

UDC 621.921

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-259-269>

საფირონის მონოკრისტალის დაბალტემპერატურული პრეციზიული ხეხვის (დჰხ) მეთოდით დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაცია ზედაპირის მორფოლოგიური მოთხოვნების მიხედვით

დავით ბუცხრიკიძე მექანიკის ინჟინერიისა და ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68^ა
E-mail: d. butskhrikidze@gdi.ge

რეცენზენტები:

თ. ჩხაიძე, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: tengizchkaidze@mail.ru

ვ. ქირია, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: v.kiria@gtu.ge

ანოტაცია. ცნობილია, რომ სალი და მყიფე მინისებრი მასალების, მათ შორის საფირონის მონოკრისტალის, მექანიკური დამუშავებისას ადგილი აქვს მასალის ე.წ. დისპერგირებას - მყიფე მსხვრევას, რომელსაც წინ უსწრებს დეტალის ზედაპირის რელიეფქვეშა ფენაში ბზარების წარმოქმნა და, საბოლოოდ, ზედაპირიდან გარკვეული სისქის მასალის ფენის მოხსნა. ამასთან, რელიეფქვეშა ფენაში რჩება ე.წ. მემკვიდრობითბზარებიანი დეფექტური ფენა, რომელიც ექვემდებარება ტექნოლოგიური პროცესის შემდგომ ოპერაციაზე, როგორც მექანიკურ დამუშავებაზე, აუცილებელი ნამატის მოხსნას. ასე გრძელდება, ვიდრე ეს ფენა სრულად არ იქნება მოხსნილი და ამით უზრუნველყოფილი დეტალის

მიმართ ხარისხობრივი პარამეტრების მოთხოვნები. ცალსახაა, რომ ამდაგვარი ტექნოლოგიური პროცესების შრომითი და შესაბამისად დროითი და ღირებულებითი დანახარჯები დამოკიდებულია მექანიკური დამუშავების ოპერაციულ ნამატებზე, რომელთა უმთავრესი შემადგენელია რელიეფქვეშა ბზარებიანი დეფექტური ფენის სისქე.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მეტად აქტუალურია სრულიად ახალი ორიგინალური, კრეატიული ფორმის წარმოქმნის სქემების, მეთოდებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების შემუშავების ამოცანის გადაწყვეტა მინისებრი მასალების, მათ შორის საფირონის მონოკრისტალის მექანიკურ დამუშავებაში უდეფექტო ზედაპირების მისაღებად.

მართებულია ითქვას, რომ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შემუშავებული დაბალტემპერატურული პრეციზიული ხეხვის მეთოდი და შესაბამისი ტექნოლოგიური დანადგარები საშუალებას იძლევა წარმატებით იქნეს გადაწყვეტილი ზემოხსენებული ტექნიკური ამოცანა.

სამეცნიერო ნაშრომი ეძღვნება საფირონის მონოკრისტალის ტპხ-ის მეთოდით ალმასური დამუშავების პირობების ოპტიმიზაციას, ზედაპირის მორფოლოგიური მოთხოვნების, კერძოდ ზედაპირის რელიეფქვეშა დაბზარული, დეფექტური ფენის სიღრმის, ოპტიმიზაციის პარამეტრის მიხედვით.

საკვანძო სიტყვები: ალმასური დამუშავება; ბზარების გავრცელება; დაბალტემპერატურული დამუშავება; ზედაპირის მთლიანობა; მყიფე მასალები; პრეციზიული ხეხვა; რელიეფქვეშა დეფექტური ფენა; საფირონის მონოკრისტალი.

შესავალი

საფირონის მონოკრისტალი მიეკუთვნება სალ და მყიფე მინისებრი მასალების ჯგუფს და ამდენად მსგავსი მასალების მექანიკური დამუშავების მექანიზმი პრაქტიკულად ერთმანეთისგან არ განსხვავდება. კერძოდ, პლასტიკური მასალებისაგან (ლითონები, პლასტმასები) განსხვავებით, რომელთა მექანიკური – ჭრით დამუშავების დროს ადგილი აქვს დეტალების დასამუშავებელი ზედაპირისაგან მოსახსნელი ფენის – ნამატის ბურბუშელას სახის მოხსნას. მინისებრი მასალების დამუშავებისას მა-

სალის რღვევა სხვა ფიზიკურ კანონებს ემორჩილება. მყიფე მინისებრი მასალის რღვევა განიხილება, როგორც დასამუშავებელ ზედაპირზე უფრო სალი მასალის მექანიკური ძალოვანი ზემოქმედებით ბზარების წარმოქმნა, შემდგომი ამოფხვნითა და ამოტეხით. ამ პროცესს ეწოდა ე.წ. მყიფე მსხვრევა – დისპერგირება. მრავალი სამეცნიერო ნაშრომი მიემდვნა აღნიშნული პროცესების კვლევას, რომლის მიზანს შეადგენდა დამუშავების პირობების ძიება და ხარისხის მაღალი მაჩვენებლების – მორფოლოგია – სიმქისე – დეფექტური ფენა – მიხედვით შექმნა.

