

## VANDENYJE TIRPIŲ KRISTALŲ PJAUSTYMO TYRIMAI

Rimantas VILKELIS<sup>1</sup>, Mindaugas JUREVIČIUS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>vilkelisster@gmail.com; <sup>2</sup>mindaugas.jurevicius@vgtu.lt*

**Santrauka.** Straipsnyje pateikta vandenyje tirpus kalio divandenilio fosfato (KDP,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) kristalo pjovimo metodika, pateikti supjauto kristalo paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai. Šis tyrimas yra anksčiau atliktų tyrimų tęsinys, tačiau ši kartą pjauti buvo pasirinktas kitokios prigimties kristalas. Tyrimo metu buvo naudotos deimantinės vielos pjaustymo staklės „RTS 440“. Bandymai buvo atliekami keičiant tik vieną pjovimo parametą – deimantinės vielos vertikalią darbinę pastūmą, kiti pjovimo parametrai (vielos greitis, įtempimas, pjovimo būdas, įsipjovimo kampas) buvo nekeičiami. Rezultatai pateikti kaip KDP paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio  $Ra$  priklausomybės nuo vertikaliosios pastūmos grafikai. Nustatyta KDP plokštelės atpjovimo laiko priklausomybė nuo pastūmos. Nustatytas optimaliausias pastūmų intervalas, kuriam esant gaunamas mažiausias paviršiaus šiurkštumas ir didžiausias našumas.

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

### Įvadas

Tobulėjant kietųjų medžiagų apdirbimo technologiniams procesams, atsiranda vis daugiau galimybių atlikti tam tikrus pjovimo procesus (nuo atpjovimo iki baigiamojo apdirbimo), kurių anksčiau atlikti nebuvo galimybių.

Ankstesniame tyrime, naudojant modernias deimantinės vielos pjaustymo stakles „RTS 440“, buvo bandoma atpjauti ypač kietas medžiagas (kristalus), tokias kaip safyras, kvarcas, granatas, kurias atpjauti yra labai sunku, o kai kuriais atvejais visai neįmanoma. Tačiau apdirbant lazerinėje technikoje naudojamus kristalus taip pat susiduriama su kita problema – nemaža dalis lazerinėje technikoje naudojamų kristalų yra tirpūs vandenyje.

Daugeliu atvejų, pjaunant kristalus, aušinti naudojamas skystis yra sudarytas iš įvairių emulsiklių ar lubrikantų, kurių pagrindą sudaro vanduo. Todėl pjaunant vandenyje tirpius kristalus ir aušinti naudojant skystį, kurio pagrindas yra vanduo, kristalai paprasčiausiai pradėtų tirpti, todėl, pjaunant tokius kristalus, reikalingos specifinės aušinimo priemonės arba atpjovimo būdai (Semibratov *et al.* 1978).

Pjaunant deimantine viela vandenyje tirpius kristalus, aušinti galima naudoti ne vandens pagrindu sudarytus skysčius, todėl pjovimo technologija nesikeičia nepriklausomai nuo to, kokios prigimties (ar ypač kietas, ar tirpus vandenyje) kristalas yra pjaunamas, deimantinės vielos pjovimo privalumai išlieka tokie patys. Todėl tai nedaro įtakos pjaunamo kristalo atpjovimo konstrukcijai, tai yra deiman-

tine viela be didesnių problemų galima atpjauti sudėtingos geometrinės formos detales (Hardin 2003).

Todėl šiame darbe buvo atliekamas tyrimas, kurio metu deimantinės vielos pjaustymo staklėmis buvo pjaustomas vandenyje tirpus kristalas KDP, siekiant nustatyti KDP paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio  $Ra$  pastūmos priklausomybę.

### Tyrimų standas, medžiagos ir metodika

KDP kristalas buvo pjaustomas stendu, kurio pagrindas yra deimantinės vielos pjaustymo staklės „RTS 440“ (1 pav.) su papildoma aušinimo sistema.

