

UDC 621.921

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-249-258>

საფირონის მონოკრისტალის მექანიკური – ალმასური დამუშავება დაბალტემპერატურული პრეციზიული ხეხვის მეთოდით

დავით ბუცხრიკიძე მექანიკის ინჟინერიისა და ტექნოლოგიების აკადემიური 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. საფირონის მონოკრისტალის, როგორც ზესალი და მყიფე მინისებრი მასალის მექანიკური დამუშავების ძირითადი და არა ერთადერთი მეთოდი ალმასურ-აბრაზიული დამუშავებაა (ხეხვა, დაყვანა, პოლირება). საფირონისაგან დეტალების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი დიდი შრომატევადობითა და მაღალი ღირებულებით ხასიათდება. აქედან გამომდინარე, მეტად მოთხოვნიდა მაღალმწარმოებლური და ხარისხის უზრუნველყოფელი ფორმის წარმოქმნის ეფექტური მეთოდების, შესაბამისი ტექნოლოგიური დანადგარებისა და, საბოლოოდ, ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავება.

საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შემუშავებული ორიგინალური მეთოდი – დაბალტემპერატურული პრეციზიული ხეხვა (დპხ) მიეკუთვნება ალმასური დამუშავების პროგრესულ მეთოდს, რომელიც განხორციელდა სპეციალურ, პრეციზიულ სახეხ ჩარხებში და გამოიყენა ზესალი, მყიფე, ძნელად დასამუშავებელი, კომპოზიციური მასალების, მათ შორის მონოკრისტალების დამუშავების პროცესში.

ნაშრომი ეძღვნება საფირონის მონოკრისტალის, როგორც ზესალი, მყიფე, მინისებრი, ძნელად დასამუშავებელი მასალის, ანიზოტროპიულობის გათვალისწინებით, ალმასური დამუშავების კვლევას დპხ მეთოდით და დამუშავების ოპტიმალური პირობების (ჭრის რეჟიმები, მჭრელი იარაღის – ალმასური ქარგოლის მახასიათებლების) დადგენას მწარმოებლურობისა და ზედაპირის ხარისხის მიხედვით.

ნაშრომი ეძღვნება საფირონის მონოკრისტალის, როგორც ზესალი, მყიფე, მინისებრი, ძნელად დასამუშავებელი მასალის, ანიზოტროპიულობის გათვალისწინებით, ალმასური დამუშავების კვლევას დპხ მეთოდით და დამუშავების ოპტიმალური პირობების (ჭრის რეჟიმები, მჭრელი იარაღის – ალმასური ქარგოლის მახასიათებლების) დადგენას მწარმოებლურობისა და ზედაპირის ხარისხის მიხედვით.

საკვანძო სიტყვები: ალმასურ-აბრაზიული ხე-ხვა; ზედაპირის მიკროგეომეტრია; პრეციზიული დამუშავება; საფირონის მონოკრისტალი.

შესავალი

მონოკრისტალური საფირონი, თავისი უნიკალური მექანიკური და ოპტიკური თვისებების წყალობით, გამოიყენება როგორც საკონსტრუქციო და ოპტიკური მასალა. ამდენად, საფირონის გამოყენების სფერო ერთობ ფართოა: საავიაციო და კოსმოსური ტექნიკა, ქიმიური ტექნოლოგიები, ელექტრონიკა, ოპტოელექტრონიკა, მედიცინა და სხვა. ეს საფირონის გამოყენების ისეთი დარგებია, სადაც მოწყობილობის ექსპლუატაცია წარმოებს აგრესიულ გარემოში რადიაციის ზემოქმედების, მაღალი მექანიკური დატვირთვებით და მაღალტემპერატურაზე. ასეთ პირობებში მომუშავე პოლიკრისტალურ, კომპოზიციურ მასალებს არ ძალუძს კონკურენცია გაუწიოს საფირონს. საიუველირო საქმეში საფირონი გამოიყენება, როგორც ძვირფასი ქვა დამუშავების სხვადასხვა ფორმით. ხელოვნური საფირონისგან (ტექნიკაში ლეიკოსაფირონი) ამზადებენ საათურ ხელსაწყოთა ქვებს, როგორც სრიალის საკისრებს, რომელთა მედეგობა ათეულობით წლებს ითვლის. ელექტრონულ მრეწველობაში საფირონის კონსტრუქციული ელემენტები სადებების (ბრტყელ-პარალელური ფირფიტები) სახით გამოიყენება ინტეგრალური სქემების დასამზადებლად, რომელიც მუშაობს მაღალ ტემპერატურაზე და მექანიკური დატვირთვებით. ოპტიკაში საფირონისგან ამზადებენ სარკმლებს, ლინზებს, პრიზმებს, შუქგამტარებს და სხვა. განსაკუთრებით გამოიყოფა ლაზერული