ე.წ. უდეფექტო დამუშავება პრინციპულადაა მოთხოვნილი მონოკრისტალური საფირონის ისეთი დეტალების დასამზადებლად, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ხელსაწყოთმშენებლობაში, მიკროელექტრონიკაში, ოპტოელექტრონიკასა და მედიცინაში იმპლანტების სახით.

ადამიანის მენჯ-ბარძაყის სახსრის იმპლანტატის სფერული თავი ერთგვარი სრიალის საკისრის ძირითადი დეტალია, რომელსაც მოეთხოვება განსაკუთრებული პირობები როგორც საექსპლუატაციო ზედაპირის ზომების, ფორმისა და მდებარეობის სიზუსტის, ისე ზედაპირის ხარისხის მორფოლოგიის მხრივ. ეს მოთხოვნები განაპირობებს იმპლანტატის მუშაობის ხანმედეგობას, რაც აგრერიგად საპასუხისმგებლოა ადამიანის შრომისუნარიანობის შესანარჩუნებლად ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში – 20...25 წელი და მეტი. ამჟამად გამოყენებული იმპლანტატები, სამედიცინო ტიტანი, ცირკონიუმის კერამიკა და სხვა, ვერ აკმაყოფილებს ასეთ მაღალ მოთხოვნებს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ახალი, კრეატიული ტექნიკური გადაწყვეტების მიგნება და რელიზაცია მინისებრი მასალების, კერძოდ საფირონის მონოკრისტალის ე.წ. უდუფექტო დამუშავებისათვის ორიგინალური ფორმის წარმოქმნის მეთოდების, შესაბამისი ტექნოლოგიური დანადგარების და საბოლოოდ ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავების გზით დღეისათვის მეტად აქტუალური პრობლემაა.

ძირითადი ნაწილი

მრავალი კვლევა მიედგენა სალი და მყიფე მინის მიერი მასალების აბრაზიული დისპერგირების პროცესების საფუძველში არსებული მოვლენების კვლევას. არსებობს გარკვეული წარმოდგენები მისი არსისა და ხეხვითა და პოლირებით დამუშავებული ზედაპირების აგებულების შესახებ. სალი და მყიფე მასალების აბრაზიული დისპერგირება ცნობილ შრომებში [1, 2, 3] განიხილება მინის კლასიკურ მაგალითზე.

არსებობს რამდენიმე კონცეფცია, რომელიც გარკვეულ სამუშაოთა ჯგუფს აერთიანებს. ასე, მაგალითად, ფ. პრენსტონმა [1, 2, 3] აჩვენა, რომ მინის ხეხვისას ადგილი აქვს აბრაზიული დისპერგირების ყველა ელემენტარულ პროცესს. მინის აბრაზიული დისპერგირების პროცესის ინტენსიურობა დამოკიდებულია დატვირთვის სიდიდეზე დასამუშავებელ ზედაპირს და მასა და იარაღის მუშა ზედაპირს შორის ფარდობითი გადაადგილების სიჩქარეზე.

ი. გრებენშიკოვის შრომებში, რაც უფრო მოგვიანებით კიდევ ერთხელ აღნიშნა ვ. ვინოკუროვმა, ნაჩვენებია, რომ მინის ხეხვის პროცესში აბრაზიული მარცვალი დასამუშავებელ ზედაპირზე ბზარებს

წარმოქმნის, ხოლო დანარჩენ სამუშაოში, მასალის დამსხვრევის სახით, მონაწილეობს წყალი, რომელიც ქიმიურად ზემოქმედებს ახლად წარმოქმნილ ზედაპირზე [1, 2, 3].

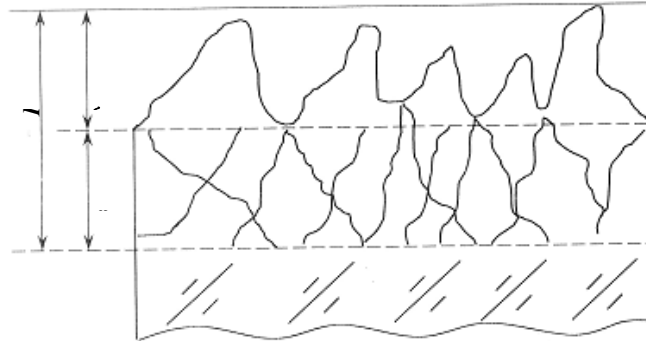
უფრო მოგვიანებით, ნ. კაჩალოვისა და სხვათა მიერ ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ აბრაზიული მარცვლები ხეხვისას გადაგორდება მინის დასამუშავებელ ზედაპირსა და იარაღს შორის და მასალის დისპერგირებას ახდენს როგორც გორვის, ისე გაცურების დროს, დარტყმისას კი ზედაპირზე ბზარები წარმოიქმნება. წყალს გამოაქვს ცვეთის პროდუქტები და სითბო, ზემოქმედებს ქიმიურად მინაზე და ამით ხეხვის კეთილსაიმედო პირობებს ქმნის.

