



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Lukas Bukšnaitis

PJOVIMO PLAZMA PARAMETRŲ ĮTAKOS DETALĖS KOKYBEI
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Marius Rimašauskas

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**PJOVIMO PLAZMA PARAMETRŲ ĮTAKOS DETALĖS KOKYBEI
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (621H70004)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Marius Rimašauskas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Paulius Griškevičius
(data)

Projektą atliko

(signature) Lukas Bukšnaitis
(date)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Lukas Bukšnaitis

(Studento vardas, pavardė)

Gamybos inžinerija (621H70004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Pjovimo plazma parametrų įtakos detalės kokybei tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. Sausio 11 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Luko Bukšnaičio, baigiamasis projektas tema „Pjovimo plazma parametrų įtakos detalės kokybei tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu:

Gamybos inžinerijos

(parašas, data)

katedros vedėjas

Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studijų programa GAMYBOS INŽINERIJA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis projektas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Projekto tema: „Pjovimo plazma parametrų įtakos detalės kokybei tyrimas“.

Patvirtinta 2017 m. gruodžio 11 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-12

2. Projekto tikslas: Išanalizuoti detalės kokybės parametrus keičiant plazmos pjovimų režimus.

3. Projekto struktūra: Įvadas, analizė apie plazminį pjovimą, tiriamoji dalis, rezultatų apžvalga, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

4. Reikalavimai ir sąlygos: Projektas turi būti atliktas laiku ir laikantis reikalavimų.

5. Projekto pateikimo terminas 2017 m. gruodžio mėn. 21 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis

Studentas Lukas Bukšnaitis

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas Marius Rimašauskas

(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

Lukas, Bukšnaitis. Pjovimo plazma parametų įtakos detalės kokybei tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Marius Rimašauskas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: gamybos inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *Medžiagos kietumas, plazmos pjovimo greitis, karščio paveikta zona, medžiagos šiurkštumas.*

Kaunas, 2018. 51 p.

SANTRAUKA

Vienas populiariausių gamyboje naudojamų ruošinių pjovimo būdų – pjovimas plazma. Pjaunant plazma galima greitai ir kokybiškai apdirbti nerūdijančio, anglinio plieno ir įvairių kitų medžiagų ruošinius. Tačiau norint pasiekti geriausią pjaunamo gaminio kokybę turi būti parinkti tinkami proceso parametrai.

Šiame darbe analizuojama kaip skirtingi pjovimo parametrai įtakoja gaminio kokybės pokyčius pjaunant plazma. Tyrimui atlikti naudoti ruošiniai, pjauti iš S235JRG2, S235JRG2+N, AISI316L plieno. Tyrimo metu buvo stebima kaip skirtingas pjovimo greitis ir srovės stiprumas lemia gaminio kokybę.

Išanalizavus gautus rezultatus buvo pastebėta, jog skirtingi pjovimo parametrai keičia medžiagos kietumą, terminio poveikio zonos plotį bei pjūvio šiurkštumą. Netinkamai pasirinkus pjovimo greitį arba srovės stiprumą medžiagą sunkiau pjauti, bandinys gaunamas prastos kokybės, pjovimo procesui atlikti reikia daugiau sąnaudų.

Lukas, Bukšnaitis. Research of plasma cutting parameters influence on part quality: Master's Final Project / supervisor assoc. prof. Marius Rimašauskas. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Production Engineering, Technological sciences.

Key words: *Hardness of the material, plasma cutting speed, heat affected zone material roughness.*

Kaunas, 2018. 51 p.

SUMMARY

One of the most popular ways of cutting workpieces used in production is plasma cutting. Using this method, possible to cut stainless or carbon steel, and many other workpieces in high quality. However, in order to reach the best cutting quality, suitable parameters of the process optimization should be selected.

The present thesis analyses how different parameters influence changes in workpieces quality cutting by plasma. For the research, the samples made of steel S235JRG2, S235JRG2+N, and AISI316L have been used. The research has investigated how a different cutting speed and amperage influences material quality.

The analysis of the results obtained has revealed that different cutting parameters change material hardness, the width of the heat affected zone, and roughness of cut. Incorrect selection of cutting speed or current leads to more difficult cutting of the material and low quality of the workpiece; in addition, more input is necessary in the cutting process.

Turinys

Įvadas	9
1. Analizė apie plazminį pjovimą	11
1.1 Plazminio pjovimo istorija	11
1.2. Plazminio pjovimo darbo principas.....	11
1.3. Plazminio pjovimo būdai	13
1.4 Pjovimas vandens srove	17
1.5 Pjovimas lazeriu	19
1.6 Mažaanglio plieno pjovimas plazma.....	19
1.7 Įvairių pjovimo metodų palyginimas	21
2. Tiriamoji dalis	22
2.1. Ruošinių paruošimas	22
2.2. Ruošinių paruošimas tyrimui	25
2.2.1 Ruošinių paruošimas kietumo ir paviršiaus šiurkštumo matavimams	25
2.2.2. Ruošinių paruošimas temperatūros poveikio zonos matavimams.....	27
2.3. Tyrimai	30
2.3.1. Kietumo tyrimas	30
2.3.2. Terminio poveikio zonos tyrimas.....	33
2.3.3. Paviršiaus šiurkštumo tyrimas.....	34
3. Rezultatai ir apibendrinimas	37
3.1. Kietumo matavimų rezultatai	37
3.2 Kietumo matavimų rezultatai skirtingu atstumu nuo pjūvio kraštinės.....	42
3.3 Kietumo matavimų rezultatų apžvalga.....	43
3.3 Terminio poveikio zonos pločio matavimo rezultatai.....	44
3.5 Terminio poveikio zonos pločio matavimų rezultatų apžvalga.....	48
3.6 Paviršiaus šiurkštumo matavimų rezultatas	48
3.7. Paviršiaus šiurkštumo matavimų rezultatų apžvalga	55

4. Rekomendācijas plazmas pļovimui	56
Išvados	57
Literatūra.....	58
Priedai	64

Įvadas

Pastaraisiais metais gaminių iš plieno lakštų populiarumas vis labiau augo. Lakštus patogiu ir tikslingu naudoti gaminant konstrukcijų struktūras, technologinėje įrangoje, mechanizmuose, elektrotechnikos pramonėje ir netgi medicinoje. Toks platus plieno lakštų pritaikymas įvairiose pramonės srityse skatino ieškoti inovatyvių inžinerinių sprendimų ir sukurti įvairių techninių pjovimo mašinų, gaminančių aukščiausios kokybės gaminius. Šiuo metu bene populiariausias yra kompiuterinio programinio valdymo staklės (CNC), leidžiančios paruošti reikalingų išmatavimų, formų pusgaminius.