ელემენტი, რომელიც მზადდება ერთგვაროვანი ლალისა და ლეგირებული საფირონის კრისტალეზისაგან. ბოლოს მედიცინაში, როგორც ადამიანის საქმიანობის მეტად მნიშვნელოვან დარგში, საფირონი გამოიყენება ადამიანთა სახსრების იმპლანტატის მასალად.

დღეისათვის მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში ფართო ფრონტით მიდის კვლევითი და საკონსტრუქციო-ტექნოლოგიური სამუშაოები ისეთი მიმართულებით, როგორცაა: ახალი საკონსტრუქციო მასალების შექმნა განსაკუთრებული ქიმიური სისუფთავითა და მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, ფორმის წარმოქმნის ეფექტური სქემების, მექანიკური დამუშავების ოპტიმალური პირობებისა და, საბოლოოდ, ეფექტური ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება, მათ შორის სამედიცინო დანიშნულების ნაკეთობების დასამზადებლად.

ხელოვნური საფირონის კრისტალი პერსპექტიული საკონსტრუქციო მასალაა ადამიანის სახსრების იმპლანტატების დასამზადებლად, მათ შორის ადამიანის მენჯ-ბარძაყის სახსრის ენდოპროცესის სფერული თავის. ეს განპირობებულია მასალის ისეთი მახასიათებლებით, როგორცაა: მაღალი ბიოთავსებადობა ადამიანის ორგანიზმთან, მაღალი სისაღე, დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი და, შესაბამისად, მაღალი ცვეთამედეგობა. ამასთან, საფირონი ანიზოტროპიული მასალაა, რაც მნიშვნელოვან სირთულეებს ქმნის ენდოპროტეზის თავის საექსპლუატაციო სფერული ზედაპირის მექანიკური დამუშავების დროს, იმავდროულად ზედაპირის მოთხოვნილი ხარისხისა და თავის გეომეტრიული ფორმის – სფერულობის სიზუსტის მიღების მხრივ.

ძირითადი ნაწილი

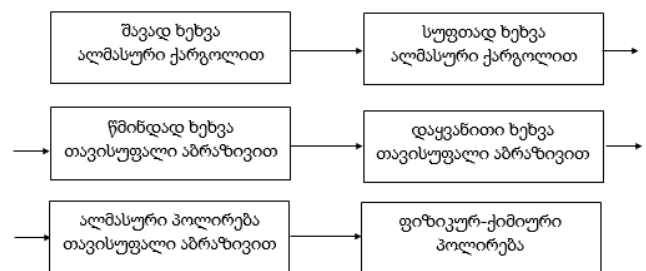
ხელოვნური საფირონის დეტალებს, რომელიც გამოიყენება ზემოთ ჩამოთვლილ დარგებში, სხვადასხვა ტექნიკური მოთხოვნა წაყენება ფორმისა და ზომების სიზუსტის და ზედაპირის ხარისხის მხრივ. ეს მოთხოვნები განსაზღვრავს საფირონის დეტალების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის სტრუქტურასა და შინაარსს. შესაბამისად, საფირონის დეტალების გამოყენების არეზე დამოკიდებულებით, მისი დამზადების ტექნოლოგიური პროცესებიც განსხვავებულია, მაგრამ მის სტრუქტურაში აერთიანებს ისეთი ტექნოლოგიური ოპერაციების არსებობს, როგორიცაა მექანიკური დამუშავება რამდენიმე სტადიაზე.