ლ. ცესნევი [1, 2, 3] განიხილავს მყარი სხეულის აბრაზიულ დისპერგირებას, როგორც მოხახუნე ზედაპირის ცვეთის პროცესს, რომელიც აბრაზიული ფხვნილის – მარცვლების ფენის გავლით მიმდინარეობს.

მან პირველად შემოგვთავაზა დასამუშავებელი მასალის ზედაპირული ენერგიის ცნება, რათა დაედგინა პროცესის ენერგეტიკული ფარდობები და მისი განსაზღვრის მეთოდიკა.

ა. არდამაცკი [1] განიხილავდა რა აბრაზიული დისპერგირების ზემონახსენებ კონცეფციებს, ამტკიცებდა, რომ მყიფე მასალების ხეხვის პროცესი, მასალის ინტენსიური მსხვრევის პირობებში, თავისთავად მყიფე მსხვრევაა ნაკაწრების, ბზარების სისტემის წარმოქმნით და მასალის ამოტეხა – ამომსხვრევა. ამ დროს ყალიბდება რელიეფური h_0 და დამსხვრეული – დეფექტური h_d ფენები (სურ. 1). მარცვლებზე მცირე დატვირთვებით ხეხვა შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს როგორც აბრაზიული მარცვლების დასამუშავებელ ზედაპირში ჩანერგვა მცირე სიღრ-

მეებზე, მასალის დრეკადპლასტიკური დამსხვრე- კური და ბურბუშელას თანადროული ნაკაწრების ვით, იმავდროულად გამოწვეული, გლუვი პლასტი- წარმოქმნით.



სურ. 1. მინის დამსხვრეული – დეფექტური აგებულება აბრაზიული დამუშავების შემდეგ

ბმული აბრაზივით (ქარგოლებით) დამუშავებისას მნიშვნელოვანი ფაქტორია ხეხვის პროცესის ეფექტურობის შენარჩუნება დროში. ამ დროს დამუშავებულ ზედაპირზე რელიეფური და დაბზარული – დეფექტური ფენები არათანაზომადია. მეორე მნიშვნელოვნად აღმატება პირველს. დამუშავებული ზედაპირის სტრუქტურა განსხვავდება დამუშავების (აბრაზიული მარცვლების) კვლების (მიმართული ან ბადისებრი – გადამკვეთი) არსებობით. ამ დროს დეფექტური ფენის სიღრმე ნაკლებადაა დამოკიდებული მარცვლის ზომაზე, ვიდრე თავისუფალი აბრაზივით დამუშავების შემთხვევაში, რადგან მუშაობს მხოლოდ მარცვლის შვერილი და, შესაბამისად, მასალაში ჩანერგვა ხდება მცირე სიღრმეებში. ამიტომ, ქარგოლებით – ბმული აბრაზივით დამუშავება ხასიათდება ნაკლები როგორც რელიეფური h_r , ისე დეფექტური h_d ფენების მნიშვნელობებით.

ცნობილია, რომ ნამატის სიდიდე მექანიკურ დამუშავებაზე შედგება ზედაპირის რელიეფური ფენის, ზედაპირის პროფილის უსწორობების სიმაღ-

ლის (R_z , R_{max}) როგორც ზედაპირის მიკროგეომეტრიის მაღლივი პარამეტრის, დაბზარული – დეფექტური ფენის სიღრმისგან, ისე ზედაპირის ფორმისა და მდებარეობის გადახრებისაგან. განსახილველ შემთხვევაში, საფირონის მონოკრისტალის, როგორც მინისებრი მასალის, დამუშავებისას ნამატის სიდიდეში განმსაზღვრელია დაბზარული – დეფექტური ფენის სიღრმე, რადგან მისი მნიშვნელობა აღმატება ყველა დანარჩენი შემადგენელის მნიშვნელობებს.

