

PLIENO PJOVIMO LAZERIU KOKYBĖS TYRIMAS

Vladislav Markovič

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: vladislav.m@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje tirama plieno C45 LST EN 10083-1 lazerinio pjovimo metu gautos briaunos paviršiaus kokybės priklausomybė nuo skirtingų pjovimo režimų ir bandomojo plieno storio pokyčio. Straipsnyje pateikta: pagrindinių lazerinio pjovimo režimų – pjovimo greičio, slėgio, kampo ir pjaunamojo paviršiaus storio – įtaka kokybinėms bandinio charakteristikoms. Tyrimo metu išryškėjo, kad, didinant darbinių dujų slėgį nuo 0,5 iki 0,9 Mpa, skirtumas tarp bandinių nuokrypio nuo aukščio reikšmių siekia iki 0,26 mm. Pjaunant 6 mm storio plieną, pasiekiamas didžiausias pjaunamos briaunos kietumas – 575 HV.

Reikšminiai žodžiai: pjovimas, lazeris, kokybė, plienas, tyrimai.

Įvadas

Lazerinio pjovimo staklės yra plačiai taikomos sudėtingo profilio ir didelio tikslumo detalėms gaminti, bet dažnai gauto gaminio kokybinės charakteristikos neatitinka nustatytų nominalių reikšmių – to priežastis yra netinkami pjovimo režimai. Egzistuojantys lazerinio pjovimo būdai skiriasi fizikiniais ir cheminiais procesais, kurie vyksta pjovimo metu. Visais atvejais medžiaga įkaitinama įvairios galios ir intensyvumo lazerio spinduliu (Poprawe 2009; Stourmaras 2009).

H. A. Eltawahni (2012) teigia, kad tiriant lazerinio pjovimo būdu išpjautos briaunos kokybines charakteristikas, būtina taikyti kompleksinius briaunos tyrimo būdus, nes dėl mažo duomenų kiekio ir įvairiapusiškumo neįmanoma sudaryti objektyvaus vaizdo vertinant būsimojo gaminio charakteristikas.

Vertinant lazerinio pjovimo kokybinių charakteristikų rezultatus būtina taikyti statistinius matematinius modelius (Čereška 2012).

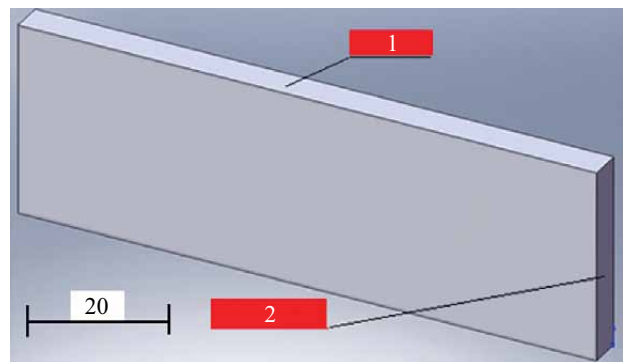
Patikimiausias metodas vertinti anksčiau minėto reiškinio kokybę yra apdirbtos briaunos šiurkštumo parametru tyrimas, nes pjaunant terminio poveikio zonai tenka minimalus energijos kiekis. Tai reiškia, kad faziniai ir struktūriniai pokyčiai yra minimalūs (Karatas 2006; Prasad 1998).

Vertinant lazerinio pjovimo kokybę svarbu užtikrinti, kad visų bandinių medžiaga būtų vieno gamintojo ir geriausia – tos pačios partijos. Priešingu atveju labai iškraipomi rezultatai ir susidaryti vienareikšmiško vaizdo neįmanoma (Rayaram 2003).

Bandinių pjovimas

Siekiant, kad analizės eiga būtų kuo tikslesnė ir technologiškesnė, ji buvo suskirstyta į kelis esminius etapus. Pagrindinis etapas – tai tiriamųjų bandinių pjovimas lazerinio pjovimo įrenginiu „Trulaser 3030“. Tiriamųjų bandinių medžiaga – plienas C45 LST EN 10083-1. Bandinių (1 pav.) gabaritiniai matmenys: 70×25×2; 70×25×3; 70×25×4; 70×25×6 mm.