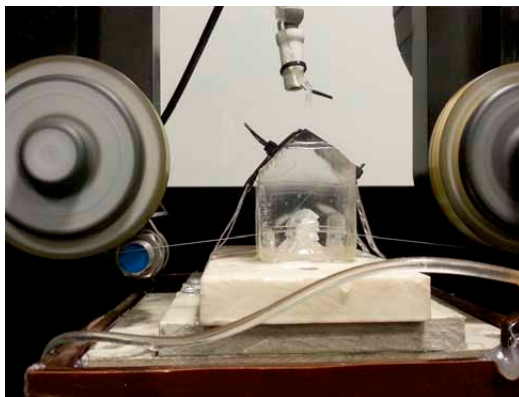


1 pav. Pjaustymo deimantine viela standas

Fig. 1. A stand for diamond wire cutting

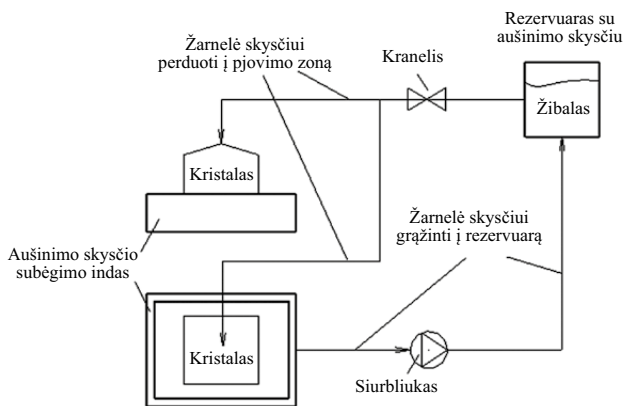
Stendo, kurio pagrindas yra deimantinės vielos pjaustymo staklės „RTS 440“, mažiausia pastūma gali būti 0,015 mm/min, didžiausia – 10,69 mm/min. Tyrimui buvo naudojama 0,25 mm skersmens plieno viela, padengta deimantiniais abrazyviniais grūdėliais.

Pjauti buvo pasirinktas KDP kristalas – tirpi druska, kuri 400 °C temperatūroje praranda vandenį ir suyra. Dėl netiesinių optinių savybių kaip kristalas KDP dažniausiai naudojamas optiniuose modulatoriuose ir netiesinėje optikoje. KDP kristalo kietumas pagal Moso skalę yra apie 1, pagal Vikerso skalę apie 27 (HV) kietumo matavimo vienetus. (Nikogosyan 1997). Parengiamajame KDP kristalo pjovimo etape KDP ruošinys buvo pritvirtintas prie darbinio stalo. Valdymo pultu stalas buvo pozicionuotas toje vietoje, kur buvo numatyta atlikti pjūvį (2 pav.).

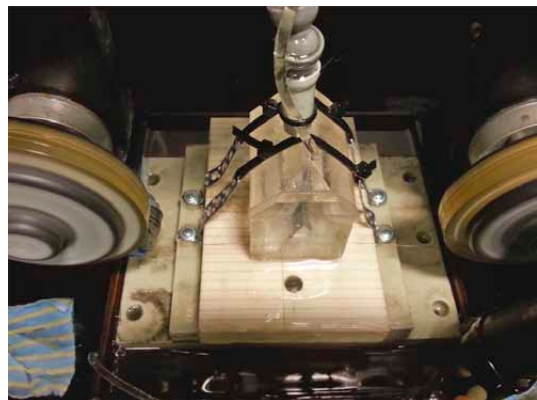


2 pav. Stendo pjovimo zona  
Fig. 2. The cutting zone of the stand

Vielai įtempti naudojamas suslėgtas oras, kurio suvartojimas yra 0,14 m<sup>3</sup>/min. Atsižvelgiant į tai, kad KDP yra tirpus vandenyje, siekiant mažinti deimantinės vielos dilimą ir trintį bei pašalinti susidariusius irimo produktus, pjūvio zonai aušinti buvo pasirinktas žibalas ir sumontuota tam skirta aušinimo sistema (3, 4 pav.).

