

PJOVIMO PARAMETRŲ ĮTAKA GRĘŽIAMŲ SKYLIŲ SKERSMENIMS  
IR PAVIRŠIŲ ŠIURKŠTUMUI GAMINANT DETALES IŠ ALIUMINIO 6082Andrius Stasiūnas<sup>1</sup>, Mindaugas Jurevičius<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

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

**Santrauka.** Nagrinėjamas aliuminio gręžimo procesas. Darbo tikslai – išnagrinėti pjovimo greičio, pastūmos ir skylės gylio įtaką gręžiamų skylių skersmenims ir paviršių šiurkštumui aliuminio lydinio 6082 sausojo gręžimo proceso metu bei sudaryti empirines formules pjovimo parametrų nustatymui. Analizuojamas gręžimo procesas. Aprašyta eksperimento metodika, naudota įranga, įrankiai ir matavimo prietaisai. Naudojant skirtingus pjovimo parametrus buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai. Gauti rezultatai buvo analizuojami pasitelkiant kompiuterinę programinę įrangą. Pagal jau sukurtas matavimo metodikas buvo matuojamas skylių paviršių šiurkštumas ir skersmenys. Sukurti empiriniai modeliai ir atlikti patvirtinamieji jų patikrinimo eksperimentai. Pateiktos išvados ir rekomendacijos.

**Reikšminiai žodžiai:** aliuminis 6082, gręžimas, pastūma, paviršiaus šiurkštumas, pjovimo greitis, skylės skersmuo.

## Įvadas

Skylių formavimas yra labai svarbus gamybos procesas. Gręžimas yra pagrindinis ir dažniausiai naudojamas skylės formavimo būdas. Tai pjovimo procesas, kai grąžto ašmenys naudojami tam, kad išpjautų ar padidintų skylę kietoje medžiagoje, tokioje kaip medis, plastikas ar metalas. Gręžti yra naudojami skirtingi įrankiai ir metodai, priklausomai nuo medžiagos tipo, gręžiamos skylės dydžio, gręžiamų skylių skaičiaus ir laiko, per kurį turi būti atliekamas gręžimo procesas. Šis procesas atliekamas pašalinant medžiagą iš gręžiamos skylės ir taikomas kaip paruošiamasis žingsnis daugeliui procesų, tokiems kaip skylių plėtimas, gilinimas, ištekinimas, sriegimas ir t. t.

Aliuminio lydiniai yra plačiai naudojami automobilių ir orlaivių pramonės šakose dėl patvarumo, tvirtumo ir lengvumo. Šios medžiagos naudojamos ir mašininio apdorojimo srityse, kur aktualus tepimo ir aušinimo skysčių naudojimo minimizavimas. Alternatyva tepimo ir aušinimo emulsijų naudojimui galėtų būti sausasis apdirbimas.

Pjovimo parametrų įtakai gręžiamos skylės skersmeniui ir paviršiaus šiurkštumui tirti buvo taikomi statistiniai metodai, visų veiksnių eksperimentas ir dispersinė analizė (ANOVA) (Anderson *et al.* 2000; Montgomery *et al.* 2005; Kurt *et al.* 2009; Myers *et al.* 2002; Kalpakjian *et al.* 2001).

## Tyrimo metodika

**Staklės.** Eksperimentai buvo atlikti naudojant trijų ašių „Mazak CNC“ frezavimo stakles. Gręžimo bandymai atliekami esant sausojo gręžimo sąlygoms. Iš viso daroma 11 bandymų, be to, dar 8 bandymai būna kaip patvirti-

namieji testai. CNC programos rašomos rankiniu būdu tiesiai į staklių programavimo langą. Pjovimo parametrų intervalas pasirenkamas remiantis įrankio gamintojo rekomendacijomis.

**Grąžtas.** Gręžimo bandymai buvo atlikti naudojant 6 mm skersmens greitapjovio plieno (HSS) spiralinį grąžtą, padengtą titano nitrido (TiN) danga.

Siekiant bandymams užtikrinti pradinės sąlygas, kiekvienam eksperimentui buvo naudojamas naujas įrankis.