Tyrimo metu buvo stebima, kaip bandinio storis ir pagrindinių lazerinio pjovimo režimų pokytis veiks esminius pjovimo defektus ir defektus, reglamentuojamus pagal LST EN 12584:2001.



1 pav. Tiriamasis bandinys: 1 – pagrindinis tiriamasis paviršius; 2 – pagalbinis tiriamasis paviršius

Fig. 1. The test sample: 1 – the main target surface; 2 – supporting research surface

Pagrindiniai pjovimo režimai:

- pjovimo greitis V , m/s;
- pjovimo dujų slėgis P , Pa;
- bandinių pjovimo kampas, α° .

Tiriamieji bandiniai pjauti pasitelkus kompiuterinio modeliavimo programą „Laser RS3“.

Geometriniai bandinių modeliai, naudojant kompiuterinio modeliavimo programą, buvo sudėlioti plieno lakšte trimis eilėmis, kiekvienoje eilėje po tris bandinius. Tinkamai išdėsčius bandinius, buvo parengta staklių apdorojimo proceso valdymo programa, kuri vėliau įrašyta į „Trulaser 3030“. Prieš atliekant bandymą išmatuota supančios aplinkos ir pjaunamojo metalo temperatūra, siekiant įsitikinti, kad temperatūriniai nuokrypiai neturės įtakos bandymams.

Techniniai lazerinio pjovimo duomenys:

- Pjovimo dujos – deguonis;
- Lazerinio spindulio formavimo aukštadažniame generatoriuje dujos – azotas, helis, deguonis;
- Pjovimo greičio reikšmės: $V_1 - 4$ m/min. $V_2 - 5$ m/min. $V_3 - 6$ m/min;
- Pjovimo dujų slėgio reikšmės: $P_1 - 0,5$ MPa, $P_2 - 0,7$ MPa, $P_3 - 0,9$ MPa;
- Bandinių pjovimo kampo reikšmės: $\alpha_1 = 25^\circ$;
 $\alpha_2 = 45^\circ$; $\alpha_3 = 90^\circ$.

Paleidus bandinių apdirbimo programą visi trys kokybei turintys įtakos parametrai keitėsi automatiškai, todėl tyrimo eigai žmogiškasis faktorius įtakos neturėjo. Bandymų stebėjimo metu nuo pjovimo zonos sklindančios šviesos intensyvumo ar spalvos nuokrypių, keičiantis apdirbimo parametrams ir apdirbamų bandinių storiams, nepastebėta.

Geometrijos matavimas

Matavimų metu buvo vertinami šie geometriniai parametrai: bandinių nominalių reikšmių nuokrypis nuo aukščio, plokštumo, lygiagretumo, statmenumo.