Plazminis pjovimas yra populiarus metodas, gaminant ruošinius ar detales iš plokščių. Plazminio pjovimo aparatai plačiai paplitę plieno apdirbimo gamyklose. Jos pjovimo charakteristikos - siaura įpjova, pakankamai didelis pjovimo greitis ir dimensių tolerancija bei galimybė pjauti storus metalus, todėl jas patogiu naudoti ruošiant lakštus kitoms apdirbimo operacijoms, tokioms kaip tekinimas, frezavimas ar suvirinimas. Svarbu, kad pjūvio paviršius tampa tvirtesnis nei pagrindinės medžiagos. Sukietėjęs paviršius turi neigiamą įtaką apdirbimui tekinimo ir frezavimo metu, nes nusidėvi įrankiai ir pailgėja apdirbimo laikas. Pjovimo plazma metodu gaminant pabaigtas detales, kurioms nebus taikomas joks kitas apdirbimo būdas, labai svarbu atsižvelgti į paviršiaus šiurkštumą. Ši gaminių charakteristika dažnai lemia detalių funkcionalumą.

Plazma, tai visiškai ar iš dalies jonizuotos dujos, tokios kaip suspaustas oras, azotas, deguonis, vandenilis/argonas, sudarytos iš teigiamų ir neigiamų elektronų. Pjaunant plazma naudojamas sukongcentruotas lankas, kuriame aukštos temperatūros plazmos stulpas išlydo ir pašalina pjaunamą medžiagą iš pjūvio vietos. Karštis netoli pjūvio sukuria tam tikrą zoną, kur medžiagos mikrostruktūra yra pakankamai skirtinga nuo pagrindinės medžiagos; ši zona vadinama terminio poveikio zona. TPZ gali sąlygoti dalies mechaninių savybių praradimą ir mikro įtrūkimus pjūvio paviršiuje. Šis metodas tinkamas naudoti apdirbant elektrai laidžias medžiagas.

Šis darbas atliktas, norint išanalizuoti gaminių charakteristikų, tokių kaip kietumas, paviršiaus šiurkštumas, terminio poveikio zona, priklausomybę nuo pjovimo parametrų. Tyrime naudotos skirtingų rūšių ir storio medžiagos: S235JRG2 $t = 14$ mm, S235JRG2 $t = 5$ mm ir AISI 316 L $t = 5$ mm. Ruošinių parengimas atliktas kompanijoje AB „Remeksi Keskus“, naudojantis plazminio pjovimo mašiną su CNC kontrolieriu. Visi tyrimai ir matavimai bus atlikti Kauno Technologijos universitete, Mechanikos inžinerijos ir dizaino

fakultete, naudojantis kietumo ir šiurkštumo prietaisais, šiurkštumo tęsteriu, poliravimo mašina, mikroskopu ir kt.

Darbo tikslas:

Išanalizuoti pjovimo plazma parametrų įtaką apdirbamos detalės kokybei .

Pagrindiniai tyrimo uždaviniai:

1. Įvertinti medžiagos kietumą prie pjūvio zonos ir santykį su neapdirbtos medžiagos kietumu;
2. Išanalizuoti ryšį tarp pjovimo greičio ir terminio poveikio zonos pločio;
3. Ištirti koks yra ryšys tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo;
4. Pateikti rekomendacijas pjovimo plazma technologijos parametrų parinkimui.

1. Analizė apie plazminį pjovimą

1.1 Plazminio pjovimo istorija

Plazminis pjovimas pradėtas vystyti per Pirmąjį pasaulinį karą, 1941-aisiais. Dėl medžiagų trūkumo, JAV gynybos pramonėje pradėjo ieškoti geresnių ir greitesnių būdų sujungti lengvuosius metalus bei gaminti lėktuvus ir kitas transporto priemones. Taip atrasta nauja virinimo procedūra (TIG), kurios metu metalas virinamas elektros lanku ištirpdant metalą ir inertinėmis dujomis apsaugant, kad į išsilydžiusį metalą nepatektų deguonis iš oro. Virintinė siūlė formuojama pridedant užpildo [1].

1950-aisiais TIG (suvirinimo volframo elektrodu inertinėse dujose) būdas buvo žinomas kaip būdas kokybiškai virinti egzotines medžiagas. Vėliau „Union Carbide“ laboratorijos mokslininkai atrado, kad sumažinus antgalio angą susiaurinamas elektros lankas ir dujų srovė, o tai paspartina procesą jo, padidina jo atsparumą karščiui. Lanko temperatūra ir įtampa smarkiai pakyla ir jonizuotų ir nejonizuotų dujų inercija pašalina išlydytą metalą. Tai rodo, kad šį būdą galima naudoti ne tik virinti bet ir pjauti metalą plazma [1, 2].

Antroje dvidešimto amžiaus septinto dešimtmečio pusėje buvo žinoma, kad pjovimą plazma galima pritaikyti komerciškai, tačiau technologijų pažanga buvo brangi ir ne kiekviena įmonė tuo metu galėjo investuoti dideles sumas. Tos, kurios investavo, sulaukė didelio pelno, nes galėjo pjauti metalą gerokai tiksliau ir greičiau nei kitos įmonės. Dabar plazminio pjovimo staklės yra plačiai naudojamos beveik visose dirbtuvėse metalo lakštams pjaustyti [2, 3, 4].