**Bandiniai.** Apdorojamo gaminio medžiaga buvo aliuminio lydinys 6082, kuris plačiai naudojamas mašinų gamybos pramonėje. Ruošinių matmenys yra 30×50×10 mm ir 30×50×15 mm.

**Skylių skersmenų matavimas.** Šiuose eksperimentuose galutinis gręžiamos skylės matmuo yra apibrėžiamas naudojant trijų ašių koordinatinę matavimo mašiną (3D CMM) DEA Global 05.07.05. Pagrindiniai sistemos komponentai yra trijų ašių mechaninis padėties nustatymo mechanizmas, matavimo galvutė su pjezokristaliniu jutikliu, valdymo blokas ir kompiuteris.

**Paviršiaus šiurkštumo (Ra) matavimas.** Eksperimento metu paviršiaus šiurkštumas buvo matuojamas pasitelkus profilometrą „Mitutoyo sj-201“.

**Eksperimento rezultatų analizė.** Kompiuterinė programa „Design Expert 8“ buvo naudojama norint apibrėžti pagrindinius proceso parametrų poveikius. Dispersinė analizė (ANOVA) buvo atlikta norint surasti priklausomus kintamuosius, kurie veikiami apdorojimo parametrų, ir nustatyti optimalias sąlygas.

**Eksperimento planas.** Aliuminio lydinio 6082 gręžimo eksperimentas apima tris veiksnius, kurie kito dviem lygiais: apatiniu lygiu ir viršutiniu lygiu. Trys pjovimo parametrai, kurie buvo naudojami, yra pjovimo greitis, pastūma ir gręžiamos skylės gylis – jie atitinkamai pažymėti A, B ir C. Eksperimento veiksniai ir lygiai pateikti 1 lentelėje. Eksperimento planas pateiktas 2 lentelėje.

**1 lentelė.** Eksperimento veiksniai ir jų lygiai  
**Table 2.** Factors and levels of the experiment

Veiksny	Pavadinimas	Vienetai	Apatinis lygis (-)	Viršutinis lygis (+)
A	Pjovimo greitis	m/min	40	60
B	Pastūma	mm/aps.	0,1	0,2
C	Skylės gylis	mm	10	15

**2 lentelė.** Eksperimento planas

**Table 1.** Design of the experiment

Eil. Nr.	Bandymo Nr.	A: pjovimo greitis (m/min)	B: pastūma (mm/aps.)	C: skylės gylis (mm)
1	11	40	0,1	10
2	1	60	0,1	10
3	9	40	0,2	10
4	4	60	0,2	10
5	2	40	0,1	10
6	3	60	0,1	15
7	5	40	0,2	15
8	6	60	0,2	15
9	7	50	0,15	12,5
10	10	50	0,15	12,5
11	8	50	0,15	12,5

### Eksperimento duomenys

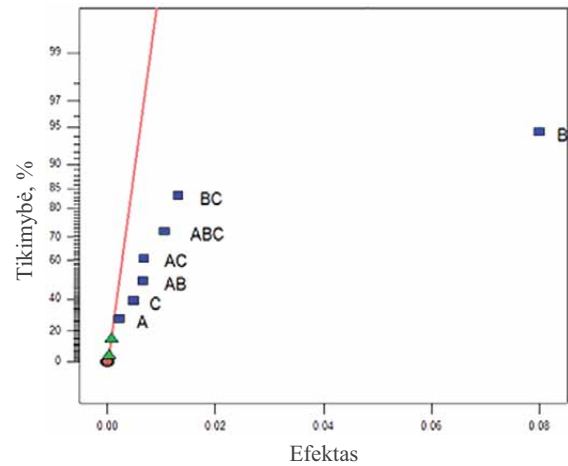
Eksperimento metu gauti duomenys pateikti 3 lentelėje.

1 paveiksle pateikta gauta gręžiamos skylės skersmens diagrama su visais pažymėtais poveikiais. Pavyzdžiui, mažiausi poveikiai yra A, C, AB, AC, AB, ABC ir BC. Jie turi mažiausias tikimybes paveikti skylės skersmenį ir tai tikriausiai yra eksperimento klaidų rezultatas, todėl nelaukiami reikšmingais. B faktorius statistine prasme modeliui turi didžiausią poveikį.

