80%, Cr-20%. დაფარვაში შეყვანილია ქრომის კარბიდი Cr₃C₂, საჭირო კომპონენტებთან ერთად 2.

ელექტროდის შემადგენლობაა ღერო cB-08, ხოლო დაფარვაში შეყვანილია ქრომის კარბიდი Cr₃C₂, საჭირო კომპონენტებთან ერთად. დასადულებელი

მასალის უკეთ შესწავლისათვის და შემდგომი კვლევისათვის იგივე კაზმით, რომელიც გამოყენებული იყო ფხვნილგულა მავთულის ნიქრომის ლენტის შემთხვევაში, კაზმს რომლის წონის 25%-ს ემატება თხევადი მინა, რომლის

შემდეგაც დამზადდა ელექტროდები. Φ 3 მმ სიგრძით 350 მმ. ხოლო დანარჩენი ელემენტების პროცენტული შემადგენლობა მოცემულია:

კაზმის ქიმიური შემადგენლობა %-ში.

| | |
|---|----------|
| რუტილი----- | 25-30 |
| ქრომის კარბიდი----- | 25-30 |
| კალციუმის ფტორიდი----- | 20-21 |
| ფეროვანადიუმი----- | 0,35-0,5 |
| ფეროტიტანი----- | 0,8-1,0 |
| ბორის კარბიდი----- | 1,0-1,5 |
| ნატრიუმის სილიციუმ ფტორიდი---- | 1,5-2,0 |
| მარმარილო----- | 11-12 |
| აზოტირებული ფერომანგანუმი----- | 0,3-0,5 |
| სპილენძი----- | 0.3-1.0 |
| ალუმინი----- | 1.0-1.5 |
| გრაფიტი----- | 1.0-1.5 |
| კობალტი----- | 1.0-1.5 |
| ცერიუმის ჯგუფის იშვიათ მიწათა ლითონები GeF ₃ , LaF ₃ , NaF ₃ , PrF ₃ , YF ₃ -- | 0.5-1.0 |

რკინა-----დანარჩენი

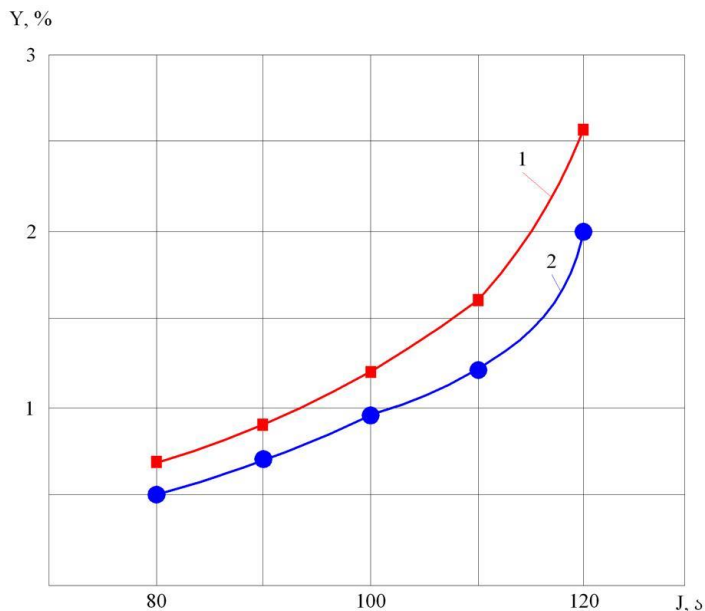
ტექნოლოგიური პარამეტრების კვლევისას გამოყენებული იყო მუდმივი დენის კვების წყარო P – ARC 840.

დანაფარიანი ელექტროდით შედუღებისას და დადუღებისას უარყოფით მხახეს წარმოადგენს ლითონის დანაკარგი გაშხეფვასა და ამოწვაზე, რომლის მნიშვნელობაც ზოგჯერ ღეროს 20% - მდე იზრდება.

გაშხეფვის ძირითად მიზეზებს წარმოადგენს: შედუღების პროცესის არასტაბილურობა; ქიმიური რეაქციების შედეგად გამდნარი ლითონიდან აირების ფეთქებადი სახით გამოყოფა; ელექტროდიდან ლითონის წვეთის გადატანის არასტაბილური ხასიათი, როცა წვეთის მომწყვეტი ძალა მიმართულია აბაზანის მიღმა და წვეთი გადაისროლება მის გარეთ.