დეტალების ფორმირება, გეომეტრიული ფორმის, ზედაპირის ზომებისა და ფორმის სიზუსტის, ზედაპირის ხარისხის მოთხოვნების შესაბამისად, ხდება მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესში.

საფირონის მექანიკური დამუშავების მეთოდები: ხეხვა ბმული ან თავისუფალი აბრაზივით (სახეხი ქარგოლები, აბრაზიული ფხვნილები, პასტები, სუსპენზიები), დაყვანა, პოლირება თავისუფალი აბრაზივით. მჭრელი მასალის სახით ძირითადად გამოიყენება ალმასი ბმული აბრაზიული მარცვლების (ალმასური ქარგოლები) სახით ან თავისუფალი მარცვლების სახით (აბრაზიული სუსპენზია, პასტა). სალი და მყიფე მინისებრი მასალების მექანიკური დამუშავების არსებული ტექნოლოგიური პროცესები, რომლის ჯგუფსაც მიეკუთვნება მონოკრისტალური საფირონი, ექვემდებარება ამდგარი მასალების თავისუფალი აბრაზივით დამუშავების კანონს და ხასიათდება მრავალსაფეხუ-

რიანობით და დიდი შრომატევადობით. რაც უფრო მცირეა აბრაზიული მარცვლის ზომა, მით მცირეა დამუშავებული ზედაპირის რელიეფური ფენის სიმაღლე და მის ქვეშ არსებული ე.წ. ბზარებიანი – დეფექტური ფენის სიღრმე. აქედან გამომდინარე, ტექნოლოგიურ ციკლში აბრაზიული მარცვლების ზომის – მარცვლოვნების შემცირების კვალდაკვალ ყოველი ტექნოლოგიური ოპერაციის (გადასვლის) შემდეგ თანდათან მალდება დამუშავებული ზედაპირის ხარისხი, დამუშავების მწარმოებლური მკვეთრ შემცირებასთან ერთად.

ალმასური ქარგოლებით ხეხვა, თავისუფალი აბრაზივით დაყვანასთან შედარებით, მაღალმწარმოებლური მეთოდია, ამასთან ვერ უზრუნველყოფს დაყვანის მეთოდისათვის დამახასიათებელ დამუშავების მაღალ ხარისხს, ე.ი. რამდენადმე დამუშავების „უხეში“ მეთოდია. ამდენად, დღეისათვის ხეხვას ქარგოლებით იყენებენ დამუშავების საწყის სტადიაზე, ნაკლებად საპასუხისმგებლო ოპერაციებზე. როგორც მაგალითი, შეიძლება მოვიყვანოთ შუქგამტარებში გამოყენებული საფირონის ფირფიტების მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური ოპერაციების მარშრუტი (სურ. 1)



სურ. 1

აბრაზიულ-ალმასური ქარგოლებით სალი და მყიფე მინისებრი მასალების, მათ შორის მონოკრისტალური საფირონის ხეხვის პროცესის უახლესი კვლევები ცხადყოფს, რომ ფორმის წარმოქმნის სულ უფრო პროგრესული სქემებისა და დამუშავების მეცნიერულად დასაბუთებული კეთილსაიმედო პირობების შემუშავების და მაღალეფექტური პრეციზიული ტექნოლოგიური მოწყობილობების – ჩარხებით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად ამაღლდეს ქარგოლებით ხეხვის შესაძლებლობები, როგორც აბრაზიული დამუშავების მწარმოებლური და პროგრესული მეთოდის, ამაღდროულად პროცესის მართვისა და ავტომატიზაციის შესაძლებლობით.

საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შემუშავებულია დაბალტემპერატურიანი პრეციზიული ხერხვის ორიგინალური მეთოდი (დპხ), რომელიც მიეკუთვნება ალმასური ქარგოლით ზესალი, მყიფე, ძნელად დასამუშავებელი, კომპოზიციური (კერამიკა), მინისებრი (მონოკრისტალები) და სხვა მსგავსი მასალების მაღალეფექტურ, ზუსტი დამუშავების მეთოდს, რომელიც, დამუშავების მაღალმწარმოებლურობასთან ერთად, უზრუნველყოფს დამუშავებული ზედაპირის მაღალ ხარისხს. დამუშავების მაღალი სიზუსტე მიიღწევა დამუშავების მეთოდის კინემატიკისა და შესაბამისი ორიგინალური ტექნოლოგიური მოწყობილობით – ჩარხებით.

ამგვარად, შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ შემუშავებული მეთოდი დპხ თავის თავში აერთიანებს ბმული აბრაზივით – ქარგოლებით დამუშავების უპირატესობას – მაღალმწარმოებლურობას, თავისუფალი აბრაზივით დამუშავებისათვის

დამახასიათებელი ზედაპირის მაღალ ხარისხსა და დამუშავების მაღალ სიზუსტეს.

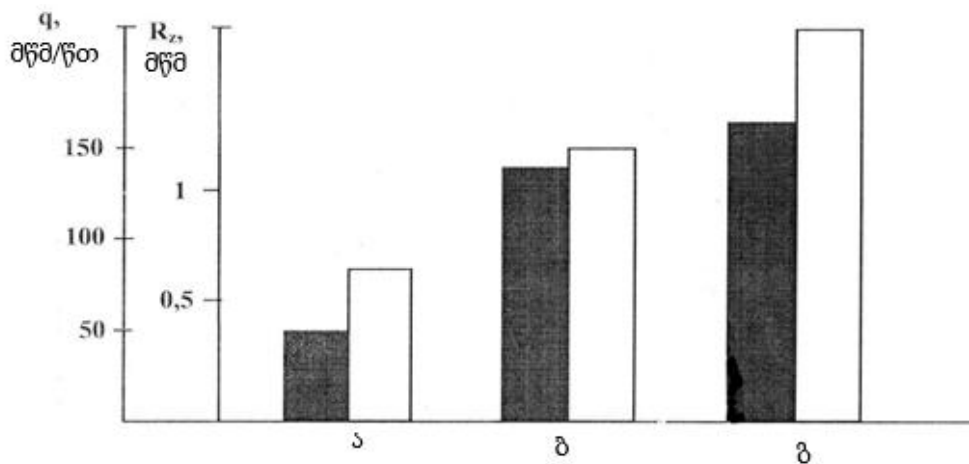
სალი და მყიფე, ძნელად დასამუშავებელი მასალების, მათ შორის ლეიკოსაფირონის, დპხ მეთოდით დამუშავების მრავალწლიანი გამოცდილების შეჯამებით ცალსახად დადგენილია ზემოთ გაკეთებული დასკვნის მართებულობა.

დპხ მეთოდით საფირონის დამუშავებაში ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევებით დადგენილია ოპტიმალური პირობები: ჭრის რეჟიმების ინტერვალები, ჭრის სიჩქარე V , მ/წმ; ხვედრითი ძალა ჭრის ზონაში დასამუშავებელ ზედაპირსა და ალმასური ქარგოლის ტორსულ ზედაპირს შორის P , კპა; აგრეთვე ალმასური ქარგოლის მახასიათებლები: მარცვლოვნება – მკმ, შემკვრელის სახე (მეტალური, კერამიკული, ორგანული), რომლის პირობებში უპირატესად კარგი შედეგებია მიღებული ისეთი გამომავალი პარამეტრების მიხედვით, როგორიცაა: მწარმოებლურობა, მოსახსნელი ფენის ხაზოვანი და მოცულობითი მოხსნის სიჩქარე დროის ერთეულში – მკმ/წთ, სმ³/წთ და ზედაპირის ხარისხი (მიკროუსწორობათა სიმაღლე R_z , მკმ და დეფექტური – დაზნარული ფენის სიღრმე H_{Σ} , მკმ). ეს პარამეტრები პროცესის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებია.