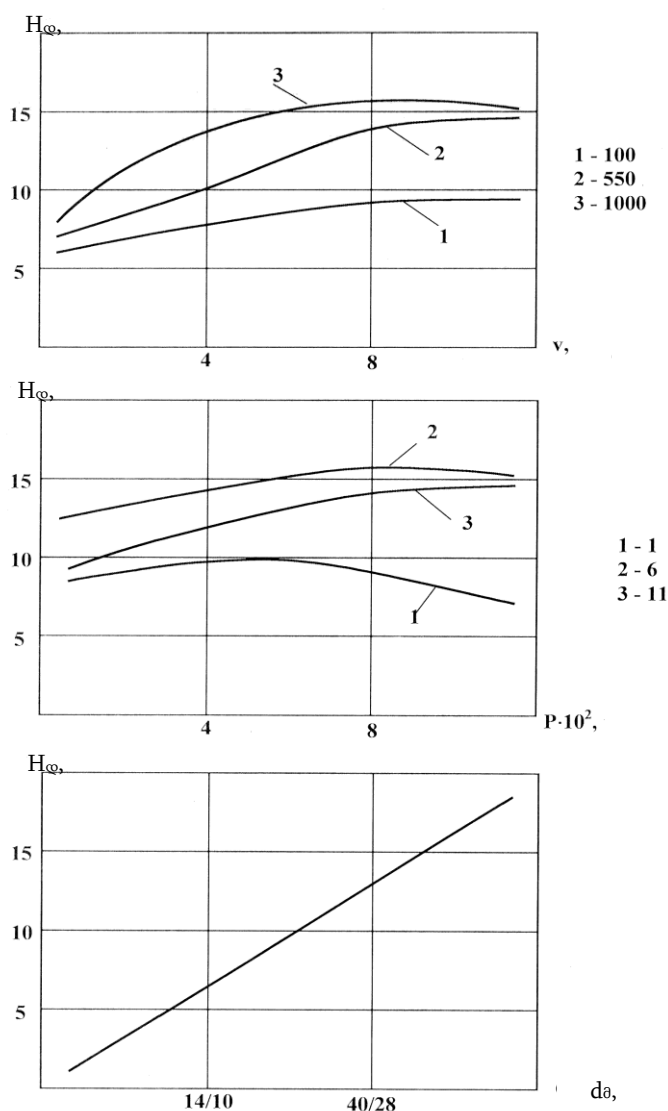
ამდენად დვხ პროცესის გამომავალი პარამეტრის h_d , როგორც ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის მიხედვით დამუშავების პირობებისა (ჭრის რეჟიმები: ჭრის სიჩქარე V მ/წმ და ხვედრითი დაწნევა ჭრის ზონაში P , კპა) და ალმასური ქარგოლის მახასიათებლების (მარცვლოვნება, მკმ; ალმასური მარცვლის სახე – მჭრელი თვისებები; შემკვრელის მარკა-მასალის სახე, კონცენტრაცია) განსაზღვრა და იმავდროულად პროცესის მართვის შესაძლებლობის დადგენა მეტად აქტუალური პრობლემაა საფირონის მონოკრისტალის მაგალითზე მინისებრი მასალების ბმული, ალ-

მასურ-აბრაზიული დამუშავების მეთოდების ეფექტურობის ამაღლების მხრივ.

ექსპერიმენტები საფირონის მონოკრისტალის დპხ მეთოდით დამუშავებაში ჩატარდა მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით. პროცესის შემავალ ფაქტორებს ქმნის ზემოხსენებული დამუშავების პირო-

ბები, ხოლო გამომავალ პარამეტრს – დამსხვრეული დეფექტური ფენის სიღრმე h_d .

მე-2 სურ-ზე მოყვანილია H_d -ს ექსპერიმენტულად მიღებული დამოკიდებულების მრუდები V , P ჭრის რეჟიმების და d მარცვლის ზომის მიხედვით. დამსხვრეული ფენის სიღრმე h_d განისაზღვრა ე.წ. დახრილი შლიფის საშუალებით $\alpha=2^\circ$ კუთხით.