დანაფარიანი ელექტროდით შედუღებისას და დადუღებისას დანაკარგი გაშხეფვასა და ამოწვაზე გამოვიკვლიეთ შესაბამისად . ორივე სახის ელექტროდებზე გაშხეფვისა და ამოწვის დამოკიდებულება შედუღების დენზე მოცემულია ნახ. 4.

ტექნოლოგიური მახასიათებლებით: ორივე სახის ახალი ელექტროდების გაუმდნარი დანაფარისაგან მიღებული მილისებური გამონაშვერი დენგამტარია. აქედან გამომდინარე მეორადი ანთება საიმედოა; გაშხეფვაზე და ამოწვაზე დანაკარგები დასაშვებ ზღვრებშია; დანადუღში არ შეიმჩნევა ბზარები, ფორები და დაუდუღებელი ზონები.



ნახ. 4 გაშხეფვისა და ამოწვის დამოკიდებულება შედუღების დენზე:

1 - დანაფარიანი ელექტროდი, რომლის საშემდუღებლო მათულად გამოყენებულია შენადნობი Ni-80%, Cr-20%. 2 - დანაფარიანი ელექტროდი, რომლის საშემდუღებლო მათულად გამოყენებულია СВ-08 (ГОСТ 2246 70).

დანაფარიანი ელექტროდების მეტალოგრაფიული კვლევისათვის დადუღება მოხდა მუდმივი დენის კვების წყაროს ВДУ-506-ის დახმარებით უკუპოლარობით და მოკლე რკალით. დადუღება მოხდა ფოლად 20-ზე ერთ, ორ და სამშრედ დადუღებული ნიმუშებიდან დამზადდა მიკროხეხები. მიკროსტრუქტურული კვლევა განხორციელდა NEOFOT-32-ზე, რომელთა მიკროსტრუქტურები მოცემულია სურათზე 2, 3, 4.

სურათზე 2 - ა. ნაჩვენები ძირითადი ლითონის მიკროსტრუქტურა შეესაბამება, საწყისი ფოლადის სტრუქტურას, თუმცა სტრუქტურის ხასიათიდან გამომდინარე ფერიტის მარცვლები უმნიშვნელოდ, მაგრამ წაგრძელებულია და მიღებული აქვს ფირფიტოვანი ფორმა, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ დადუღების პროცესში ლითონის ეს უბანი გადახურებულია.



ა-X400



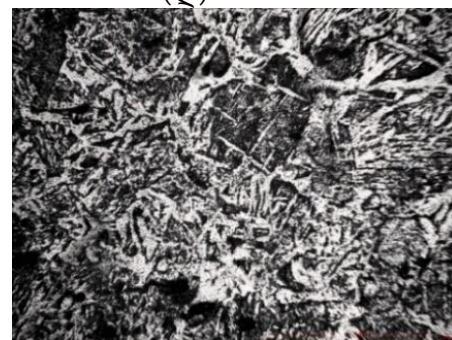
(ბ)-X400



(გ)-X400



(დ)-X400



სურათი 2. ერთობრიანი დადუღება - სადაც ნაჩვენებია სხვადასხვა ადგილების მიკროსტრუქტურები

ბ,გ-დადულების ზონაში თავდაპირველად წარმოქმნილია საკმაოდ წვრილმარცვლოვანი ზონა, დადულებული უბნის სისქის ზრდასთან ერთად სტრუქტურა ღებულობს სვეტოვან აგებულებას და მარცვლის ზომა თანდათან იზრდება, რასაც უნდა ველოდოთ რადგან დადულების პროცესში ზედაპირულ ფენებში სითბოს გაცემის ხარისხი ნაკლებია და იგი ლითონის მოცულობაში აკუმულირდება.

მარცვლის წაგრძელებული ფორმა მიუთითებს სითბოს მიმართულებით გაცემაზე, როგორც ლითონის მიმართულებით ისე ზედაპირიდან ატმოსფეროში.