V ჭრის სიჩქარის და P ხვედრითი ძალის ოპტიმალური ინტერვალების დასადგენად, q მწარმოებლურობის და R_z სიმაღლის პარამეტრების მიხედვით, შერჩეულია V და P -ს სამი წყვილი: დაბალი მნიშვნელობით – $V=3$ მ/წმ, $P=250$ კპა, საშუალო – $V=6$ მ/წმ, $P=750$ კპა, მაღალი – $V=12$ მ/წმ, $P=1500$ კპა. პარამეტრების q და R_z ცვლილების ხასიათი V და P ფაქტორებზე დამოკიდებულებით პრაქტიკუ-

ლად მუდმივი დარჩა სხვა მახასიათებლების ალმასური ქარგოლების და საფირონის კრისტალის სხვა ორიენტაციისათვის. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, მწარმოებლურობის მაქსიმუმი მიიღწევა რეჟიმების ასევე მაღალ მნიშვნელობებზე. იმავდროულად მნიშვნელოვნად დაბლდება ზედაპირის ხარისხი, ე.ი. მატულობს პარამეტრის R_z მნიშვნელობები. ამ დროს ალმასური მარცვლები უფრო ღრმად ინერგება დასამუშავებელ მასალაში და უფრო მაღალი ხარისხით ხდება მასალის მსხვრევა – დისპერგირება, რაც აგრეთვე დამსხვრეულ-დაზარალებული ფენის სიღრმის მატებასაც იწვევს. უნდა აღინიშნოს, რომ საფირონის დამუშავება, ხეხვის რეჟიმების საშუალო მნიშვნელობების პირობებში. უზრუნველყოფს აგრეთვე მაღალმწარმოებლურობას, რაც თითქმის მისი მნიშვნელობის ტოლია მაღალი რეჟიმების პირობებისათვის, მაგრამ იმავდროულად პარამეტრი R_z მცირდება თითქმის ერთი კლასით (სიმქისის კლასიფიკაციით). დამუშავების დაბალ რეჟიმებზე მწა-

რმოებლურობა მკვეთრად მცირდება, განხილულ შემთხვევაში თითქმის 3-ჯერ, მაგრამ მაღლდება ზედაპირის ხარისხი დაახლოებით სიმქისის 2 კლასით. აქედან შეიძლება გაკეთდეს პრაქტიკული ღირებულების შემდეგი დასკვნა: დპზ მეთოდით ლეიკოსაფირონის მაღალმწარმოებლური წინასწარი დამუშავების – ალმასური ხეხვის ოპერაციაზე რეკომენდებულია შემდეგი ჭრის რეჟიმები: $V=6...12$ მ/წმ და $P=750...1500$ კპა, ხოლო ზედაპირის მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად რეჟიმებზე – $V=3...5$ მ/წმ და $P=250...750$ კპა. ოპტიმალურ ვარიანტად მიიჩნევა რეჟიმები – $V=6$ მ/წმ; $P=750$ კპა, რომლის პირობებში მწარმოებლურობის მიხედვით უმნიშვნელო წაგება კომპენსირდება დამუშავებული ზედაპირის მაღალი ხარისხით. ოპტიმიზაცია ზედაპირის ხარისხის პარამეტრების მიხედვით მოითხოვს დამუშავებას დაბალი რეჟიმებით – $V=1...3$ მ/წმ $P=100...250$ კპა.



სურ. 2. მწარმოებლურობა q და ზედაპირის სიმქისე – საფირონის კრისტალოგრაფიული ორიენტაციისათვის (1010) დპზ მეთოდით დამუშავების პირობებში ალმასური ქარგოლის მახასიათებლებით ACM 28/20, B1-13, 100% ხეხვის რეჟიმებით