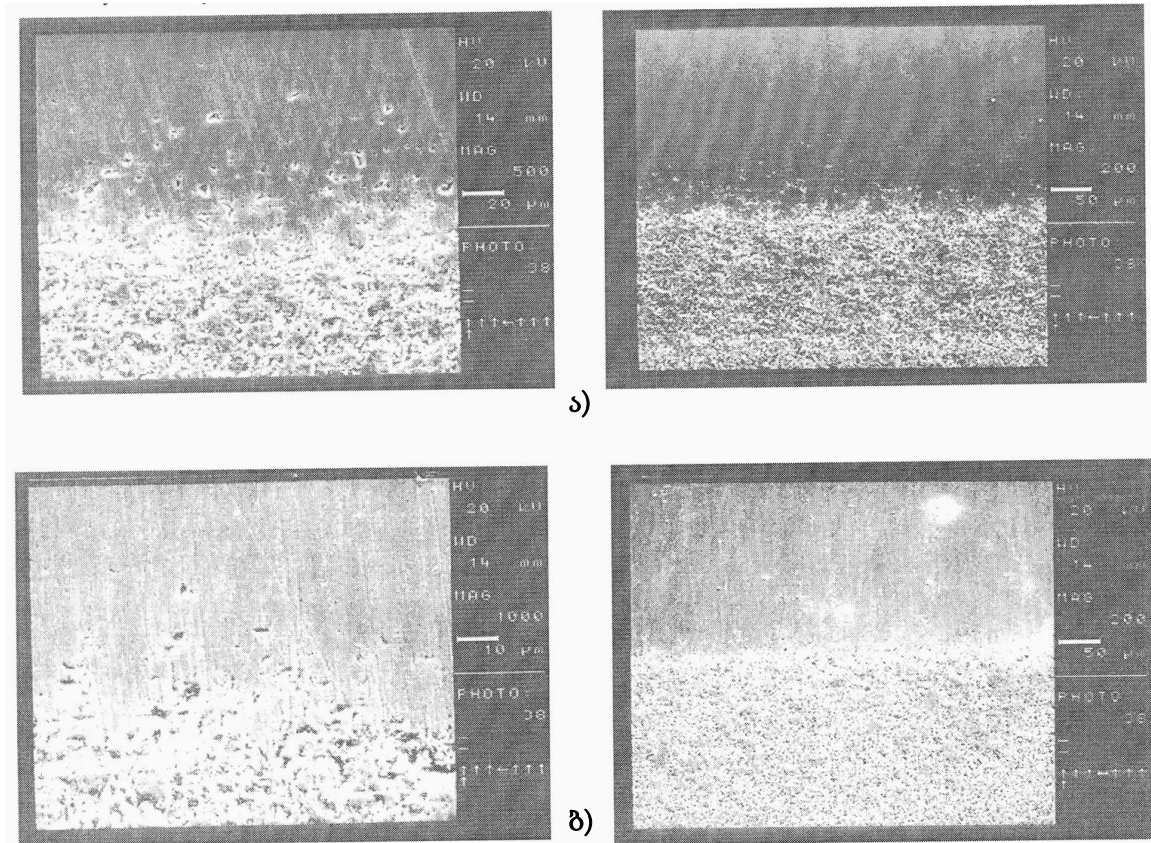


სურ. 2. დეფექტური ფენის სიღრმის დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე (ა), ხვედრით ძეღზე (ბ), ალმასური ქარგოლის მარცვლოვნებაზე (გ)

საფირონის ნიმუშის გაპრიალებული უბნები დამუშავდა ალმასური პასტით ACM 2/1 (სურ. 3).

ამგვარად, $h_{\text{დ}}$ დეფექტური ფენის სიღრმის დამუშავების პრობლემა დამოკიდებულების დადგენა

საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ დპზ მეთოდით საფირონის მონოკრისტალის დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაცია $h_{\text{დ}}$ კრიტერიუმის მიხედვით.



სურ. 3. საფირონის მონოკრისტალის ნიმუშების დამუშავებული ზედაპირების
შლივების დახრის კუთხით (2°) მიკროფოტოგრაფიები: ა) ACM 28/20 CK6, 100%;
ბ) ACM 28/20 B1-13, 100%

ექსპერიმენტული მრუდებით შეიძლება გაკეთდეს დასკვნები. ასე, მაგალითად, $h_{\text{დ}} - V$ და $h_{\text{დ}} - P$ დამოკიდებულებებისათვის დამახასიათებელია ექსტრემუმი $h_{\text{დ}}$ -ს მიხედვით. ბუნებრივია, მისაღებია რეჟიმების ისეთი მნიშვნელობები, რომელსაც შეესაბამება $h_{\text{დ}}$ -ს მინიმალური მნიშვნელობები. მოცემულ შემთხვევაში ასეთი წყვილებია: $V = 1...2$ მ/წმ,

$P = 900...1000$ კპა, $V = 8...11$ მ/წმ, $P = 100...200$ კპა. ჭრის რეჟიმების $h_{\text{დ}}$ -ზე გავლენის ხასიათი შესაძლებელია დაკავშირებული იყოს დამუშავების პროცესზე მოქმედ მრავალ ფაქტორზე. ხვედრითი ძალის მუდმივობის პრობლემა ჭრის სიჩქარის გაზრდით იზრდება ალმასური მარცვლების დასამუშავებელ ზედაპირზე ზემოქმედების ინტენსიურობა, რითაც იზრ-

დება მარცვლების კვლების გადაკვეთისა და ბზარების რაოდენობა ზედაპირის ერთეულოვან ფართობზე. შესაბამისად, მატულობს h_{Σ} მნიშვნელობა. მეორე მხრივ, P -ს მაღალ მნიშვნელობებზე, სხვა უცვლელი პირობების დაცვით, ადგილი აქვს ალმასური მარცვლების ზედაპირში ჩანერგვის სიღრმის და, შესაბამისად, h_{Σ} -ს ზრდას. აგრეთვე, V და P ერთდროული ამდლებით იზრდება h_{Σ} .