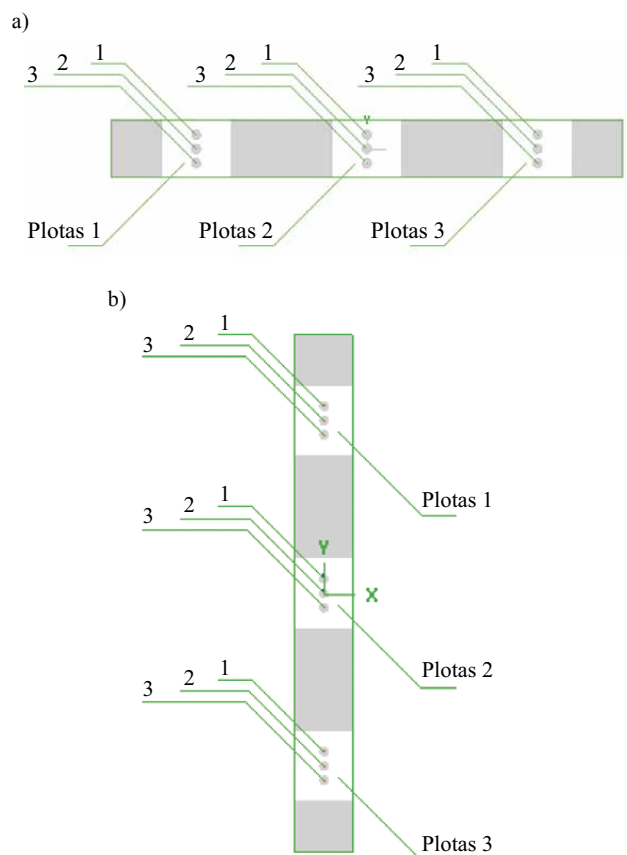
Kadangi išvardytų matuojamųjų parametru atitiktis vertinama mikrometrų tikslumu, tokio tipo matavimai reikalavo sudėtingų matavimo prietaisų, tikslios bazavimo įrangos ir griežtų terminų sąlygų. Matavimams ir bazavimui naudota pasaulinio lygio gamintojo „Erowa“ matavimo įranga, pasižyminti itin dideliu tikslumu. Matavimų patalpos temperatūrinių svyravimų amplitudė neviršijo $\pm 2^\circ\text{C}$.

Prieš matuojant buvo apžiūrėti visi pirmajame tyrimų etape išpjauti bandiniai, siekiant įsitikinti, kad jų bazavimo ir matavimų paviršiuose nėra ryškių pjovimo defektų, kurie galėtų turėti įtakos bazavimo preciziškumui ir tolesnių matavimų tikslumui. Prieš tyrimą atliktas kordinatinės matavimo mašinos kalibravimas.

Kontaktinio matavimo būdu 1 mm skersmens lies-tuku buvo kruopščiai nuskenuoti tiriamųjų bandinių 1 ir 2 paviršiai (1 pav.). Bandinių aukščio reikšmės $h_{1,2,3}$ – tai tiriamojo paviršiaus 1 aukščio reikšmės plotuose 1, 2, 3 (2 pav., a). Kiekviename iš plotų buvo matuojami esminiai taškai 1, 2, 3, atitinkamai priklausantys kiekvienam plotui. Aukščio reikšmė – tai aritmetinis vidurkis trijų taškų, priklausančių vienam plotui. Bandinio aukščio parametras $h_{1,2,3}$ – tai plotų 1, 2, 3 vidutinės aukščio reikšmės. Kadangi bandiniai buvo pjaunami iš visų keturių pusių, matavimo plokštumos pasirinkimas neturi esminės reikšmės.

Bandinių statmenumo reikšmės – tai tiriamojo paviršiaus 1 vidutinių aukščio reikšmių ir tiriamojo paviršiaus 2 (1 pav.) aukščio reikšmių santykis (Kasparaitis 2012).

Bandinių plokštumo reikšmės $plokšt_{1,2,3}$ – tai tiriamojo paviršiaus 1 (2 pav., a) plokštumo reikšmės iš plotų 1, 2, 3. Kiekviename iš plotų buvo matuojami esminiai taškai 1 ir 3, atitinkamai priklausantys kiekvienam plotui. Plokštumo reikšmės – tai aritmetinis vidurkis dviejų taškų, priklausančių vienam plotui. Bandinių plokštumo reikšmės $plokšt_{1,2,3}$ – tai plotų 1, 2, 3 vidutinės plokštumo reikšmės.



2 pav. Geometrinių matavimų schema: a – tiriamojo bandinio vaizdas iš viršaus; b – tiriamojo bandinio vaizdas iš kairės

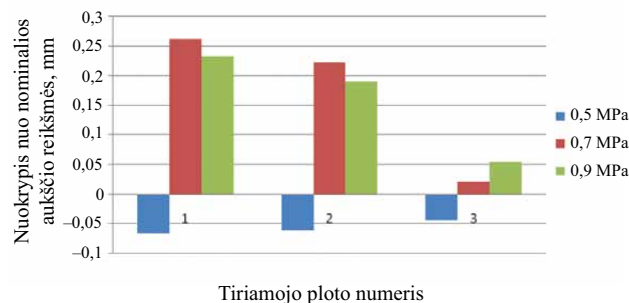
Fig. 2. Scheme for geometric measurements: a – a top view of the test sample; b – a view of the test sample from the left

Bandinių statmenumo reikšmės – tai tiriamojo paviršiaus 1 vidutinių aukščio reikšmių ir tiriamojo paviršiaus 2 (1 pav.) aukščio reikšmių santykis (Kasparaitis 2012).