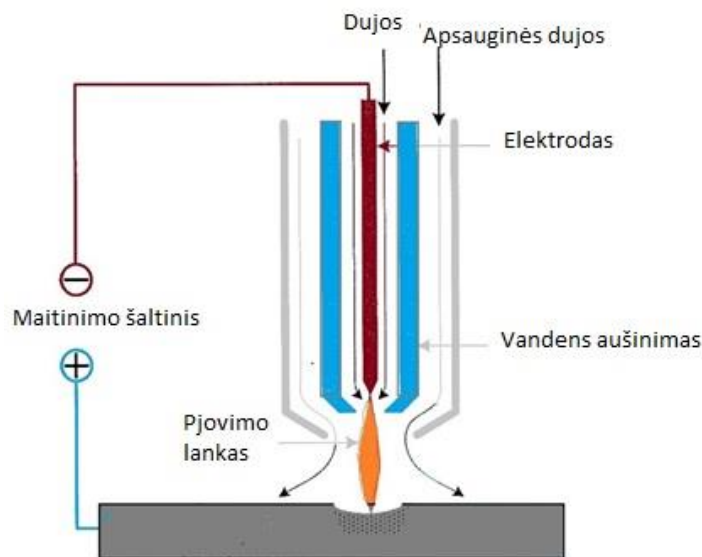
1.2. Plazminio pjovimo darbo principas

Pagrindinis pjovimo plazma darbo principas – elektros lankas einantis per dujas tekančias iš antgalio. Proceso metu naudojamos įvairios dujos, tokios kaip azotas, argonas, deguonis ir t.t. Karštis įkaitina dujas ir jos pereina į ketvirtąją, plazminę agregatinę būseną. Plazmos temperatūra gali viršyti 19000°C, o greitis – siekti garso greitį. Plazmos srovė padidinama, kad aukšto slėgio srovė įsiskverbtų ir perpjautų metalą, o ištirpusi medžiaga būtų pašalinta ištekant plazmai [5, 6].

Plazmos lankiniu būdu galima pjauti tik elektrai laidžias medžiagas. Elektrai laidžiomis dujomis energija iš maitinimo šaltinio perduodama per plazminį pjoviklį į pjaunamas medžiagas. Kiekviena plazminio pjovimo sistema sudaryta iš trijų dalių:

- Maitinimo šaltinio
- Lanko uždegimo grandinės
- Pjoviklio

Šios dalys tiekia elektros energiją, jonizaciją ir leidžia kontroliuoti procesą. Labai svarbu užtikrinti, kad dirbant su įvairiomis medžiagomis pjūvis būtų aukštos kokybės. Pagrindinė maitinimo šaltinio užduotis – teikti tinkamą energiją, reikalingą išlaikyti plazmos lanką po jonizacijos. Dažniausias maitinimo šaltinis yra pastovi tiesioginė elektros srovė. Atviros grandinės įtampa dažniausiai svyruoja tarp 230 ir 420 voltų. Išėigos srovės stiprumas amperais priklauso iš pjovimo greičio ir pjaunamos medžiagos storio. Lanko uždegimo grandinė generuoja aukšto dažnio kintančią srovę, paprastai įtampa svyruoja tarp 4980 ir 9858 voltų, o dažnis siekia 2 megahercus. Aukšta įtampa reikalinga dujų jonizacijai ir plazmos gamybai. Pjoviklis laiko antgalį ir elektrodą bei aušina šias dalis (1.1 pav.) [7, 8].



1.1 pav. Įprasto plazminio pjovimo procesas[6]

Kaip ir kiekvienas medžiagos apdorojimo būdas pasižymi tam tikrais pranašumais ir trūkumais. Lyginant su kitais medžiagų apdorojimo metodais plazminio pjovimo metu yra maža rizika pakeisti apdorojimo metalo formą (iškraipyti gaminį) taip pat šis pjovimas yra tikslus. Dar vienas privalumas yra tas, jog pjaunant aliuminį, nerūdijantį ar anglinį plieną išvengiama šlakų atsiradimo. Galimybė naudoti visom pjovimo padėtimis ir optimalus greitis leidžia procesą atlikti našiai. Be to galima dirbti su daugeliu metalų, nereikia dujų balionų.

Vienas iš didžiausių pjovimų plazma trūkumų yra mažas nuožulnumas. Taip pat šiais įrengimais dirbantys žmonės, turi būti itin atidžiai perspėti apie darbo saugos taisykles: nesilaikant saugumo galimas elektros šokas. Dar viena neigiama savybė yra ta, kad metalą pjaunant plazma būtinas švarus oras ir elektros šaltinis, todėl reikia papildomų įrengimų. Šis metalo apdorojimo būdas yra neekonomiškas pjaunant storą plieną.

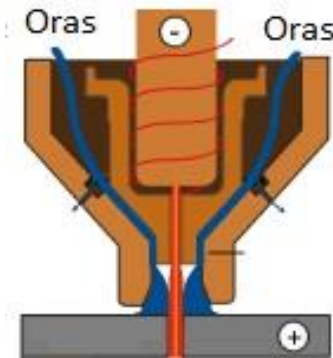
1.3. Plazminio pjovimo būdai

Išskiriami penki plazminio pjovimo būdai:

1. Plazminis pjovimas su oru;
2. Plazminis pjovimas panardinus vandenyje;
3. Plazminis pjovimas su dviem apsauginiais dujų sluoksniais;
4. Plazminis pjovimas su vandens srove;
5. Pjovimas aukštos koncentracijos plazma [10].

Plazminis pjovimas su oru

Dujas, kurios naudojamos pjaunant plazma, galima pakeisti oru, tačiau tam reikia specialaus elektrodo, pagaminto iš hafnio, cirkonio ir sumontuoto ant varinio laikiklio (1.2 pav.).

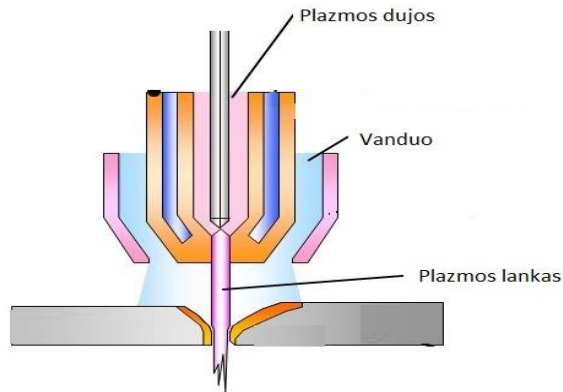


1.2 pav. Plazminis pjovimas su oru [6]

Oras taip pat atlieka aušinimo funkciją. Toks pjovimas turi tik vieną privalumą: brangios dujos pakeičiamos oru. Kita vertus, šiam pjovimo būdai reikalingas elektrodas yra brangesnis nei kiti [10, 6].

Plazminis pjovimas panardinus vandenyje

Šios operacijos metu apsauginės dujos yra pakeičiamos vandeniu (1.3 pav.).