პარამეტრი h_{Σ} მინიმალურ მნიშვნელობებს იძენს ჭრის სიჩქარის მინიმალურ და ხვედრითი ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობებზე. ვთვლით, რომ ჭრის რეჟიმების ასეთი წყვილის პირობებში მასალის პლასტიკური დამუშავების წილი იზრდება მყიფე მსხვრევის საერთო ფონზე. შესაბამისად, მთლიანობაში გარკვეულწილად მასალის მსხვრევის ბუნება – მყიფე მსხვრევა – დისპერგირებას ანაცვლებს მასალის პლასტიკური დამუშავება და, შესაბამისად, h_{Σ} მცირდება.

აგრეთვე h_{Σ} ღებულობს მინიმალურ მნიშვნელობებს V -ს მაქსიმუმისა და P -ს მინიმალურ მნიშვნელობებზე. ეს აიხსნება ალმასის მარცვლების დასამუშავებელ მასალაში ჩანერგვის სიღრმის შემცირებით და, როგორც შედეგი, h_{Σ} -ს შემცირებით.

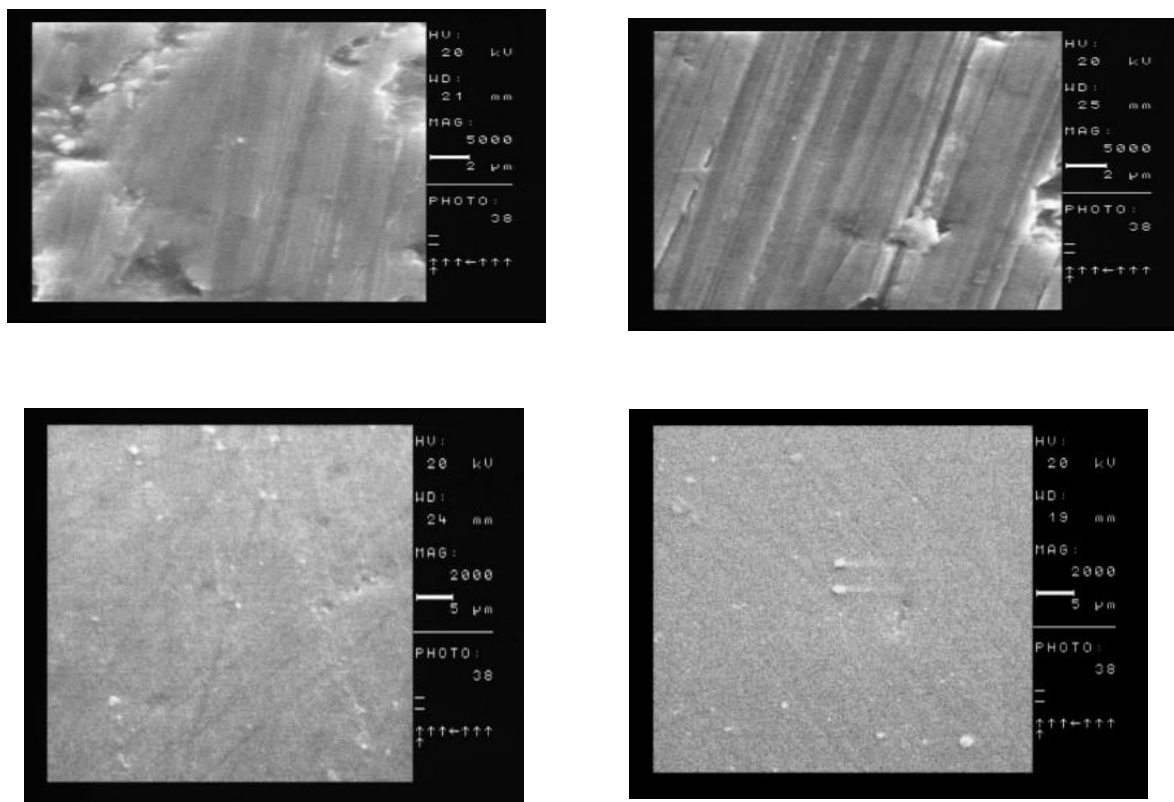
ცალსახაა h_{Σ} -ს დამოკიდებულების ხასიათი ალმასის მარცვლის ზომაზე, რომლის გაზრდით h_{Σ} პროპორციულად იზრდება. მნიშვნელოვანი გავლენა h_{Σ} პარამეტრზე აქვს ალმასური ქარგოლის შემკვრელის მარკას.

დბზ მეთოდით დამუშავებული საფირონის ნიმუშის ზედაპირის მორფოლოგიის შესწავლის მიზნით ჩატარდა ელექტრონოგრაფული კვლევები.

სხვადასხვა პირობებში დამუშავებული საფირონის ზედაპირების მიკროფოტოგრაფიები მოყვანილია მე-4 სურათზე.