მეორე ნიმუშზე - სტრუქტურული ზონა მეტად წვრილმარცვლოვანია და უახლოვდება სორბიტულ აგებულებას, ასეთი სტრუქტურის ჩამოყალიბება უნდა დავაკავშიროთ აღნიშნული ზონის მნიშვნელოვან გადაციებასთან.

დადულებულ ზონაში მკვეთრად განირჩევა სხვადასხვა მიმართულებით ორიენტირებული წაგრძელებული კრისტალები, რომლის ჩამოყალიბებაც შეიძლება დავაკავშიროთ სითბოს არათანაბარ გაცემასთან (ტემპერატურის ფლუქტუაციასთან) აღნიშნულ ზონაში.

მესამე ნიმუშზე - მკვეთრად არის გამოხატული ვიდმანშტეტური სტრუქტურა, რომელიც ყალიბდება ($\gamma \rightarrow \alpha$), ასეთ პირობებში წარმოქმნილი კრისტალები ღებულობს ფირფიტის ფორმას, თუმცა მიკროხეხის სიბრტყის ჭრილში ეს ფირფიტები ზოლების სახით მოსჩანს, დ.ე.ვ. ნიმუშებშიც თითქმის ანალოგიური სტრუქტურები გვხვდება.



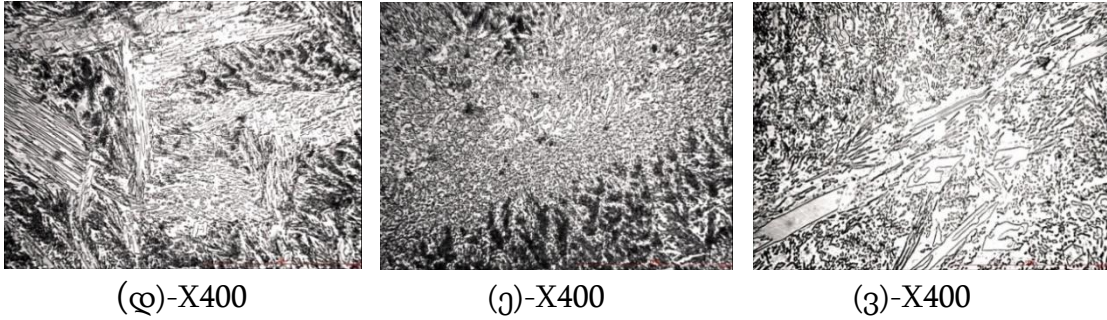
(ა)-X400



(ბ)-X400



(გ)-X400



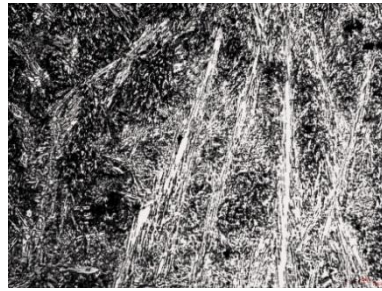
სურათი 3. ორშრიანი დადუღება - სადაც ნაჩვენებია სხვადასხვა ადგილების მიკროსტრუქტურები

პირველ ნიმუშზე - ა-პირველი და მეორე შრეების გამყოფი ზედაპირი მკვეთრად არის გამოხატული. ბ- მეორე დადუღებული აგებულების თავისებურება იმაში მდებარეობ, რომ მკვეთრად არის გამოხატული დენდრიტული აგებულება, რაც ლითონში შედარებით ნელი გაციებით უნდა ყალიბდებოდეს.

დენდრიტების პირველადი ღერძები თითქმის ურთიერთ პარალელურია, რაც სითბოს ერთი მიმართულებით გაცემაზე მიუთითებს. მცირეოდენი დეზორიენტაცია, რომელიც მიკროსტრუქტურის ცენტრალურ ზონში შეინიშნება, უნდა დავაკავშიროთ თხევადი ფაზის კონვექციასთან.

მეორე ნიმუშზე - გ-ვიდმანშტეტური სტრუქტურა, გამოკვეთილია აგრეთვე მეორე დადუღებული ზონის ზოგიერთ უბანში. ამის ახსნა შესაძლებელია, იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ დადუღების პროცესში არ შეიძლება გამოირიცხოს ტემპერატურული ფლუქტუაციები, რაც განსხვავებულ სტრუქტურების ჩამოყალიბებას შეუწყობს ხელს.