1.3 pav. Plazminis pjovimas panardinus vandenyje[6]

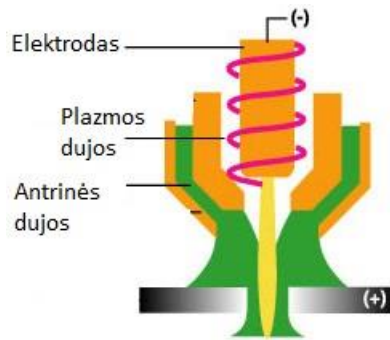
Plazma pjauti galima ir panardinus medžiagą po vandeniu iki 48-68 mm. Šis procesas užtikrina geresnį antgalio ir dirbinio aušinimą bei geresnę nerūdijančio plieno pjūvio kokybę. Plazminis pjovimas panardinus vandenyje yra tylesnis nei tradicinis plazminis pjovimas. Pjaunant tradiciniu plazminiu būdu, triukšmas siekia apie 130 dB, o pjaunant po vandeniu jis sumažėja iki 91 dB.

Pagrindiniai privalumai - pjaunant užtikrinamas žemesnis triukšmo lygis, mažiau garų. Taip pat šis būdas yra ekonomišką, nes antgalio naudojimo trukmė lyginant su kitais yra ilgesnė.

Trūkumas yra tai, kad šis pjovimo būdas nesusiaurina plazmos, pjūvio kampas netampa aštresnis, o procesas nėra greitesnis [6, 7, 10].

Plazminis pjovimas su dviem apsauginiais dujų sluoksniais

Šio būdo veikimo principas yra labai panašus į tradicinę sistemą. Pagrindinis skirtumas yra aplink antgalį išskiriamas papildomas apsauginis dujų sluoksnis. (1.4 pav.).



1.4 pav. Plazminis pjovimas su dviem apsauginiais dujų sluoksniais [6]

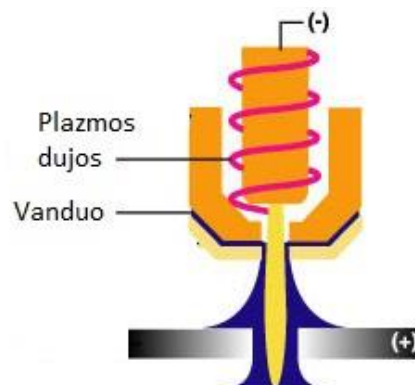
Didžiausias šio būdo privalumas yra tas, kad papildomas dujų sluoksnis dar labiau susiaurina lanką ir efektyviau pašalina ištirpusias medžiagas. Dažniausiai pirmosios dujos yra azotas, o antrosios apsauginės dujos pasirenkamos priklausomai nuo to, kokia medžiaga pjaunama. Paprastai antrosios apsauginės dujos yra oras pjaunant mažaauglį plieną, anglies dioksidas pjaunant nerūdijantį plieną ir argono bei vandenilio mišinys aliuminiui pjauti.

Pjaunant šiuo būdu, lengvas plienas perpjaunamas greičiau nei tradiciniu būdu, tačiau pjūvio kokybė yra prastesnė ir daugeliu atvejų netinkama. Pjaunant nerūdijantį plieną ar aliuminį kokybė išlieka tokia pati, kaip ir naudojant tradicinį būdą [1, 6, 7, 9, 10].

Pagrindiniai pranašumai, lyginant su tradiciniu plazminiu pjovimu – spartesnis pjovimas, mažesnė „dvigubo lanko“ tikimybė ir mažesnis viršutinio krašto suapvalėjimas.

Plazminis pjovimas su vandens srove

Šis plazminis lankinis pjovimas greta antgalio angos naudoja simetrišką aukšto slėgio vandens srovę. Tai dar labiau susiaurina plazmos liepsną (1.5 pav.).



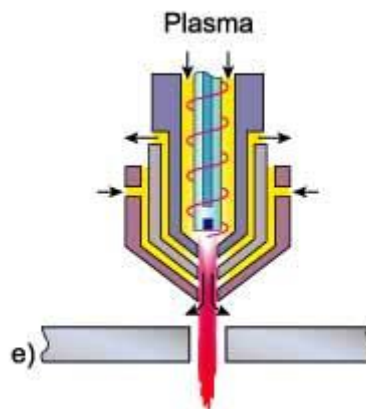
1.5 pav. Plazminis pjovimas su vandens srove [6]

Vanduo, uždengdamas pjaunamą vietą nuo aplinkos, veikia kaip apsauginis sluoksnis. Jis taip pat susiaurina lanką, todėl pjūvis – siauras, tikslus ir aštriu kampu. Pjaunant mažaanglį plieną srovė labai efektyviai pašalina nuodegas iš pjūvio zonos. Tokiu būdu plazmos temperatūra pakyla iki 30000°C, o greitis apytiksliai siekia garso greitį. Pjaunant įvairius metalus optimali pjūvio kokybė pasiekama, kai naudojamos vienos dujos. Be to, tai ekonomiška ir efektyvu. Antrinė vandens funkcija – apsaugoti antgalį nuo didelės lanko kaitros. Tai taip pat leidžia patobulinti dizainą: antgalio galas gali būti gaminamas iš keramikos. Taip galima išvengti dvigubo lanko ir pailginti antgalio naudojimo laiką [1, 6, 7, 9, 10, 11].

Pagrindiniai pranašumai, lyginant su tradiciniu plazminiu pjovimu - naudojant plazminį pjovimą su vandens srove pasiekama geresnė pjovimo kokybė, gaunamas aštresnis pjūvio kampas. Taip pat pjovimas yra greitesnis, mažesnė „dvigubo lanko“ tikimybė, lėtesnė antgalio erozija.

Pjovimas aukštos koncentracijos plazma

Siekiant pagerinti plazminio lankinio pjovimo kokybę, sukurtas pjovimas aukštos koncentracijos plazma. Šis pjovimo būdas konkuruoja su lazeriniu pjovimu, nes pjaunama labai siauru plazmos stulpu. Siekiant užtikrinti kuo tikslesnį pjūvį, deguonies sukurta plazma yra išsukama prieš pasiekiant plazmos angą. Antrinės dujos švirksčiamos antgaliu žemyn, (1.6 pav.).



1.6 pav. Pjovimas aukštos koncentracijos plazma [6]

Kai kuriose aukštos koncentracijos plazmos sistemose, lanką apgaubia magnetinis laukas, kuris stabilizuoja plazmos srovę, nes palaiko rotaciją, sukurtą besisukančių dujų [6, 10].