**3 lentelė.** Eksperimento duomenys

**Table 3.** Experimental results

Eil. Nr.	Skylės skersmuo (mm)	Paviršiaus šiurkštumas (μm)
1	6,1833	4,91
2	6,1626	3,17
3	6,1053	5,67
4	6,1334	3,53
5	6,1889	5,81
6	6,1973	3,92
7	6,1009	5,71
8	6,1014	3,92
9	6,1389	3,88
10	6,1307	3,76
11	6,1325	3,62



**1 pav.** Gręžiamos skylės skersmens poveikio diagrama

**Fig. 1.** The effect of the diameter of the drilled hole

### Pjovimo parametru įtakos skylių skersmenims analizė

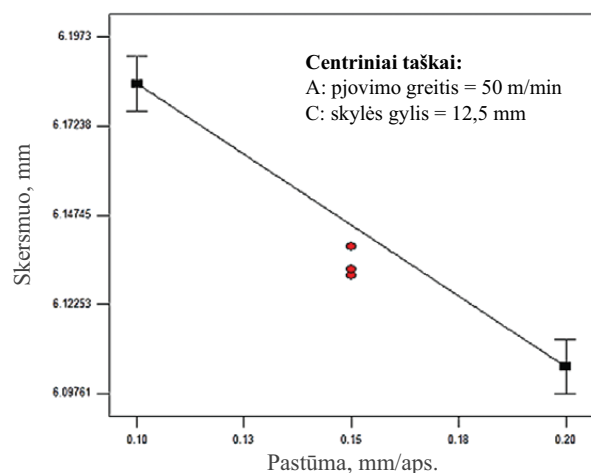
2 paveiksle pateiktoje modelio diagramoje analizuojamas tik reikšmingas veiksnys „B“ (pastūma). Akivaizdu, kad kai pastūma mažesnė, tuomet gręžiamos skylės skersmens vertės yra didesnės, o kai pastūma didesnė, tuomet gręžiamos skylės skersmens vertės yra mažesnės. Todėl norint gauti optimalų gręžiamos skylės skersmenį, geriausia yra nustatyti didesnę pastūmą.

Gręžiamos skylės skersmens empirinė formulė:

$$D = 6,263 - 0,79 \cdot f; \quad (1)$$

čia:  $D$  – skylės skersmuo (mm);  $f$  – pastūma (mm/aps.).

Kad skylės skersmens empirinis modelis yra pakankamai tikslus, galima įrodyti atlikus patvirtinamuosius bandymus. Atlikus šiuos bandymus, visos gautos vertės pateko į 95 % pasiklivimo intervalą.

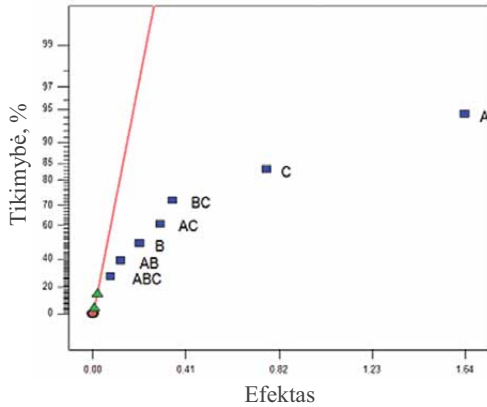


**2 pav.** Pastūmos įtaka gręžiamos skylės skersmeniui

**Fig. 2.** The influence of feed rate on hole diameter

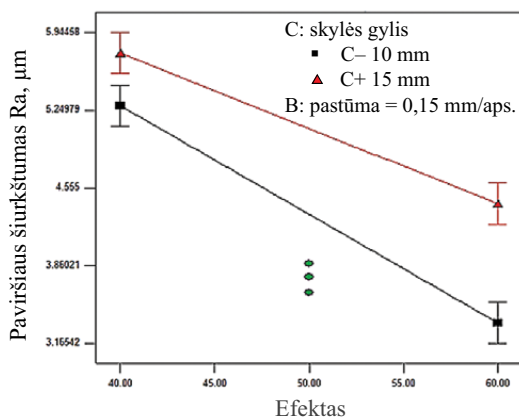
### Pjovimo parametrų įtakos skylių paviršių šiurkštumui analizė