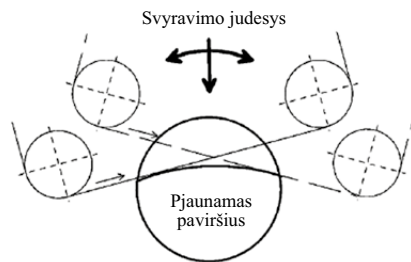


3 pav. Aušinimo žibalu schema  
Fig. 3. Scheme for cooling using kerosene

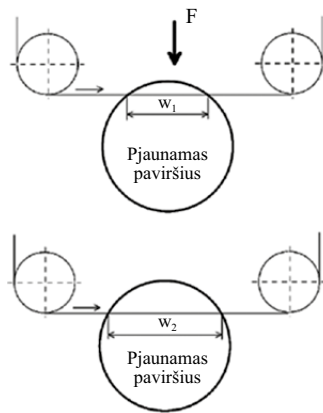


4 pav. Žibalu aušinama zona  
Fig. 4. The zone of cooling using kerosene

KDP kristalo pjaustymo deimantine viela tyrimai buvo atlikti pasirinkus pastovų vielos greitį 400,2 m/min, pastovų vielos įtempimą 20,91 N, vienodą pjovimo būdą bei pastovų pjovimo gylį 79,0194 mm. Taip pat buvo pasirinktas pastovus svyravimo judesių intervalas vielai pjaunant nuo nulio iki dviejų laipsnių ir pastovus jo keitimosi greitis (5 pav.) (Clark *et al.* 2003a, 2003b). Keičiama buvo tik vertikalaus rėmo pastūma  $F$  (6 pav.).



5 pav. Svyravimo judesiai vielai pjaunant  
Fig. 5. Rocking-motion cutting with wire



6 pav. Vertikalaus rėmo su deimantine viela pjūvio atlikimo schema  
Fig. 6. Scheme for cutting a vertical frame with diamond wire

Vielos greitis ir įtempimas buvo parinkti remiantis deimantinės vielos gamintojų „MEYER BURGER“ pateiktais duomenimis ir prieš tai atliktais tyrimais.

Siekiant nustatyti optimalius KDP kristalo pjovimo režimus, esant pastoviems anksčiau išvardintiems parametrams, pastūma buvo didinama nuo 0,05004 mm/s iki 0,09017 mm/s ir skirtingomis pastūmomis buvo atlikti keturi KDP kristalo pjūviai (penkios plokštelės).

Po atpjovimo siekiant nustatyti pastūmos įtaką paviršių kokybei ir nustatyti optimalų pastūmų intervalą buvo matuojami šie parametrai:

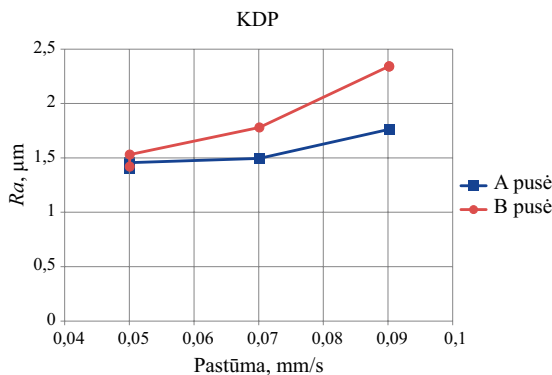
- vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis  $Ra$  vertikaliosios vielos pastūmos kryptimi,
- plokštelės atpjovimo laikas.

Penkių plokštelių paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis  $Ra$  buvo matuojamas profilometru. Matavimai buvo atliekami iš abiejų atpjautos plokštelės pusių.

## Rezultatai ir jų aptarimas

Atpjautos KDP plokštelės paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai pateikti 7 pav.

7 pav. A ir B raidėmis pažymėtos plokštelės pusės atpjovus KDP kristalą. A pusė yra ta, kuri atpjovus likdavo neatskirta nuo ruošinio, o B pusė – plokštelės pusė, kuri buvo atskiriama nuo ruošinio.



7 pav. KDP paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio priklausomybės nuo pastūmos grafikas

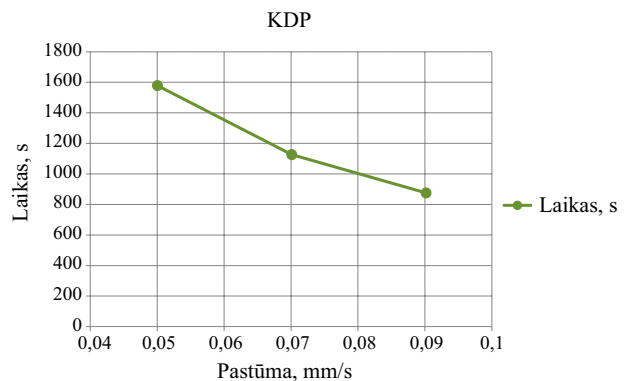
Fig. 7. Graph of the dependence of surface roughness parameter  $Ra$  on the vertical feed rate of diamond wire

Kaip matyti iš KDP paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio priklausomybės nuo pastūmos grafiko, buvo atlikti keturi pjūviai. Esant 0,05004 mm/s pastūmai buvo pjauta du kartus, todėl yra pavaizduoti du taškai. Iš grafikų matoma, kad didėjant pastūmai nuo 0,05004 iki 0,07017 mm/s paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis  $Ra$  nežymiai didėjo, didėjant pastūmai toliau iki 0,09017 mm/s  $Ra$  didėjo žymiai sparčiau. Lyginant A ir