№	ალმასური ქარგოლის მახასიათებლები	საფირონის კრისტალის ორიენტაცია											
		{0001}						{1010}					
		გამომავალი პარამეტრები						გამომავალი პარამეტრები					
		q , მკმ/წთ	$R_{\text{კ}}$ მკმ	t_p %	H_c მკმ	q , მკმ/წთ	$R_{\text{კ}}$ მკმ	t_p %	H_c მკმ	q , მკმ/წთ	$R_{\text{კ}}$ მკმ	t_p %	H_c მკმ
1	ACM 28/20, MIII- TO 100%	55...60	2,5...3	20...25	–	180...200	3...3,5	15...20	–	150...170	3...3,5	15...20	–
2	ACM 28/20, CK6 100%	130...150	2...2,5	20...25	8...10	280...300	2,5...3	15...20	12...14	230...250	2,5...3	15...20	12...14
3	ACM 28/20, CK6 50%	120...130	2...2,5	20...25	–	200...220	2,5...3	15...20	–	180...200	2,5...3	15...20	–
4	ACM 28/20, BC-1-13 100%	30...35	0,25...0,3	30...35	6...8	110...120	1,3...1,5	25...30	10...13	100...110	0,8...1,0	25...30	10...12
5	ACM 14/10, BC-1-13 100%	15...20	0,2...0,25	35...40	3...5	40...45	0,8...1,0	30...35	8...10	35...40	0,6...0,8	30...35	8...10
6	ACM 13/10, შემკვეთი ორგანული სპეციალური 25%	5...8	0,15...0,2	40...45	2...3	20...25	0,3...0,4	30...35	3...5	15...20	0,3...0,4	30...35	3...5

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები საფირონის მონოკრისტალის დპზ მეთოდით დამუშავების დროს, კრისტალის სამი სახასიათო ორიენტაციისათვის, მოყვანილია ცხრილში, დამუშავების საშუალო რეჟიმებზე აღმასური იარაღის მახასიათებლების სხვადასხვა ვარიანტისათვის.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, კრისტალის ყველა საკვლევი ორიენტაციისათვის მაქსიმალურ მწარმოებლურობას უზრუნველყოფს აღმასური იარაღი კერამიკულ შემკვრელზე CK6. ნაკლებად მწარმოებლურია აღმასური იარაღი მეტალურ შემკვრელზე MIII-TO, განსაკუთრებით დაბალია მწარმოებლურობა ორგანულ შემკვრელებზე.

ზედაპირის ხარისხის მაჩვენებლების მიხედვით R_z , H სურათი საპირისპიროა ანუ ზედაპირის მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს აღმასური იარაღი ორგანულ შემკვრელზე. ამავდროულად მისგან შეიძლება შეირჩეს საუკეთესო, როგორცაა BI-13, ორგანული სპეციალური.

აღმასური ქარგოლების ორივე კრიტერიუმით ერთდროული შეფასების შემთხვევაში უპირატესობას იმსახურებს NO12 და BI-13. ამ შემკვრელებზე მიღებულია ოპტიმალური მნიშვნელობები როგორც მწარმოებლურობის, ისე ზედაპირის ხარისხის მაჩვენებლების მიხედვით. უნდა აღინიშნოს, აღმასური ქარგოლების მარცვლოვნება 14/10 და 28/20 აღებულია ადრეულ ეტაპზე, მსგავსი მასალების დპზ მეთოდით დამუშავების ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, როგორც ოპტიმალური.

საფირონის მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის სამაგალითო ვარიანტის ანალიზისა და საფირონის დპზ მეთოდით დამუშავების ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შესაძ-

ლებელია დპზ მეთოდის, როგორც ტექნოლოგიური ოპერაციის, ადგილის განსაზღვრა ტექნოლოგიურ მარშრუტში, მაგალითად, იმპლანტატის სფერული თავის დასამზადებლად, პერსპექტივაში შესაბამისი ახალი ორიგინალური დამამუშავებელი დანადგარის რეალიზაციის გათვალისწინებით.

ნამზადების დამუშავების წინასწარ ეტაპზე დგას მაქსიმალური სიდიდის ნამატების მოხსნის ამოცანა, რომელსაც შეესატყვისება ხეხვის ოპერაციის მიმართ მაღალი მწარმოებლურობის მოთხოვნა.

შემდგომ ოპერაციებზე, პოლირებამდე ხდება ნამზადის ფორმისა და ზომების სიზუსტისა და ზედაპირის ხარისხის თანდათანობითი ამაღლება.

