

KIETŪJŲ MEDŽIAGŲ PJOVIMO DEIMANTINE VIELA
PJOVIMO REŽIMŲ TYRIMASRimantas Vilkelis¹, Vadim Mokšin²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹*vilkelisster@gmail.com*; ²*vadim.moksin@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje pateikti skaidraus, bespalvio safyro (Al_2O_3 – korundo atmaina, aliuminio oksidas) kristalo, supjaustyto deimantine viela, paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai. Tyrimui buvo naudotos deimantinės vielos pjaustymo staklės RTS 440. Bandymai buvo atliekami keičiant deimantinės vielos darbinę pastūmą ir nekeičiant vielos greičio, įtempimo, pjoavimo būdo ir įsipjovimo kampo. Rezultatai pateikti kaip safyro paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra priklausomybės nuo vertikaliosios pastūmos grafikai. Taip pat pateikti atpjautos safyro plokštelės plokštumo matavimo rezultatai. Nustatyta safyro plokštelės atpjovimo laiko nuo pastūmos priklausomybė. Nustatytas optimaliausias pastūmų intervalas, kuriam esant gaunamas mažiausias paviršiaus šiurkštumas ir didžiausias našumas.

Reikšminiai žodžiai: deimantinės vielos pjaustymo staklės, safyras, paviršiaus šiurkštumas, deimantinė viela.

Įvadas

Šiais laikais, mokslui sparčiai žengiant į priekį, tobulėja ne tik mechaninio apdirbimo, bet ir kietųjų medžiagų apdirbimo technologiniai procesai, pradedant nuo atpjovimo ir baigiant baigiamuoju apdirbimu. Tačiau tradiciniais apdirbimo būdais apdirbti tokias medžiagas, kaip safyras, kvarcas, granatas, yra labai sunku, nes reikalingi specialūs įrankiai, o kai kuriais atvejais to padaryti iš viso neįmanoma.

Palyginti su kitais kietųjų medžiagų apdirbimo metodais, pjoavimo deimantine viela metodas turi kelis privalumus (Семибратов *et al.* 1978):

- deimantine viela galima pjauti elektrai nelaidžias medžiagas;
- deimantinei vielai besivyniojant ant ritinėlio ir susidarant kilpoms aplink jį, tuo pačiu metu vis tiek gali būti pjaunamas plonas medžiagos sluoksnis.
- pjaunant deimantine viela, susidaro labai mažas medžiagos pjūvio nuostolis.

Tai ypač aktualu pjaunant brangias medžiagas, tokias kaip safyras, granatas, įvairius puslaidininkius. Pavyzdžiui, pjaunant 150–200 mm skersmens ruošinius deimantiniais ašmeniniais pjūklais, kurių storis yra 0,25 mm, pjūvio plotis siekia 0,3–0,38 mm. Tačiau pjaunant 300 mm skersmens ruošinius deimantine viela, kai vielos skersmuo yra 0,25 mm, pjūvio plotis nesiekia net 0,3 mm.

Kitas pjoavimo deimantine viela privalumas yra galimybė keisti pjaunamosios vielos kryptį sinchronizuojant pastūmą (panašiai kaip ir elektroerozinėse staklėse). Vielos sūpuoklėmis galima pjauti netaisyklingos formos ruošinius,

keičiant įpjoavimo kampą ir išlaikant jį pastovų. Palyginti su diskiniiais ir juostiniais pjūklais, kuriais pjaunant negalima keisti pjoavimo krypties ir kurie turi daug sudėtingų konstrukcinių elementų, pjoavimo deimantine viela būdas yra daug lankstesnis pjaunant sudėtingos geometrijos detales.

Toks pjoavimo būdas vis plačiau taikomas pjaunant ypač kietas medžiagas, tačiau mokslinėje literatūroje apie tokių medžiagų pjoavimo režimus ir pjoavimo režimų įtaką apdirbto paviršiaus kokybei duomenų nėra (Hardin 2003).

Todėl šiame darbe ir buvo atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti pastūmos įtaką safyro paviršiaus kokybei, pjaunant deimantinės vielos pjūklą (Clark *et al.* 2003).