B grafikus matoma, kad paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis  $Ra$  atpjovus KDP kristalą abiejose plokštelės pusėse yra nevienodas.  $Ra$  yra visada didesnis toje plokštelės pusėje, kuri atpjauant atskiriama nuo ruošinio. Taip gali būti todėl, kad pjaustomo KDP plokštelių storis gana nedidelis ir sudaro apie 1–3 mm. Dėl šios priežasties medžiagą veikiančios pjovimo jėgos kelia vibracijas, kurios turi įtakos paviršiaus kokybei.

8 pav. pavaizduotas atpjovimo laiko priklausomybės nuo vertikaliosios vielos pastūmos grafikas. Jame matoma, kaip stipriai paspartėja apdirbimo procesas padidinus pastūmą nuo 0,05004 mm/s iki 0,09017 mm/s. Esant pjovimo gyliui (kristalo aukščiui) 79,0194 mm pjovimo laikas sutrumpėja beveik 2 kartus, tai yra nuo 26 min iki 14 min.

Remiantis tyrimų rezultatais, pateiktais paveiksluose, galima teigti, kad didinama pastūma KDP kristalo paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio aukščiui labai didelės įtakos neturi, nes, beveik dvigubai padidinus pastūmą  $Ra$ , padidėjimas nesiekia net vieno karto, o pjovimo trukmė sutrumpėja beveik du kartus.



8 pav. KDP plokštelės atpjovimo laiko priklausomybės nuo vielos pastūmos grafikas

Fig. 8. Graph of KDP crystal plate cutting time versus the feed rate of diamond wire

## Išvados

1. Esant pjovimo gyliui (kristalo aukščiui) 79,0194 mm ir pjaunant pastūma 0,05004 mm/s pjūvio trukmė yra 26 min, o esant pastūmai 0,09017 mm/s pjūvio trukmė yra 14 min.
2. Didinant vielos pastūmą beveik dvigubai KDP kristalo paviršiaus šiurkštumo padidėjimas nesiekia vieno karto.
3. Didinant vielos pastūmą KDP kristalo pjovimo laikas sutrumpėja beveik du kartus.
4. Padidinus pastūmą nuo 0,05004 mm/s iki 0,09017 mm/s galima teigti, kad toks pastūmos padidėjimas paviršiaus šiurkštumui didelės įtakos neturi, nes paviršiaus šiurkštumas padidėja nežymiai.

## Literatūra

- Clark, W. I.; Shih, A. J.; Hardin, C. W.; Lemaster, R. L.; McSpadden, S. B. 2003a. Fixed abrasive diamond wire machining – part II: experiment design and results, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43: 533–542. [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00216-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00216-X)
- Clark, W. I.; Shih, A. J.; Hardin, C. W.; Lemaster, R. L.; McSpadden, S. B. 2003b. 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. North Carolina State University.
- Nikogosyan, D. N. 1997. *Properties of optical and laser-related materials*: a handbook. New York: Jon Wiley & Sons, 1–4, 18–24, 155–157, 210–210.
- Semibratov, M. N.; Zubakov, V. G.; Shtandel', S. K.; Kuznetsov, S. M. 1978. *Tekhnologiya opticheskikh detaley* [Technology of optical parts]. Moskva: Mashinostroenie. 415 s. (in Russian).

## RESEARCH ON CUTTING CRYSTALS SOLUBLE IN WATER

**R. Vilkelis, M. Jurevičius**

### Abstract

The paper presents the results of measuring surface roughness and cutting techniques of a water-soluble potassium dihydrogen phosphate (KDP,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) crystal. This study is a continuation of the previous research; however, this time, for cutting, a crystal of different nature has been chosen. For research purposes, diamond wire cutting machine RTS 440 has been used. The experiments have been performed changing a single cutting parameter – the vertical feed rate of wire under constant wire speed, tension, cutting method and cutting angle. The obtained results have been presented as the graphs of the dependence of arithmetic average deviation  $R_a$  of the surface profile on the feed rate of diamond wire. Also, the dependence of KDP crystal plate cutting time on the feed rate of wire has been established thus obtaining the most optimal feed rate range.

**Keywords:** diamond wire cutting machine, KDP, surface roughness, diamond wire.