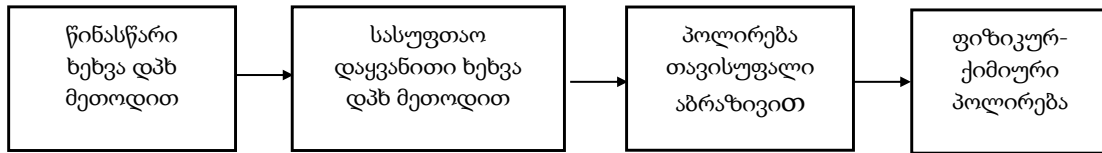
ყოველ შემდგომ საფეხურზე – ოპერაციაზე იხსნება სულ უფრო ნაკლები ნამატი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება წინა ოპერაციის მიერ დატოვებული მემკვიდრეობითი დეფექტების – რელიეფისა და დამსხვრეული ფენის სიღრმის ჯამური მნიშვნელობით.

დპზ მეთოდის შესაძლებლობების გათვალისწინებით, მწარმოებლურობის დამუშავებას სიზუსტისა და ზედაპირის ხარისხის მიხედვით, საფირონის მექანიკური დამუშავების სამაგალითო (პერსპექტიული) ტექნოლოგიური მარშრუტი შეიძლება წარმოვადგინოთ მე-3 სურ-ის სახით.

1-ელ და მე-3 სურათების მიხედვით საფირონის მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური მარშრუტების შედარება აჩვენებს, რომ ის შეიძლება შემცირდეს 6 ოპერაციიდან 4-მდე, გაერთიანდება რა სამი ოპერაცია პირველადი მარშრუტიდან ერთ ოპერაციაში – დპზ. რაც შეეხება თავისუფალი აბრაზივით სასუფთაო დაყვანითი ხეხვის ოპერაციის ჩანაცვლებას დპზ მეთოდით, ის უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან

შემცირებას როგორც ზედაპირის რელიეფური, ისე დამსხვრეული რელიეფქვეშა ფენების ანუ ხარისხის ამაღლების და შედეგად მომდევნო ოპერაციის

მექანიკური დამუშავების ნამატის და, შესაბამისად, ოპერაციული დროის შემცირებას.



სურ. 3

ბუნებრივია დპზ მეთოდით მომუშავე ორიგინალური პრეციზიული კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიური დამამუშავებელი მოწყობილობის რეალიზაციის შემთხვევაში, მათ შორის ადამიანის მენჯ-ბარძაყის სახსრის იმპლანტატის მონოკრისტალური საფირონის სფერული თავისა და მსგავსი ნაკეთობების დასამუშავებლად, დამუშავების ოპტიმალური პირობების გათვალისწინებით, ჭრის რეჟიმებისა და ალმასური იარაღის მახასიათებლების მიხედვით, შესაძლებელია მაღალმწარმოებლური, კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავება, რომელიც პასუხობს თანამედროვე მოთხოვნებს როგორც ტექნიკური, ისე ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით.

დასკვნა

დადგენილია მონოკრისტალური საფირონის დპზ მეთოდით დამუშავების ოპტიმალური პირობები, მწარმოებლურობისა და ზედაპირის ხარისხის მიხედვით.

მწარმოებლურობის კრიტერიუმის მიხედვით დადგენილია ხეხვის ოპტიმალური რეჟიმები და ალმასური იარაღის მახასიათებლები:

- ჭრის სიჩქარე $V = 6...12$ მ/წმ;

- ხვედრითი ძალა ჭრის ზონაში – $P = 750...1500$ კპა;

- ალმასური იარაღის მახასიათებლები – ACM 28/20, CK6, 100% (შემკვრელი კერამიკული), ACM 28/20, MIII100% (შემკვრელი მეტალური); ამასთან მაქსიმალური მწარმოებლურობა კრისტალის ორიენტაციის მიხედვით: (001) – $q = 120...140$ მკმ/წთ, (1010) – $q = 260...290$ მკმ/წთ, (1012) – $q = 220...250$ მკმ/წთ.