Kietumo matavimas

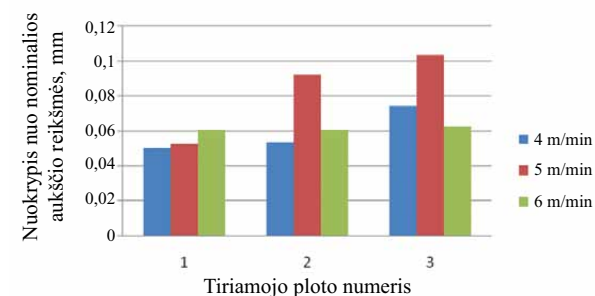
Remiantis tuo, kad bandinių storis yra nuo 2 iki 6 mm, matavimams naudotas Vikerso kietmatis su metalografiniu mikroskopu. Mikrošlifui gaminti naudoti resursai:

Grubiam tiramos briaunos apdirbimui panaudotos plokščiojo šlifavimo staklės „Vojus 550“, įrankio grūdelių dydis 10–20 μm . Po šlifavimo bandinių paviršius nebuvo tinkamos kokybės, todėl tolesnis apdorojimas ir galutinis poliravimas atliktas rankiniu būdu. Rankiniam šlifavimui ir poliravimui naudotos medžiagos: šlifavimo popierius – grūdėtumas nuo 800, 1200, 1500, 2000; poliravimo pasta – 5 ir 3 μm grūdelių dydžio; etilo spiritas. Paruoštas atitinkamos kokybės bandinių matuojamosios briaunos paviršius buvo išsėdintas 3 % azoto rūgštimi.



3 pav. Pjovimo slėgio įtaka bandinių aukščiui. Bandinių, pateiktų grafike, pjovimo režimai: $\alpha = 25^\circ$; $V = 5$ m/min; $t = 2$ mm

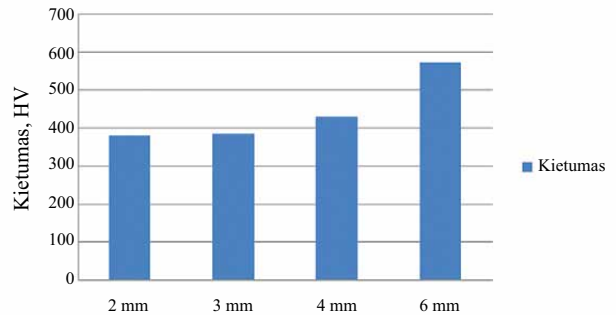
Fig. 3. The impact of cutting pressure on the height of samples. The cutting modes of the samples presented in the diagram: $\alpha = 25^\circ$; $V = 5$ m/min; $t = 2$ mm



4 pav. Pjovimo greičio įtaka bandinių plokštumui. Bandinių, pateiktų grafike, pjovimo režimai: $\alpha = 25^\circ$; $P = 0,7$ MPa; $t = 3$ mm

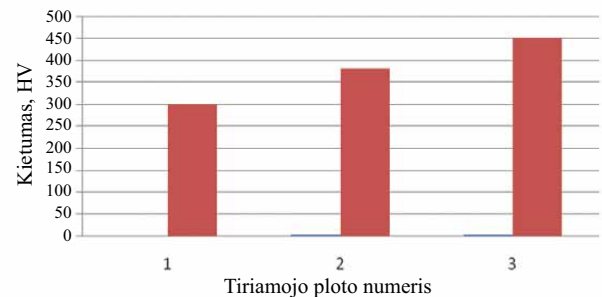
Fig. 4. The impact of cutting speed on the plane. The cutting modes of the samples presented in the diagram: $\alpha = 25^\circ$; $P = 0,7$ MPa; $t = 3$ mm

Analizuojant pagrindinių lazerinio pjovimo režimų įtaką tiriamų bandinių kietumui, išryškėjusios priklausomybės pavaizduotos 3–6 pav.