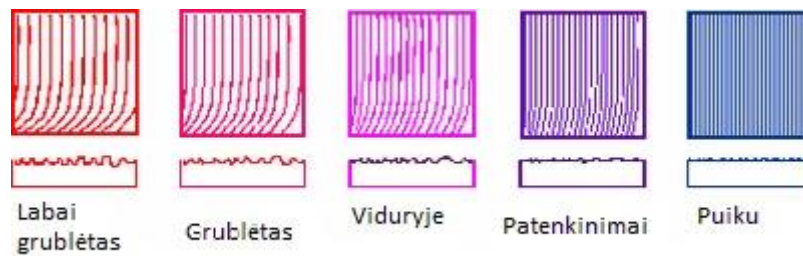
Pranašumai – pjūvio kokybė prilygsta tradiciniam plazminiam pjovimui ar pjovimui lazeriu. Taip pat siaura įpjova. Naudojant šį būdą karščiu paveikiamas mažesnis medžiagos plotas, todėl apdirbama medžiaga mažiau iškraipoma.

Pagrindinis trūkumas – didžiausias storis yra 25 mm, o pjaustymo greitis yra mažesnis nei pjaunant tradiciniu plazminiu pjovimu ir 50-75 % lėtesnis nei pjovimas lazeriu [10, 6].

1.4 Pjovimas vandens srove

Pjovimas vandens srove yra procesas, kurio metu labai storą medžiagą galima pjauti ypač tiksliai be to, šis metodas yra labai lankstus ir leidžia pjauti įvairias medžiagas, tokius kaip akmuo, guma, medis ir k.t. Tačiau tai yra lėtas ir brangus metodas palyginti su plazmos lanko ar lazeriniu pjovimu. Aukšto slėgio metodas naudojamas, kai vanduo purškiamas per ploną skylutę. Skylutė įprastai vadinama “kiauryme” arba “purkštuku”. Aukštas slėgis ir plona vandens srovė leidžia koncentruoti ekstremalų kiekį energijos mažame plote ir medžiaga yra pašalinamas iš pjaunamos srities [15, 16, 17].

Įvairi pjovimo kokybė gali būti pasiekta parenkant skirtingus pjovimo parametrus. Pjovimo kaštai priklauso nuo reikiamos kokybės: ekstra pjovimas gali būti penkis kartus brangesnis nei grubus pjovimas (1.7 pav.) [18].



1.7 pav. Pjovimo kokybė [18]

Yra du vandens srovės pjovimo būdai:

- gryno vandens srove;
- šlifuojamąją (abrazyvine) vandens srove.

Pjovimas gryno vandens srove

Pjovimas gryno vandens srove vyksta naudojant tik stipriai suspaustą vandenį, t.y. neturi jokių abrazyvinių elementų bei medžiagų. Todėl šis vandens pjovimo tipas naudojamas maisto industrijoje, nes medžiaga nėra užteršiama. Pagrindinė šio būdo

trūkumas – pjaunamos gali būti tik minkštos medžiagos, tokios saldainiai, medis, oda ir kt. (1.8 pav) [16].



1.8 pav. Gryno vandens įpurškimas [16]

Įleidžiamojo vandens slėgis nuo 1290 iki 6150 bar. Vanduo teka pro labai siaurą skylutę purkštuke, kurio skersmuo 0,18-0,4 mm [16].

Abrazyvinės vandens srovės pjovimas

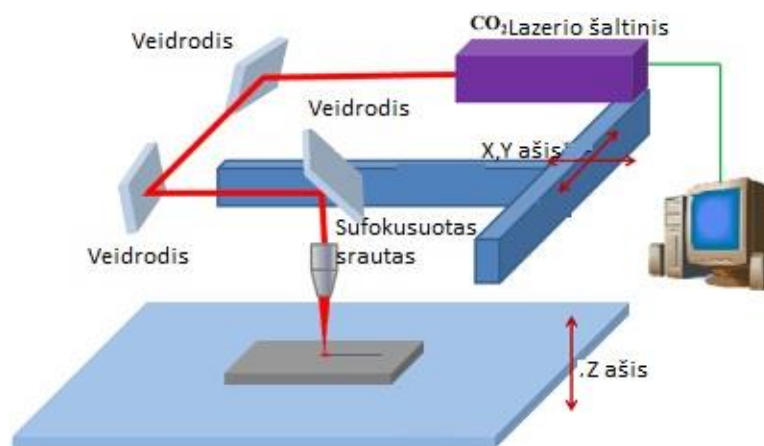
Šis vandens pjovimo metodas yra panašus į pjovimą, atliekamą gryno vandens srove. Pagrindinis šių pjovimo būdų skirtumas yra, tai, kad pjaunant medžiagą abrazyvine vandens srove į srautą įmaišoma keletas abrazyvinių dalelių. Vanduo, tekėdamas dideliu greičiu, sukuria vakuumą, kuris įtraukia abrazyvą. Šios abrazyvinės dalelės susimaišo su vandens maišymo vamzdyje. Vandens srovės pluoštas įgreitina abrazyvines daleles ir jos tampa pakankamai greitos pjauti tokius materialus kaip plienas, akmuo ir kt. Įgreitintas abrazyvas ir vanduo sukuria jėgą, galinčią pjauti medžiagą (1,9 pav.) [13, 18].



1.9 pav.. Abrazyvinės vandens srovės įpurškimas [16]

1.5 Pjovimas lazeriu

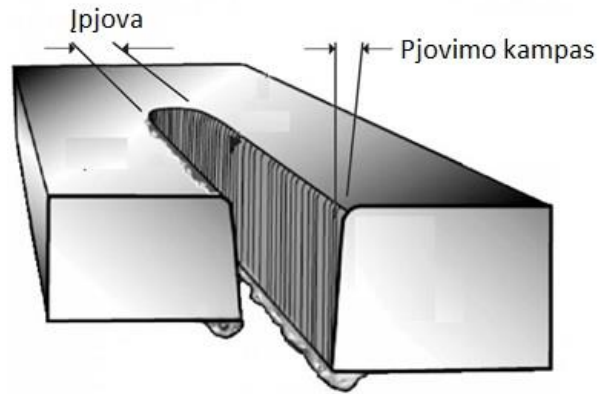
Tai medžiagos pjovimas, kuomet naudojamas lazerio spindulys. Lyginant su kitais mechaniniais pjovimo metodais, šis būdas leidžia tiksliau ir švariau pjauti medžiagą bei to galima išgauti įvairias sudėtingas formas ir konstrukcijas. Dar vienas šio būdo pranašumas yra ekonomiškumas ir pjaunamų medžiagų įvairovė: apdoroti galima metalo plokštes, organinį stiklą, medieną ir t.t. Vienas iš populiariausių pjovimo lazeriu būdų yra pjovimas anglies dioksido (CO₂) lazeriu. Pjaunant juodą plieną apsauginių azoto dujų aplinkoje, gaunamas švarus, be oksido plėvelės pjūvis, leidžiantis detales dažyti ar dengti galvaniniu būdu be papildomo apdirbimo. Anglies dioksido lazerio spindulys generuojamas dujų mišinyje, sudarytame iš anglies dioksido, helio ir azoto. Šis lazeris įkraunamas elektroniskai, naudojant elektros išlydį ir įprastai spinduliuoja apytiksliai 10.7 μm bangas (1.10 pav.) [19, 20, 21].