ზედაპირის ხარისხის კრიტერიუმის მიხედვით ჭრის რეჟიმებისა და ალმასის იარაღის მახასიათებლების ოპტიმალური მნიშვნელობებია:

ჭრის სიჩქარე – $V = 1...3$ მ/წმ;

ხვედრითი ძალა ჭრის ზონაში – $P = 100...250$ კპა;

- ალმასური ქარგოლის მახასიათებლებია – ACM 28/20, MO12, 100%; ACM 28/20, B1-13, 100%; ACM 14/10, შემკვრელი სპეციალური ორგანული – 25%. ზედაპირის ხარისხის შესაბამისი მაჩვენებლები კრისტალის ყოველი ორიენტაციისათვის: (0001) – $R_z = 0,2...0,3$ მკმ; $H = 3...5$ მკმ; (1010) – $R_z = 0,3...0,5$ მკმ, $H = 5...7$ მკმ; (1012) – $R_z = 0,3...0,5$ მკმ; $H = 5...7$ მკმ.

პროცესის ოპტიმიზაციის ორივე კრიტერიუმის მწარმოებლურობითა და დამუშავების ხარისხით

შეფასების შემთხვევაში დამუშავების ოპტიმალური სიზუსტის) ტექნოლოგიური დამამუშავებელი პირობები შემდეგია: მოწყობილობის რეალიზაციის შემთხვევაში იქმნება რეალური პერსპექტივა საფირონის ნაკეთობების, ზვედრითი ძალა ჭრის ზონაში $P = 500 \dots 750$ კპა; მათ შორის ადამიანის მენჯ-ბარძაყის იმპლანტატის ალმასური მახასიათებლებით იარაღი – ACM სფერული თავის მექანიკური დამუშავების – ალმასური ხეხვის კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავებაში.

28/20, B1 – 13, 100%.

დბზ მეთოდით მომუშავე პრეციზიული (მაღალი

ლიტერატურა

1. European Patent. (n.d.). *Device for surface machining* (Patent No. 88901155.7, MKU B 24 7/16, 37/04).
2. U.S. Patent. (n.d.). *Device for the surface abrasive machining* (Patent No. 4901477, MKU B 24 B5/00).
3. Batiashvili, B. I., Butskhrikidze, D. S., Mamulashvili, G. L., Mgaloblishvili, O. B., Turmanidze, R. S., Kromp, K., Mills, B., Steinkellner, W., Schafler, E., Rösel, F. G., & Peterlik, H. (2001). Evaluation of surface preparation techniques. SGC: Swing frame grinding and LPG: Low temperature grinding by comparison of results on alumina and silicon carbide model materials. In *Fractography of Advanced Ceramics: International Conference*, Stará Lesná, High Tatras.
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.
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 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 machine tool for diamond grinding of flat surfaces and perimeters 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/10.36073/1512-0996-2025-4-249-258>

Low-Temperature Precision Grinding Method for Mechanical-Diamond Processing of Sapphire Monocrystal

David Butskhrikidze

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

E-mail: d. butskhrikidze@gdi.ge

Reviewers:

T. 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. The main, and sometimes the only method of mechanical processing of sapphire is diamond-abrasive processing - grinding, finishing, polishing. Technological processes for the manufacture of parts from materials similar to sapphire are characterized by high labor intensity and cost. Based on the above, the development of effective shaping schemes, high-performance methods and corresponding technological equipment and, ultimately, improved technological processes with a high level of automation are in high demand.

A progressive method of diamond-abrasive processing of super-hard brittle. difficult-to-machine materials, including single crystals, was developed at the Georgian Technical University - low-temperature precision grinding - LPPG refers to the methods of diamond-abrasive processing, which was implemented in a number of special, precision grinding machines and successfully tested on a number of super-hard, difficult-to-machine, brittle materials. This scientific article is devoted to the study of diamond-abrasive processing of a sapphire single crystal, taking into account the anisotropy of the material, the NPS method and the determination of optimal processing conditions (grinding modes and characteristics of the diamond tool).

Keywords: Diamond-abrasive grinding; Microgeometry; Precision processing; Sapphire single crystal.

განხილვის თარიღი 19.03.2025

შემოსვლის თარიღი 22.04.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025