დბზ მეთოდით დამუშავებული საფირონის მონოკრისტალის ნიმუშის ზედაპირი, განსხვავებით თავისუფალი აბრაზივით დამუშავებული ზედაპირისაგან, ხასიათდება მიკროაბრაზიული დისპერგირებითა და მასალის პლასტიკური დამუშავებით (თვალსაჩინო კვლები ალმასური მარცვლების ზემოქმედების შედეგად), გაპრიალებული ზედაპირით.

დბზ მეთოდით დამუშავებული საფირონის ნიმუშების ზედაპირების მორფოლოგიის ელექტრონული მიკროფოტოგრაფიების საშუალებით შესწავლა აჩვენებს, რომ დბზ-ს დროს, ისევე როგორც დაყვანის დროს, ზედაპირი ფორმირდება მარცვლების კვლების მრავალჯერადი გადაკვეთით. ამასთან, დაყვანის დროს მიიღება ბევრად მსხვილი ფაქტურის ზედაპირი, თანაბარი მარცვლოვნების პირობებში. როგორც მიკროფოტოგრაფიებიდან ჩანს, დბზ-ს დროს ალმასური მარცვლების ტრაექტორიები დასამუშავებელ ზედაპირზე მკაცრად განსაზღვრულია პროცესის კინემატიკით (ბადისებრი და ერთგვაროვანი), განსხვავებით დაყვანისაგან, როდესაც კვლები ქაოსური წყვეტილი და არაერთგვაროვანია. ეს უდავოდ დბზ-ს სასარგებლოდ მიუთითებს.



სურ. 4. დზ მეთოდით დამუშავებული საფირონის მონოკრისტალის ნიმუშების ზედაპირის მიკროფოტოგრაფიები: ა – ორიენტაცია 0001, ალმასური ქარგოლი – ACM 14/10, BC-11, 100%; რეჟიმები: $V-3$ მ/წმ; $P-750$ კპა; ბ) ორიენტაცია 1010, ალმასური ქარგოლი ACM 14/10, BC-11, 100%; რეჟიმები $V-3$ მ/წმ; $P-750$ კპა

ალმასური ქარგოლის შემკვრელის მახასიათებლების მიხედვით (მეტალური, კერამიკული, ორგანული) H_L -ს მინიმალური მნიშვნელობები მიიღება ორგანულ შემკვრელზე B1-13, რომელზეც მიღებულია მასალის პლასტიკური დამუშავების კვლები. დამუშავების იგივე პირობებში მწარმოებლობამ 60...100 მკმ/წთ შეადგინა, რაც არცთუ მცირე მნიშვნელობისაა.

ამგვარად, საფირონის მონოკრისტალის დზ მეთოდით დამუშავებისას ჩატარებული ექსპერიმენტულ მონაცემების საფუძველზე მიღებული შედე-

გები რეალურ საფუძველს იძლევა აღნიშნული და მსგავსი მინისებრი მასალების ალმასური დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის ისეთი გამომავალი პარამეტრის – ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის მიხედვით, როგორიცაა დამსხვრეული დეფექტური ფენის სიღრმე.

დასკვნა

დადგენილია დზ მეთოდით საფირონის მონოკრისტალის დამუშავებული ზედაპირის ხარისხის ძირითადი პარამეტრის – დეფექტური ფენის სიღრ-

მის დამოკიდებულების ხასიათი შემავალ ფაქტორებზე: ჭრის რეჟიმებსა და ალმასური ქარგოლის მახასიათებლებზე.

ასევე დადგენილია საფირონის მონოკრისტალის დვხ მეთოდით დამუშავებული ზედაპირის დეფექტური ფენის მინიმალური მნიშვნელობა, ჭრის რეჟიმების შემდეგი წყვილების შემთხვევაში, ორგანულ შემკვრელის მქონე ალმასური იარაღით:

1. ჭრის სიჩქარე – $V=1...2$ მ/წმ, ხვედრითი ძალა – $P = 900...1000$ კპა;
2. ჭრის სიჩქარე – $V=8 \dots 11$ მ/წმ; ხვედრითი ძალა – $P=100...200$ კპა.

გადაწყვეტილია საფირონის მონოკრისტალის დვხ მეთოდით დამუშავებული ზედაპირის მორფო-

ლოგიის ხასიათი, როგორც მინისებრი მასალე-ბისათვის დამახასიათებელი მყიფე მსხვრევა-დის-პერგირებისა და პლასტიკური მასალებისათვის და-მახასიათებელი პლასტიკური დენადობის ნაზავი.

განსაზღვრულია საფირონის მონოკრისტალის დვხ მეთოდით დამუშავების პირობების ჭრის რეჟი-მები, ალმასური ქარგოლის მახასიათებლები – ოპ-ტიმიზაციის ამოცანა დამუშავებული ზედაპირის მორფოლოგიის მაჩვენებლის დეფექტური ფენის სიღრმის, როგორც ოპტიმიზაციის პარამეტრის მი-ხედვით: $V \leq 6$ მ/წმ; $P \geq 550$ კპა; ალმასური ქარგოლის მახასიათებლები: მარცვლოვნება $d_{\text{მარც.}} \leq 28/20$ მკმ; შემკვრელი ორგანული (მაგ., B-1-13), კონცენტრაცია 50...100%, ალმასის მარკა ACH.