1.12 pav. CO₂ lazerio pjovimo principas [11]

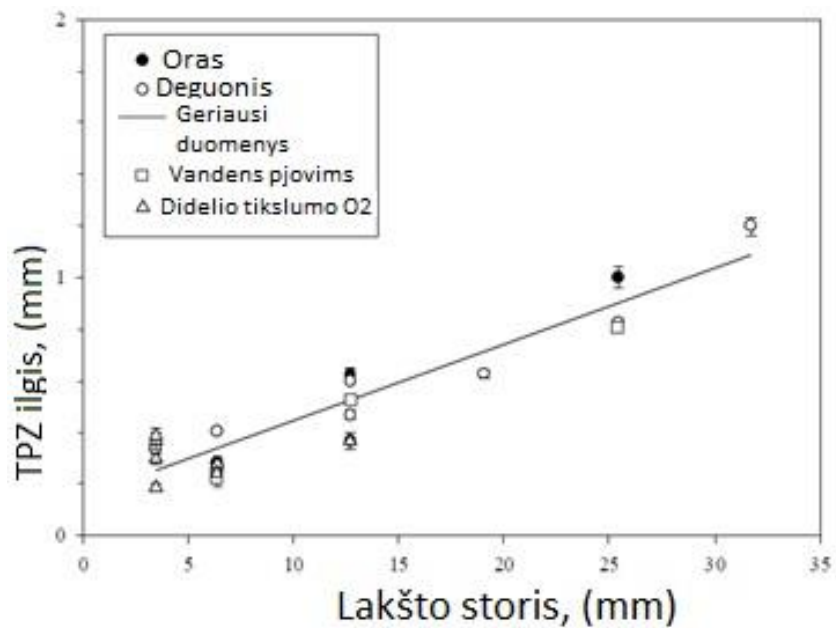
1.6 Mažaanglio plieno pjovimas plazma

Taikant plazminį lankinį pjovimą didžiausia energija, naudojama lydymame metale pjovimo zonoje, generuojama elektros lanku bei cheminėmis reakcijomis. Tačiau dalis šilumos prarandama pjūvio zonoje ir šalia esančio metalo kaitinimui. Plazminio lankinio pjovimo metu dujos ir vanduo naudojami izoliuoti pjaunamą sritį nuo supančios atmosferos, plyšys yra atšaldomas. Metalų kaitinimas ir šaldymas sukelia cheminius ir mikrostruktūrinius pakitimus metale, esančiame šalia pjovimo briaunos. Sritis, paveikta šio terminio ciklo, vadinama paveikta karštoji zona (TPZ) (1.13 pav.) [12, 13].



1.13 pav. Paveikta karštoji zona [14]

Paveiktos karštosios zonos plotis yra susijęs su pjovimo plokštės storumu. Paveiktos karštosios zonos plotis didėja priklausomai nuo plokštės storio (1.14 pav.). Norint garantuoti gerą pjovimo kokybę pjaunant įvairaus storio plokštes, elektros lanko srovė ir pjovimo greitis turi būti keičiami. Šie parametrai priklauso nuo plokštės storio. Taip pat ribojami tokie parametrai kaip pjovimo greitis. [12]



1.14 pav. Ryšys tarp paveiktos karštosios zonos ir pjaunamo plokštės storio [12]

1.7 Įvairių pjovimo metodų palyginimas

Kiekvienas skirtingas pjovimo metodas pasižymi savo privalumais ir trūkumais. Atsižvelgiant į šiuos skirtumus medžiagos pjovimui pasirenkamas optimalus būdas, leidžiantis procesą atlikti kuo tiksliau, našiau bei ekonomiškiau. Žemiau lentelėje pateikti pagrindiniai lakštinio metalo pjovimo metodai ir jų parametų (charakteristikų) palyginimas (1 lentelė):

1 Lentelė. Pjovimo procesų palyginimas [22, 23, 24].

Pjovimo būdas	Plazma	Aukšto slėgio vandens srove	Lazeriu
Greitis	Greitas	Lėtas	Greitas
Medžiagos storis	Vidutinio storio ir stora	Stora ir plona	Plona ir vidutinio storio
Formos	Metalai ir kondukcinės medžiagos	Dauguma kietų	Vienarūšės, neatspindinčios
Surūdijusios medžiagos	Ne	Taip	Ne
Medžiagos sukietėjimas	Taip	Nepakankama	Taip, nežymi
Terminė deformacija	Taip	Ne	Taip
Pavojingi garai	Negalimas	Galimas	Negalimas
Daugiasluoksnis pjovimas	Geras	Labai tikslus	Tikslesnis
Tikslus pjovimas	Taip	Minimalus	Taip
Atplaišų formavimasis	Žemesnės	Aukščiausios	Žemesnės
Veiklos sąnaudos	Greitas	Lėtas	Greitas