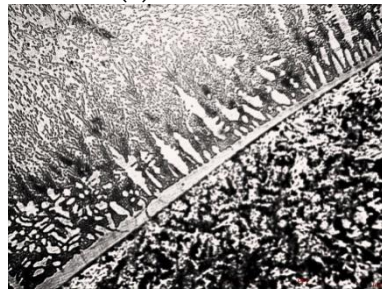
ამის მაგალითად გამოდგება აგრეთვე მესამე სტრუქტურა, სადაც ჩამოყალიბებულია მარცვლოვან პერლიტთან მიახლოებული სტრუქტურული ზონა.



(ა)-X400



(ბ)-X400



(გ)-X400



(დ)-X400



(ე)-X400



(ვ)-X400

სურათი 4. სამშრიანი დადუღება - სადაც ნაჩვენებია სამშრიანი ნიმუშის სხვადასხვა ადგილების მიკროსტრუქტურები

პირველ ნიმუშზე - მესამე დადუღებულ ზონაში ჩამოყალიბებული სტრუქტურა პირველთან მეტად მიახლოებულია. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ სვეტოვანი აგებულების დენდრიტული კრისტალები უშუალოდ ფაზათა გამყოფ ზედაპირის მახლობლობაში წარმოიქმნება.

უშუალოდ მეორე ქვეშრეზე დაუღებულ ზონა მეტად წვრილმარცვლოვანია, მისი ჩამაყალიბების შემდეგ იქმნება სითბოს მიმართულებითი გაცემის პირობები, რამაც განაპირობა სვეტოვანი კრისტალური ზონის ჩამოყალიბება, ხოლო უფრო ზედა ფენების მიკროსტრუქტურის ხასიათიდან გამომდინარე მრავალწახნაგა აგებულებისაა და გაციების შემდეგ იგი წვრილმარცვლოვანი პერლიტური (სორბიტული) სტრუქტურას უახლოვდება.

მეორე ნიმუშის - მიკრო უბანში ჩამოყალიბებული სტრუქტურა საკმაოდ მიახლოებულია წონასწორულ ფერიტო-პერლიტურ სტრუქტურასთან და იგი ყალიბდება ნელი, წონასწონურთან მიახლოებული სითბოს გაცემის პირობებით.

დადუღებული ზედაპირის მეტალოგრაფიულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ორშრიან ნიმუშებში შეიმჩნევა მომატებული სისაღე, რაც იძლევა შესაძლებლობას რომ შესაბამისად გაიზარდოს ცვეთამედეგობაც.

დასკვნა

1. დანაფარიანი ელექტროდებით ხელით რკალური და ფხვნილგულა მავთულით დადუღება, მსოფლიოში ყველაზე მეტად გავრცელებულია ცვეთამედეგი დანაფარების დატანისას. ამასთანავე სულ უფრო იზრდება ფხვნილგულა მავთულის გამოყენება. აღნიშნული მეთოდები გამოირჩევიან ცვეთამედეგი დადუღებისათვის გაწეული დაბალი ხარჯებით, დანადუღის მაღალი ხარისხით, შესაძლებელია დადუღება ვაწარმოთ ძნელად მისადგომ ადგილებში სივრცით ნებისმიერ მდგომარეობაში და როგორც საწარმოებში, ასევე საველე პირობებში.
2. ნაშრომში გამოკვლეული ახალი ფხვნილგულა მავთულებით დაბალ დენებზე 120 ა. -მდე დადუღების ხარისხი დაბალია, ხოლო 140 ა.-ის ზევით დადუღების ხარისხი საშუალოა ან მკვეთრად უარესდება, რაც გამოწვეულია დადუღებული ლითონის გადახურებით, ჩადუღების სიღრმის გაზრდით, დანადუღის ზედაპირის არაერღვაროვნებით, ჭარბი დასადუღებელი მასალის ხარჯვით.
3. გამოკვლეული ახალი (რომლის ლენტაც შედგება 20% ქრომი და 80% ნიკელი, ხოლო გულარის ფხნილი. შედგება Cr_3C_2 სხვა კომპონენტებთან ერთად) ფხვნილგულა მავთულებით დადუღებული ზედაპირის მეტალოგრაფიულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ორშრიან ნიმუშებში შეიმჩნევა მომატებული სისაღე, რაც დასტურდა ტრიბოლოგიური კვებებითაც და შესაბამისად გაზრდილია ცვეთამედეგობაც.