Tyrimų staklės, medžiagos ir metodika

Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti deimantinės vielos pjaustymo staklėmis RTS 440 (1 pav.). Šių staklių stalo ir vertikalios rėmo pastūma yra valdoma žingsniniais varikliais. Stalo skersiniu judesiu yra nustatoma pjūvio vieta. Vertikalios rėmo pastūma yra valdoma automatiškai pagal programoje nurodytą reikšmę. Mažiausia šių staklių pastūma gali būti 0,015 mm/min, didžiausia – 10,69 mm/min. Ruošinys yra klijuojamas prie plastiko plokštės, kuri pritvirtinama prie staklių stalo, toliau valdymo pultu stalas statomas toje vietoje, kur norima atlikti pjūvį. Vertikalūs rėmas su ant ritinėlių vyniojama deimantine viela pagal sudarytą programą ir nustatytus parametrus slinkdamas žemyn atlieka pjūvį. Vielai įtempti naudojamas suslėgtasis oras,



1 pav. Deimantinės vielos pjaušimo staklės
Fig. 1. Diamond wire cutting machine

kurio suvartojimas – 0,14 m³/min. Pjūvio zona aušinama tepimo ir aušinimo skysčiu, kuris mažina deimantinės vielos dilimą ir trintį, pašalina susidariusius irimo produktus.

Tyrimui buvo naudojama 0,25 mm skersmens plieno viela, padengta deimantiniais abrazyviniais grūdėliais. Ja buvo pjaušomas skaidrus, bespalvis safyras (Al₂O₃ – korundo atmaina, aliuminio oksidas). Safyro kietumas pagal Moso skalę yra 9 (absoliutusias kietumas – 400). Naudojant Moso skalę, absoliutusias kietumas apibrėžiamas kaip medžiagos gebėjimas priešintis įbrėžimui.

Safyro pjaušimo deimantine viela tyrimai buvo atlikti pasirinkus pastovų vielos vyniojimo greitį 560 m/min, pastovų vielos įtempimą 24,02 N, vienodą pjovimo būdą ir pastovią pjovimo eigą (kristalo aukštį) 20,688 mm. Taip pat buvo pasirinktas pastovus pjovimo kampo keitimosi intervalas nuo 0 iki 3° ir pastovus jo keitimosi greitis. Keičiama buvo tik vertikalojo rėmo pastūma. Vielos greitis ir įtempis buvo parinkti remiantis deimantinės vielos gamintojų Meyer Burger pateiktais duomenimis.

Siekiant nustatyti optimalius safyro pjovimo režimus, esant pastoviams anksčiau išvardytiems parametrams, vertikaloji vielos pastūma buvo didinama nuo 0,00508 mm/s iki 0,02180 mm/s ir skirtingomis pastūmomis nuo safyro kristalo buvo atpjautos šešios plokštelės.

Siekiant nustatyti pastūmos įtaką paviršių kokybei ir optimalų pastūmų intervalą, atpjovus buvo matuojami šie parametrai:

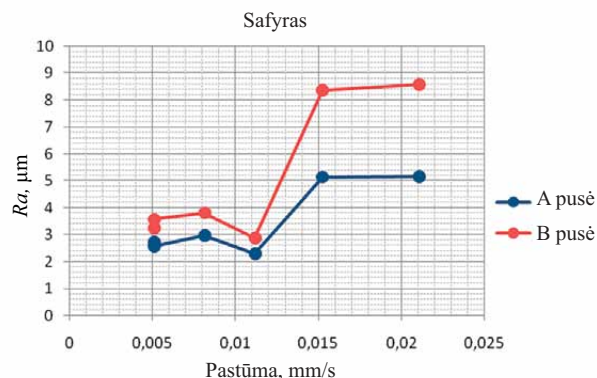
- vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a vertikalojos vielos pastūmos kryptimi;

- vienoda pastūma atpjautos plokštelės paviršiaus plokštumas;
- plokštelės atpjovimo laikas.

Šešių plokštelių pjūvio paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a matuotas profilometru. Matavimai buvo atliekami iš abiejų atpjautos plokštelės pusių.

Rezultatai ir jų aptarimas

Atpjautos safyro plokštelės pjūvio paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai pateikti 2 pav.



2 pav. Safyro paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio priklausomybės nuo vertikalojos vielos pastūmos grafikas

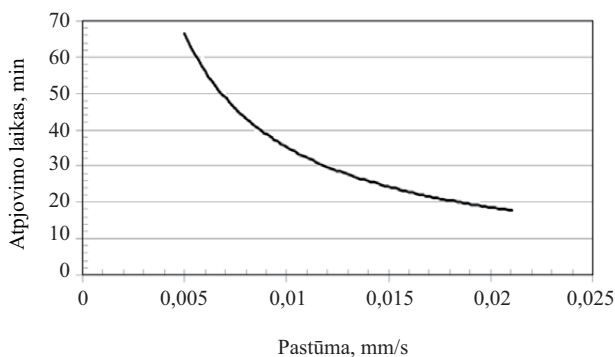
Fig. 2. Graph of dependence of surface roughness parameter R_a on vertical feedrate of diamond wire

2 pav. A ir B raidėmis pažymėtos plokštelės pusės jas atpjovus. A yra pusė, kuri atpjovus likdavo neatskirta nuo ruošinio, tuo tarpu B – plokštelės pusė, kuri buvo atskiriama nuo ruošinio.