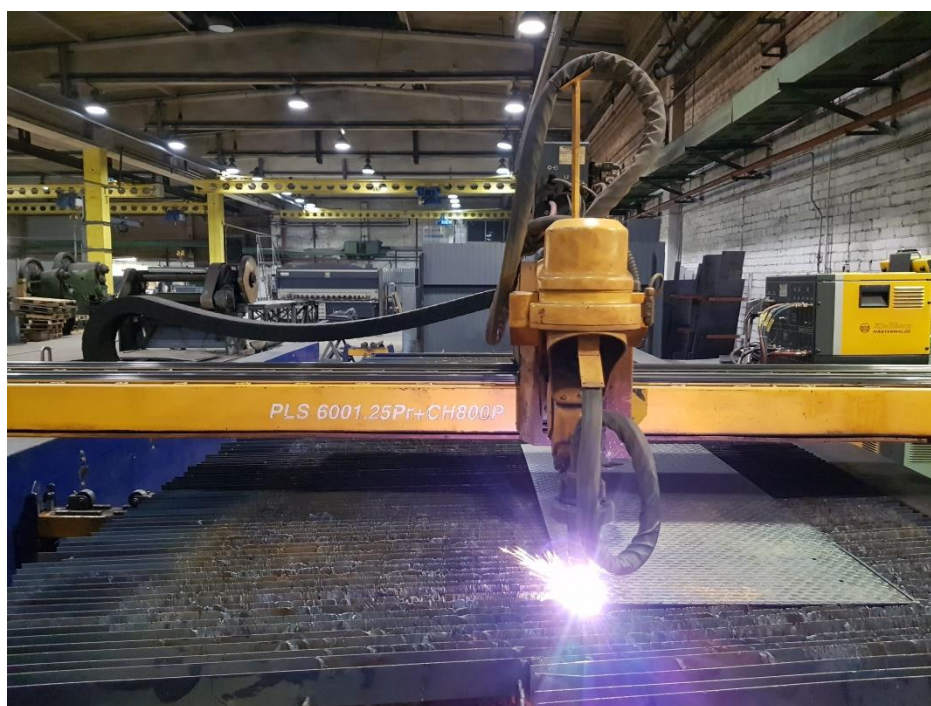
2. Tiriamoji dalis

Pjaunant medžiagą plazminio lankinio pjovimo metodu dėl sukonzentruotos elektros lanke esančio aukštos temperatūros plazmos stulpo pjaunamas metalas yra veikiamas karščiu. Būtent šis aukštos temperatūros poveikis lemia terminio poveikio zonoje esančios ir pagrindinės medžiagos mikrostruktūros skirtumus, kurie tiesiogiai veikia medžiagos grūdinimą. Procesą valdyti ir optimizuoti galima keičiant pjovimo metodus, tokius kaip pjovimo greitis, srovės stiprumas. Tai leidžia pasiekti norimą terminio poveikio zonos plotį, skirtingą paviršiaus kietumą pjovimo vietoje.

Pagrindinis šio tyrimo tikslas – išanalizuoti ryšį tarp pjovimo parametrų ir terminio poveikio zonos savybių. Tyrimas atliktas keliais etapais, kurie aprašyti skirtinguose poskyriuose.

2.1. Ruošinių paruošimas

Medžiagos paruošimui naudojama plazminio lankinio pjovimo mašina „Micro Step PLS 600125.Pr+CH800P“.



2.1. pav. Plazminio lankinio pjovimo mašina PLS 600125.Pr+CH800P

2.1. lentelė. Techniniai plazminio pjovimo mašinos parametrai [25]

Veikimo ilgis	6500 mm
Veikimo plotis	2500 mm
Pjovimo galvų skaičius	1
Didžiausias medžiagos storis pjaunant plazma	50 mm
Padėties nustatymo tikslumas	± 0,06 mm

Naudojama medžiaga – trys skirtingos plieno medžiagos:

- S235JRG2+N S=5 mm
- S235JRG2 S=14 mm
- AISI 316L S=5 mm

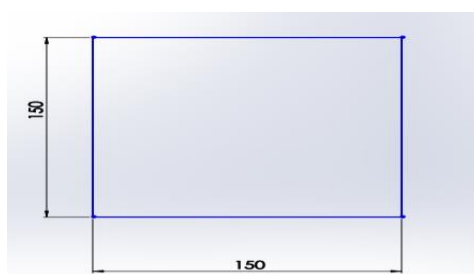
2.2lentelė. Cheminė plieno S235JRG2 sudėtis [26]

Medžiaga	C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Kt. medžiagos
Kiekis, %	0,17	1,14	-	0,045	0,04	0,012	0,55	0,5

2.3lentelė. Cheminė plieno AISI 316L sudėtis [27]

Medžiaga	C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Kt. medžiagos
Kiekis, %	0,03	2	0,75	0,045	0,03	10-14	16-18	0,01

Atliekant tyrimą, naudota 18 ruošinių, kurie pjauti keičiant pjovimo greitį, srovę, amperažą ir medžiagą. 7 ruošiniai pagaminti iš plieno S235JRG2 S=5 mm, kiti 7 – iš plieno S235JRG2+N S=14 mm ir 4 – iš AISI 316L S=5. Kiekvieno iš jų parametrai – 150 mm ilgio ir 150 mm pločio. Ruošinio brėžinys pateikiamas žemiau:

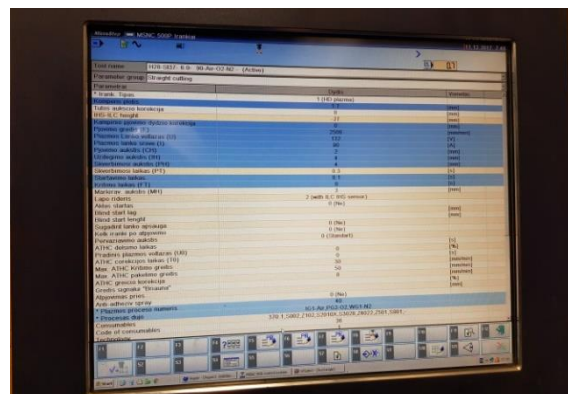


2.2. pav. Ruošinio eskizas

Šioje lentelėje pateikiama informacija apie ruošinių žymėjimą ir pjovimo parametrus:

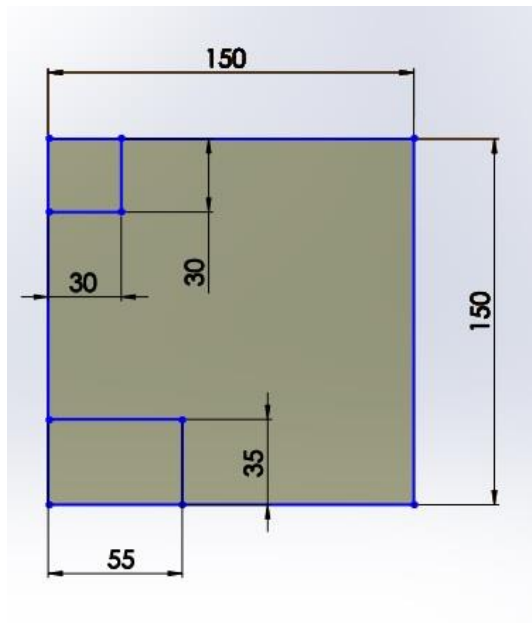
2.4. lentelė. Ruošinių pjovimo parametrai