4. ახალი ფხვნილგულა მავთულებით დანადურების სისაღებისა და მიკროსისაღების გაანალიზებამ გვიჩვენა, რომ მესამე შრის დადურების შემთხვევაში ხდება ლითონის გადახურება, რის შედეგადაც გამოწვეულია სტრუქტურული ცვლილებები, რა დროსაც მარცვლებში ჩამოყალიბდა წონასწორული სტრუქტურა ნელი გაციების გამო, რომლის სიბლანტის მახასიათებელი არის შემცირებული.
5. ანალიზებიდან ჩანს მოცემული სამი სხვადასხვა შემადგენლობის ნიმუშებიდან საუკეთესო შედეგი აჩვენა კოროზიამდეგობის თვალსაზრისით დანადურმა, რომლის ლენტაც შედგება 20% ქრომი და 80% ნიკელი, ხოლო გულარის ფხვნილი შედგება Cr_3C_2 სხვა კომპონენტებთან ერთად.
6. დადურებული ზედაპირის მეტალოგრაფიულმა ანალიზებმა გვიჩვენა, რომ ორშრიან ნიმუშებში შეიმჩნევა მომატებული სისაღე, რაც იძლევა შესაძლებლობას რომ შესაბამისად გაიზარდოს ცვეთამდეგობაც.
7. დანაფარიანი ელექტროდი რომლის ღერო შედგება Ni-80%, Cr-20% ან CB-08 (ГОСТ 2246 70), ხოლო დაფარვაში შეყვანილია ქრომის კარბიდი Cr_3C_2 , სხვა კომპონენტებთან ერთად სისაღებისა და მიკროსისაღების კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მესამე შრის დადურების შემთხვევაში ხდება ლითონის გადახურება, რის შედეგადაც გამოწვეულია სტრუქტურული ცვლილებებით, რა დროსაც მარცვლებში ჩამოყალიბდა წონასწორული სტრუქტურა, ნელი გაციების გამო. იზრდება მარცვლების სიდიდე, და სიბლანტის მახასიათებელი არის შემცირებული.
8. ორივე სახის ახალი ცვეთამდეგი დასადურებელი ელექტროდების ტექნოლოგიური მახასიათებლები აკმაყოფილებენ სდანიდარტით წაყენებულ მოთხოვნებს და ხასიათდებიან კარგი ტექნოლოგიური მახასიათებლებით: ორივე სახის ახალი ელექტროდების გაუმდნარი დანაფარისაგან მიღებული მილისებური გამონაშვერი დენგამტარია. აქედან გამომდინარე მეორადი ანთება საიმედოა; გაშხეფვაზე და ამოწვაზე დანაკარგები დასაშვებ ზღვრებშია; დანადურში არ შეიმჩნევა ბზარები, ფორები და დაუდურებელი ზონები.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ
პუბლიკაციებში:**

1. ზ. მირიჯანაშვილი, მ. ხუციშვილი, გ. დადიანიძე, ბ. სარალიძე. ახალი ცვეთამდეგი დასადუღებელი მასალის დამუშავება // სტუ საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. შრომები, თბილისი, 2020, გვ.31-36.
2. დადიანიძე გ.ა., შარაშენიძე ჯ.ა., პაპავა კ.გ., ხუციშვილი მ.გ., სარალიძე ბ. რ. ფხვნილგულა მავთულის დამზადება და ცვეთამდეგი დანადგულის მიღება ელექტრორკალური მეთოდით // საქართველოს საინჟინერო სიახლენი, №1 თბილისი 2020. გვ 77-80.
3. ხუციშვილი მ.გ., დადიანიძე გ.ა., სარალიძე ბ. რ., აბდუშელიშვილი ი.თ. ახალი ცვეთამდეგი დასადუღებელი დანაფარიანი ელექტროდების ტექნოლოგიური მახასიათებლები // საქართველოს საინჟინერო სიახლენი, №1 თბილისი 2021. გვ 121-124.
4. ბ.სარალიძე ახალი ფხვნილგულა მავთულით დადუღებული ზედაპირის ტრიბოლოგიური კვლევა //ენერჯია, სამეცნიერო - ტექნიკური რეფირებადი ჟურნალი. #2, 2021. გვ.35 – 41.