5 pav. Tiriamojo paviršiaus storio pokyčio įtaka bandinio tiramos briaunos kietumui

Fig. 5. The impact of variation in the thickness of the investigated surface on the hardness of the edge of the tested sample



6 pav. Tiriamojo paviršiaus kietumo pasiskirstymas. Grafike pateikto bandinio pjovimo režimai: $\alpha = 45^\circ$; $V = 6$ m/min; $P = 0,7$ MPa; $t = 2$ mm

Fig. 6. The distribution of the hardness of the tested surface. The schedule of the cutting modes of the sample: $\alpha = 45^\circ$; $V = 6$ m/min; $P = 0,7$ MPa; $t = 2$ mm

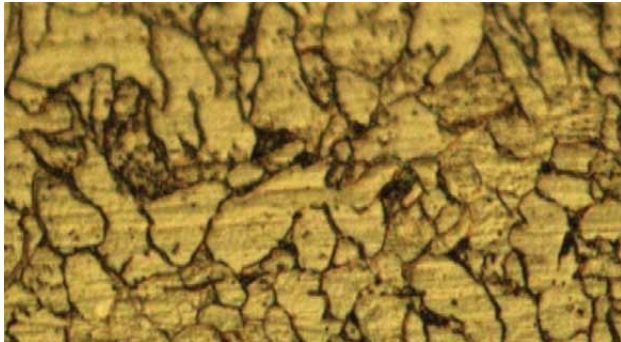
Metalografiniai tyrimai

Mikroskopinė analizė (mikroanalizė) yra metalų ir lydinių mikrostruktūros tyrimas (7, 8 pav.) optiniu mikroskopu stebint specialiai paruoštus jų bandinių paviršius – mikrošlifus (Amulevičius 2012; Yilbas 2008).

Išvados

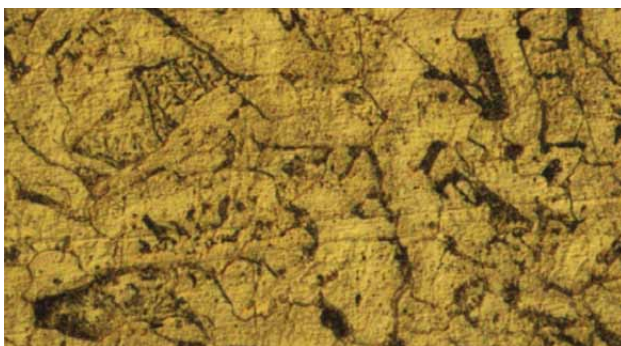
- Didinant darbinių dujų slėgį (3 pav.) nuo 0,5 MPa iki 0,9 MPa skirtumas tarp bandinio aukščio $h_{1,2,3}$ ir plokštumo plokšt $_{1,2,3}$ reikšmių didėja. Naudojant 0,5 MPa darbinių dujų slėgį bandinio aukščio $h_{1,2,3}$ (3 pav.) ir plokštumo plokšt $_{1,2,3}$ reikšmių skirtumas yra mažiausias.

2. Didinant pjovimo kampo reikšmę nuo 25° iki 90° skirtumas tarp bandinio aukščio reikšmių $h_{1,2,3}$ didėja. Naudojant 25° pjovimo kampą bandinio šiurkštumo reikšmė Ra yra mažiausia.
3. Esant 4 m/min. pjovimo greičiui, bandinio nuokrypis nuo plokštumo yra mažiausias.
4. Pjaunant 2 mm storio bandinį, tiriamosios briaunos kietumas yra mažiausias (5 pav.).