Kaip matyti iš 2 pav. pateikto safyro paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio priklausomybės nuo pastūmos grafiko, buvo atlikti šeši pjūviai. Su 0,00508 mm/s pastūma buvo pjauta du kartus, todėl pavaizduoti du taškai. Iš grafikų matyti, kad, didėjant pastūmai nuo 0,00508 mm/s iki 0,0081 mm/s, paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a nežymiai didėjo. Didėjant pastūmai toliau iki 0,01118 mm/s, R_a mažėjo. Dar padidinus pastūmą iki 0,01524 mm/s, paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis didėjo 2,5 karto, toliau nedidėjo. Lyginant A ir B grafikus matyti, kad paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a atpjovus abiejose plokštelės pusėse yra nevienodas. R_a yra visada didesnis toje plokštelės pusėje, kuri atpjauant atskiriama nuo ruošinio. Taip gali būti todėl, kad pjaušomo safyro plokštelių storis gana nedidelis ir sudaro apie 1–1,5 mm. Dėl šios priežasties medžiagą veikiančios pjovimo jėgos kelia vibracijas, kurios turi įtakos paviršiaus kokybei.

3 pav. pavaizduotas atpjovimo laiko priklausomybės nuo vertikaliosios vielos pastūmos grafikas. Jame matoma, kaip paspartėja apdirbimo procesas, padidinus pastūmą nuo 0,00508 mm/s iki 0,02108 mm/s. Esant pjovimo eigai 20,7 mm, pjovimo laikas sutrumpėja beveik keturis kartus, t. y. nuo 68 iki 17 min.

Remiantis 2 ir 3 pav. pateiktais tyrimų rezultatais, galima nustatyti optimalius safyro pjovimo režimus, kai paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis Ra ir safyro atpjovimo trukmė taip pat nėra labai dideli. Toks optimaliausias vielos pastūmos intervalas yra nuo 0,0081 mm/s iki 0,01118 mm/s, esant vielos įtempiui 24,02 N ir pjovimo greičiui 560 m/min. Tada atpjovimo laiko intervalas būtų nuo 42 iki 31 min.



3 pav. Safyro plokštelės atpjovimo laiko priklausomybės nuo vielos pastūmos grafikas

Fig. 3. Sapphire plate cutting time versus feedrate of the diamond wire

Safyro plokštelės, atpjautos su 0,00508 mm/s pastūma, paviršiaus plokštumas, išmatavus jį koordinatine matavimo mašina, sudarė 0,014 mm, kai plokštelė buvo neatskiriama nuo ruošinio, ir 0,017 mm, kai safyro plokštelė buvo atskiriama nuo ruošinio.

Išvados

1. Didinant vielos pastūmą, safyro pjūvio paviršiaus šiurkštumas didėja iki tam tikros ribos. Dar labiau padidinus darbinę pastūmą, šiurkštumas gerokai sumažėja, paskui vėl išauga.
2. Didinant vielos pastūmą, safyro pjovimo laikas labai sutrumpėja, beveik keturis kartus.
3. Optimaliausias vielos pastūmos intervalas, pjaunant safyrą, sudaro 0,0081–0,01118 mm/s, tokiu atveju atpjauto paviršiaus šiurkštumas yra mažiausias, o apdirbimo našumas didžiausias.

Literatūra

- Clark, W. I.; Shih, A. J.; Hardin, C. W.; Lemaster, R. L.; McSpadden, S. B. 2003. Fixed abrasive diamond wire machining - part I: process monitoring and wire tension force, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43: 523–532. [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00215-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00215-8)
- Hardin, C. W. 2003. *Fixed Abrasive Diamond Wire Saw Slicing of Single Crystal SiC Wafers and Wood*: Master's Thesis.
- Семибратов, М. Н.; Зубаков, В. Г.; Штандель, С. К.; Кузнецов, С. М. 1978. *Технология оптических деталей* [Technology of optical parts]. Москва: Машиностроение. 415 с. (in Russian).

RESEARCH OF CUTTING DATA FOR DIAMOND WIRE CUTTING OF HARD MATERIALS

R. Vilkėlis, V. Mokšins

Abstract

The paper presents results of measurements of surface roughness of clear, colorless sapphire (Al_2O_3 – corundum modification, aluminum oxide) crystal cut by diamond wire. The diamond wire cutting machine RTS 440 was used for research. Only vertical feedrate of wire was varied while the wire speed, tension, cutting method and cutting angle were constant. Results are presented as graphs of dependence of arithmetic average surface profile deviation Ra on feedrate of the diamond wire. Sapphire plate flatness measurement results are presented as well. Sapphire plate cutting time dependence on feedrate of the wire was established. The most optimal feedrate range was obtained.

Keywords: diamond wire cutting machine, sapphire, surface roughness, diamond wire.