3 paveiksle pateikta paviršiaus šiurkštumo su visais pažymėtais poveikiais diagrama. Mažiausi poveikiai yra ABC ir AB. Juos galima laikyti nereikšmingais. A, B, C, BC ir AC poveikių reikšmingumas statistine prasme laikomas svarbiu. Poveikiai yra žymimi A, B ir C, čia A yra pjovimo greitis, B – pastūma, o C – gręžiamos skylės gylis.



3 pav. Gręžiamų skylių paviršių šiurkštumo poveikio diagrama  
Fig. 3. The effect of surface roughness of drilled holes

Modelio diagramoje, pateiktoje 4 paveiksle, galima išskirti svarbų poveikį turinčius veiksnius, kurie daro įtaką paviršiaus šiurkštumo rezultatams, tai: pjovimo greičio (A) tarpusavio sąveika su gręžiamos skylės gyliu (C). Ji parodo, kad tuomet, kai pjovimo greitis didelis (A+), gręžiamos skylės gylis yra nedidelis (C-), tada paviršiaus šiurkštumas gaunamas mažesnis, tačiau jei pjovimo greitis mažas (A-) ir gręžiamos skylės gylis mažas (C-), tada paviršiaus šiurkštumo vertės padidėja. Paviršiaus šiurkštumo vertė didėja, kai gręžiamos skylės gylis yra didesnis (C+). Kai pjovimo greitis mažesnis (A-), paviršiaus šiurkštumo ver-

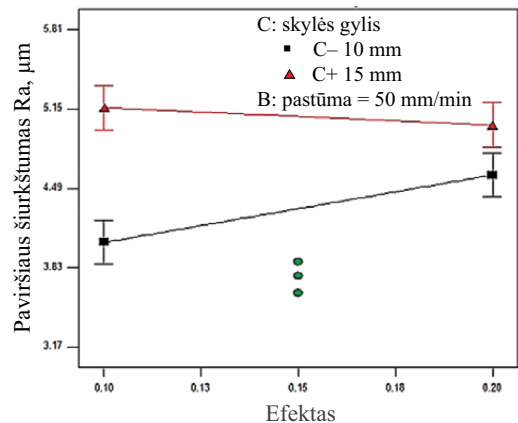


4 pav. Pjovimo greičio ir gręžiamos skylės gylio poveikių paviršių šiurkštumui diagrama

Fig. 4. The influence of cutting speed and hole depth on surface roughness

tės yra didesnės, o kai pjovimo greitis didesnis (A+), tada paviršiaus šiurkštumo vertės yra mažesnės. Taigi, norint pasiekti optimalų paviršiaus šiurkštumą, tinkamiausi nustatymai: didesnis pjovimo greitis ir mažesnis gręžiamos skylės gylis.

Modelio diagramoje, pateiktoje 5 paveiksle, poveikis, kuris turi įtaką paviršiaus šiurkštumo rezultatams, yra pastūmos ir gręžiamos skylės gylio tarpusavio sąveika. Kai gręžiamos skylės gylio (C-) ir pastūmos (B-) nustatymai yra mažesni, paviršiaus šiurkštumo vertė yra žemesnė, o kai gręžiamos skylės gylio (C+) ir pastūmos (B+) nustatymai didesni, paviršiaus šiurkštumo vertės yra didesnės. Kai gręžiamos skylės gylio (C+) nustatymai yra didesni, o pastūmos (B-) nustatymai mažesni, paviršiaus šiurkštumo vertė yra didesnė. Kai gręžiamos skylės gylis (C+) ir pastūma (B+) yra didesni, tada paviršiaus šiurkštumo vertė yra mažesnė, tačiau jei ji analizuojama tarpusavio sąveikos diagramoje, tada galima daryti išvadą, kad ši sąveika nėra reikšminga, nes diagramoje matoma, kad paviršiaus šiurkštumo vertė beveik nekinta. Taigi, norint pasiekti geriausią paviršiaus šiurkštumą, tinkamiausi nustatymai yra: mažesnis gręžiamos skylės gylis (C-) ir mažesnė pastūma (B-).