7 pav. Tiriamojo bandinio Nr. 2 mikrostruktūra, padidinta 500 kartų. Paveiksle parodyto bandinio pjovimo režimai: $\alpha = 45^\circ$; $V = 6$ m/min; $P = 0,7$ MPa; $t = 2$ mm. Šviesi spalva – feritas, tamsi spalva – perlitas (išryškėjo intarpai; nevienodi grūdelių dydžiai; grūdeliai neturi taisyklingos geometrinės formos)

Fig. 7. The microstructure of test sample No 2 increased 500 times. The figure shows the cutting modes of the sample: $\alpha = 45^\circ$; $V = 6$ m/min. $P = 0,7$ MPa; $t = 2$ mm. Light colour – ferrite, dark colour – perlite. Highlighted spots. Uneven grain sizes. Grains do not have a regular geometric shape



8 pav. Tiriamojo bandinio Nr. 4 mikrostruktūra, padidinta 500 kartų. Paveiksle parodyto bandinio pjovimo režimai: $\alpha = 45^\circ$; $V = 5$ m/min; $P = 0,7$ MPa; $t = 6$ mm. Išryškėjo intarpai. Šviesi spalva – feritas, tamsi spalva – perlitas (grūdelių forma nevienoda, ribos tarp grūdelių neryškios, dauguma grūdelių yra pailgos formos)

Fig. 8. The microstructure of test sample No 4 increased 500 times. The figure shows the cutting modes of the sample: $\alpha = 45^\circ$; $V = 5$ m/min; $P = 0,7$ MPa; $t = 6$ mm. Highlighted spots. Light colour – ferrite, dark colour – perlite. Mixed grains form the boundaries between blurred grains. Most of the grains are elongated in shape

Literatūra

- Amulevičius, A. 2009. Generation of nanoparticles in the concentrated energy (laser beam) and gas flow, *Aviation* 8(3): 27–30.
- Čereška, A. 2012. *Kokybės valdymas ir optimizavimas*. Vilnius: Technika. 168 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1384-S>
- Eltawahni, H. A. 2012. Effect of CO₂ laser cutting process parameters on edge quality and operating cost of AISI316L, *Optic and Laser Technology* 44: 68–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2011.10.008>
- Yilbas, B. S. 2008. Laser cutting quality assessment and thermal efficiency analysis, *Materials Processing Technology* 155: 106–115.
- Karatas, C. 2006. Laser cutting of steel sheets, *Processing Technology* 172: 22–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.08.017>
- Kasparaitis, A. 2012. *Matavimų teorija ir praktika*. Vilnius: Technika. 248 p.
- Poprawe, R. 2011. Modeling, Monitoring and Control in High Quality Laser Cutting, *Cirp Annals-Manufacturing Technology* 50: 137–140.
- Prasad, G. V. S. 1998. Laser cutting of metallic coated sheet steels, *Optic and Laser Technology* 74: 34–42.
- Rayaram, N. 2003. CO₂ laser cut quality of 4130 steel, *Machine Tools & Manufacture* 43: 51–58.
- Stournaras, P. 2009. An Investigation of quality in CO₂ laser cutting of aluminum, *Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology* 2: 61–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2009.08.005>

QUALITY ANALYSIS OF CUTTING STEEL USING LASER

V. Markovič

Abstract

The article explores the quality dependence of the edge surface of steel C45 LST EN 10083-1 obtained cutting the material using laser on different cutting regimes and variations in the thickness of trial steel. The paper presents the influence of the main modes of laser cutting equipment Trulaser 3030, including cutting speed, pressure, angle and the thickness of the surface on the quality characteristics of the sample. The quality of the edge after laser cutting is the most important indicator influencing such technological spread in industry worldwide. Laser cutting is the most popular method of material cutting. Therefore, the article focuses on cutting equipment, cutting defects and methods of analysis. Research on microstructure, roughness and micro-toughness has been performed with reference to edge samples. At the end of the publication, conclusions are drawn.

Keywords: cutting, laser, quality, steel, investigations.