Abstract

The dissertation consists of an introduction, three chapters and a conclusion. It contains a resume, content, 16 drawings, picture 36, tables 17, list of cited literature indicating 120 sources. The dissertation is presented on 148 pages of A4 format.

Surface wear is a serious problem for many fields. To restore a worn-out surface and improve the performance of its surface, it is necessary to apply wear-resistant coatings that increase its reliability and durability.

Coated electrodes are manual arc welding and powder coated wire is one of the most widely used wear resistant coatings in the world. At the same time, the use of flux-cored wire is increasing. These methods are distinguished by low costs for wear-resistant welding and high welding quality, welding can be carried out in hard-to-reach places, in any room conditions, both at enterprises and in the field. They need to improve the wear resistance of the weld. In the future, it would be desirable to produce coated electrodes and flux-cored wires for new wear-resistant welding in Georgia.

The production of flux-cored wire was carried out on a special machine for flux-cored wire at the Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science.

Flux-cored wire tape consists of 20% chromium and 80% nickel or 08кп. And Core powder consists of one (Cr_3C_2 , CrB_2 , TiGr) B_2) and other components.

The weld quality of this flux cored wire is low till 120 a, while the weld quality above 140 a is moderate or deteriorates sharply, this is caused by overheating of the weld metal, an increase in the depth of welding, unevenness of the surface to be welded, and the consumption of surplus welding material.

The welding of the above mentioned flux cored materials were performed on one-, two-, and three layer at steel 20. The specimens were prepared and poisoned. Metallographic studies were carried out under a NEOFOT-32 microscope. Hardness was measured on a TII-7P-1 machine with a diamond pyramid.

A metallographic study of the surface welded to a flux-cored wire made of achromnickel showed that an increased humidity is observed in two-layer samples, which makes it possible to increase the wear resistance accordingly.

Analysis of hardness and micro hardness showed that welding of the third layer causes overheating of the metal. As a result of structural changes occur, meanwhile, due to the slow cooling, a balanced structure was formed in the grains, and the viscosity is reduced. Tribological studies were carried out on powder-coated wires, consisting of: chromium plated cored wire containing 80% Ni and 20% Cr, as well as a powder consisting of Cr_3C_2 with 08кп tape and a core powder consisting of Cr_3C_2 with other components; Tribological tests were carried out on a laboratory friction machine CMI-2.

Welding in one, two and three layers significantly reduces the coefficient of friction and, consequently wear resistance, which is also confirmed by an increase of micro hardness. As shown by metallographic studies, the maximum hardness is observed at two-layer welding, Here, as shown in the figure, the coefficient of friction at three-layer welds increases sharply and, as a consequence, decreases the wear resistance.

The best results were shown, from samples of three different compositions, welding due to corrosion resistance, which tape is composed 20% chromium and 80% nickel, and the core powder is composed of Cr_3C_2 along with other components.

At the Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science developed and manufactured two types of new covering electrodes: 1. The composition of the electrode is: stem Ni-80%, Cr-20%. The coating includes chromium carbide Cr_3C_2 , with the necessary components. 2. The composition of the electrode is: stem CB-08, and the coating includes chromium carbide Cr_3C_2 , with the necessary components. Coated electrodes were made on a press in accordance with GOST 9466-75. New electrodes were made with stems 3 mm in diameter from both types of unmelt coated of new electrodes. The resulting tubular protuberance is conductive. Therefore secondary lightening is reliable.

A coated electrode, the stems of which consists of Ni-80%, Cr-20% or CB-08(GOST 2246 70), and the coating, among other components, contains chromium carbide Cr_3C_2 , metallographic analysis of the surface to be welded showed on two-layer samples increased hardness;, which makes it possible to increase the wear resistance accordingly.

Analysis of hardness and micro hardness showed that welding of the third layer causes overheating of the metal. As a result of structural changes occur, meanwhile, due to the slow cooling, a balanced structure was formed in the grains, and the viscosity is reduced.