ლიტერატურა

1. Ardamsky, A. A. (1978). *Diamond processing of optical parts* (232 p.). Leningrad: Mashinostroenie, Leningrad Branch. (In Russian)
2. Altshuller, V. M., Ashkerov, Yu. V., et al. (1980). Influence of certain factors on the process of microcutting of optical glass. *Superhard Materials*, (3), 47–50. (In Russian)
3. Vinokurov, V. M., Ardamsky, A. L., & Popov, L. V. (1962). Structure of the damaged layer. In K. G. Kumanika (Ed.), *Formation of optical surfaces* (pp. 7–37). Moscow. (In Russian)
4. Batiashvili, B. I., Butskhrikidze, D. S., Mamulashvili, G. L., Turmanidze, R. S., Kromp, K., Mills, B., & Mgaloblishvili, O. B. (2001). Technological possibilities of low precision when machining hard and brittle materials. In *Fractography of Advanced Ceramics: International Conference*, Stará Lesná, High Tatras.
5. Turmanidze, R. S., Butskhrikidze, D. S., Kromp, K., & Mills, B. (2002). Low-temperature precision grinding of hard and brittle materials. *Problems of Mechanics and Physicochemistry of the Abrasive Process*, 490–499. (In Russian)
6. Batiashvili, B. I., Butskhrikidze, D. S., Mamulashvili, G. L., Turmanidze, R. S., Kromp, K., Mills, B., Morgan, M., & Mgaloblishvili, O. B. (2003). Low-temperature precision grinding of hard and brittle materials and outlook of its development and application. In *Proceedings of the 19th MCMR Conference*, Glasgow.
7. Richter, H. G. (2002). Fractography of bioceramics. *Key Engineering Materials*, 223, 157–180. Trans Tech Publications, Switzerland.
8. Butskhrikidze, D., Turmanidze, R., & Beridze, M. (2013). Modified pure titanium – A promising material for hip joint endoprosthesis. *Proceedings of the Georgian Technical University*, (3[489]), 8 pages. (In Georgian)

9. Butskhrikidze, D. (2021). Technology and equipment for diamond grinding of bending strength test samples made of ultra-hard, brittle, composite-ceramic materials. *Scientific Transactions of the Georgian Technical University*, (4[522]), 11 pages. (In Georgian)
10. Butskhrikidze, D. (2021). Special grinding machine for diamond grinding of flat surfaces and perimeter of technical ceramic plates. *Scientific Transactions of the Georgian Technical University*, (4[522]), 11 pages. (In Georgian)

UDC 621.921

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-259-269>

Optimization of the Low-Temperature Precision Grinding (LPG) Process of a Sapphire Single Crystal According to the Requirements of the Processed Surface Morphology

David ButskhrikidzeDepartment of Mechanical Engineering and Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.

E-mail: d. butskhrikidze@gdi.ge

Reviewers:

E. Chkhaidze, Professor, Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: tengizchkhaidze@mail.ru

Vazha Kiria, Professor, Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: v.kiria@gtu.ge

Abstract. It is known that during mechanical processing of hard and brittle, glassy materials, the so-called brittle fracture takes place - dispersion of the removed layer of material, which is preceded by the formation of cracks in the depth of the material under the relief layer and thus the material of a certain thickness is removed. At the same time, under the relief layer, in the depth there remains a cracked-defective layer, which is decisive in the size of the operational allowance, and is also removed in the subsequent operation of the technological process. So and in all subsequent operations, up to the complete elimination of the defective layer and thus achieving the required quality of the processed surface of the product. It is clear that the labor intensity, duration and cost of such technological processes are high, since they depend on the size of the operational passes, the determining factor in which is the depth of the defective-cracked layer. Based on the above, it is very important to solve such problems as the development of original, creative shaping schemes, methods and corresponding technological equipment for mechanical processing of hard, brittle glassy materials, including single crystal sapphire, with the production of a processed surface of the product without a defective-cracked layer.

It is possible to say with great confidence that the method of diamond-abrasive processing developed at the Georgian Technical University. Low-temperature precision grinding (LPG) and the corresponding technical equipment allows to successfully solve the above technical problem.

The presented scientific work is devoted to solving the problem of optimizing the conditions of processing a sapphire crystal by the LPG method according to the optimization criterion - the depth of the destroyed, defective sub-relief layer of the processed surface of the product.

Keywords: Brittle materials; Crack propagation Sapphire monocrystal; Diamond processing; Subsurface damaged layer; Low-temperature machining; Precision grinding Surface integrity.

განხილვის თარიღი 19.03.2025

შემოსვლის თარიღი 22.04.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025