5 pav. Pastūmos ir gręžiamos skylės gylio poveikio paviršių šiurkštumui diagrama

Fig. 5. The influence of feed rate and hole depth on surface roughness

Galutinė gręžiamos skylės skersmens empirinė formulė:

$$Ra = 7,655 - 0,157 \cdot v + 19,7 \cdot f + 0,068 \cdot l + 5,95 \cdot 103 \cdot v \cdot l - 1,41 \cdot f \cdot l, \quad (2)$$

čia:  $Ra$  – paviršiaus šiurkštumas ( $\mu\text{m}$ );  $f$  – pastūma (mm/aps.);  $v$  – pjovimo greitis (m/min);  $l$  – skylės gylis (mm).

Kad skylės paviršiaus šiurkštumo empirinis modelis yra pakankamai tikslus, galima įrodyti atlikus patvirtinamuosius bandymus. Atlikus šiuos bandymus, visos gautos vertės pateko į 95 % pasiklovimo intervalą.

## Išvados

Pastūma yra reikšmingiausias veiksnys skylių skersmenims, gręžiant aliuminį 6082.

Mažiausias skylės skersmuo (6,101 mm) gaunamas esant didžiausiai pastūmai (0,2 mm/aps.), o didžiausias (6,197 mm) – esant mažiausiai pastūmai (0,1 mm/aps.).

Kiti veiksniai, tokie kaip pjovimo greitis ir gręžiamos skylės gylis, neturi didesnės įtakos gręžiamos skylės skersmeniui.

Pjovimo greičio ir gręžiamos skylės gylio tarpusavio sąveika, taip pat pastūmos ir gręžiamos skylės gylio tarpusavio sąveika yra reikšmingi paviršių šiurkštumo veiksniai.

Geriausios paviršiaus šiurkštumo vertės (3,17  $\mu\text{m}$ ) buvo pasiektos esant didesniam pjovimo greičiui (60 m/min), mažesnei pastūmai (0,1 mm/aps.) ir nedideliame gręžiamos skylės gyliui (10 mm), prasčiausios (5,81  $\mu\text{m}$ ) – esant mažam pjovimo greičiui (40 m/min), didesnei pastūmai (0,2 mm/aps.) ir didesniam skylės gyliui (15mm).

## Literatūra

- Anderson, M. J.; Whitcomb, P. J. 2000. *DOE Simplified, Practical Tools for Effective Experimentation*. 2nd edition. United States of America: Edward Brothers.
- Kalpakjian, S.; Schmid, S. R. 2001. *Manufacturing Engineering and Technology*. 4th edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Kurt, M.; Bagci, E.; Kaynak, Y. 2009. Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes, *International J. Advance Manufacturing Technology* 40: 458–469. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-007-1368-2>
- Myers, R. H.; Montgomery, D. C. 2002. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York.
- Montgomery, D. C. 2005. *Introduction to Statistical Quality Control*. 5th edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

## INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS AND HOLE DIAMETER OF DRILLING MAKING PARTS OF ALUMINIUM ALLOY 6082

A. Stasiūnas, M. Jurevičius

### Abstract

The article researches the drilling process of an aluminium alloy. The paper is aimed at analyzing the influence of cutting speed, feed and hole depth considering hole diameter and hole surface roughness of aluminum alloy 6082 in the dry drilling process and at making empirical formulas for cutting parameters. The article also describes experimental techniques and equipment, tools and measuring devices. Experimental studies have been carried out using different cutting parameters. The obtained results have been analyzed using computer software. According

to the existing techniques for measuring, surface roughness and hole diameters have been measured, empirical models have been created and the results of the conducted experiments have been inspected. The findings and recommendations are presented at the end of the work.

**Keywords:** aluminum 6082, drilling, cutting speed, feed rate, hole diameter, surface roughness.