Bandinio Nr.	Medžiaga	Storis, mm	Pjovimo greitis, mm/min	Srovės stipris, A	Įtampa, V
1	S235JRG2+N	5	1038	84	130
2	S235JRG2+N	5	838	88	133
3	S235JRG2+N	5	637	88	128
4	S235JRG2+N	5	418	89	130
5	S235JRG2+N	5	1217	88	130
6	S235JRG2+N	5	1038	68	124
7	S235JRG2+N	5	1038	37	122
8	AISI316L	5	1312	65	144
9	AISI316L	5	989	66	146
10	AISI316L	5	697	66	146
11	AISI316L	5	394	66	146
12	S235JRG2	14	1038	84	135
13	S235JRG2	14	855	85	147
14	S235JRG2	14	673	85	147
15	S235JRG2	14	575	83	147
16	S235JRG2	14	414	84	147
17	S235JRG2	14	1038	154	138
18	S235JRG2	14	1038	188	144



2.3. pav. Pjovimo parametrai pjovimo metu

Po pjovimo plazma gautus bandinius reikia supjaustyti į tam tikrų išmatavimų ruošinius, kurių charakteristikos bus tiriamos vėliau. Norint išvengti ruošinio pažeidimų bei gauti kuo tikslesnius rezultatus reikia ruošinį apsaugoti nuo kontakto su papildomu šilumos šaltiniu, t.y. saugoti, jog pjovimo metu jis neįkaistų. Ruošiniai buvo pjaunami naudojant juostinį pjūklą, turintį aušinimo įrenginį. Pjovimo metu iš pjūkle esančio rezervuaro ant pjaunamo ruošinio pilamas aušinimo skystis. Žemiau pateikiamas ruošinio pjovimo brėžinys:



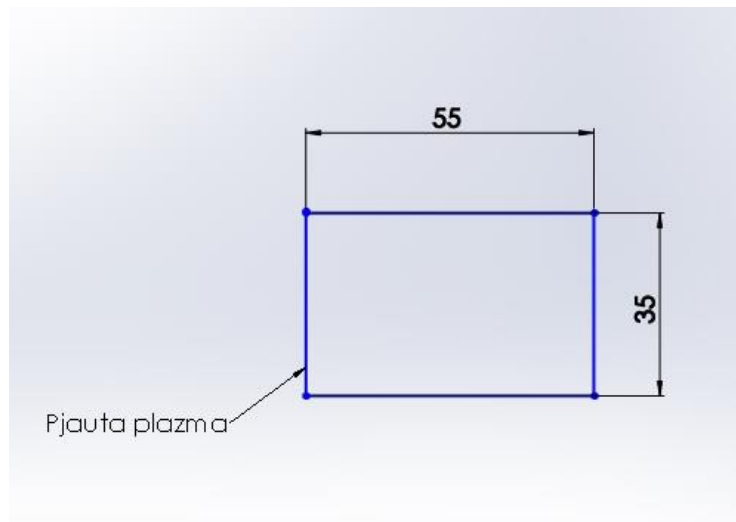
2.4. pav. Ruošinio eskizas

2.2. Ruošinių paruošimas tyrimui

Prieš matavimus ir tyrimus išpjauti ruošiniai yra papildomai apdirbami.

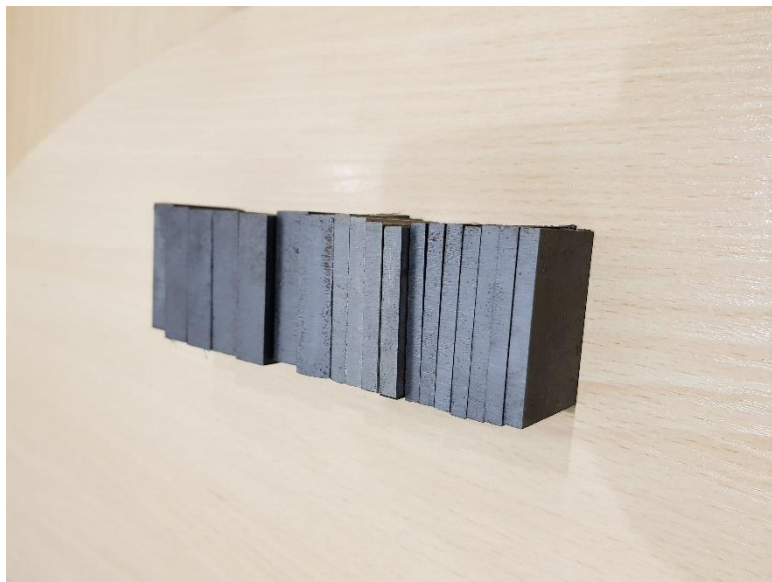
2.2.1 Ruošinių paruošimas kietumo ir paviršiaus šiurkštumo matavimams

Kietumo ir šiurkštumo matavimams pasirinktas 55x35 ruošinys. Matuojant kietumą bandinio paviršius turi būti plokščias ir poliruotas. Svarbu pasirinkti tinkamą matavimo vietą, t.y. ruošinio dalį, kuri buvo paveikta pjaunant medžiagą plazmos lankiniu pjovimo metodu. Matuojant paviršiaus šiurkštumą papildomas paviršiaus apdorojimas nereikalingas. Žemiau pateiktame brėžinyje parodoma, kuris paviršius pasirenkamas apdorojimui:

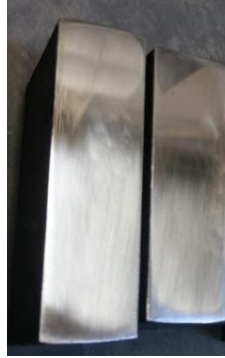


2.5. pav. Apdorojamas paviršius

Po pjovimo juostiniu pjūkle ruošinio paviršius yra grublėtas, turintis daug atplaišų, todėl prieš norint gauti tikslius duomenis matavimą būtinas bandinio šlifavimas. Operacija atliekama rankiniu būdu, naudojant P200, P600, P2000 šiurkštumo švitrinį popierių. Bandinys apdorojamas keliais etapais, pirmiausia naudojamas šiurkščiausias švitrinis popierius (P200), o apdorojimo pabaigoje popierius, kurio šiurkštumas mažiausias (P2000).



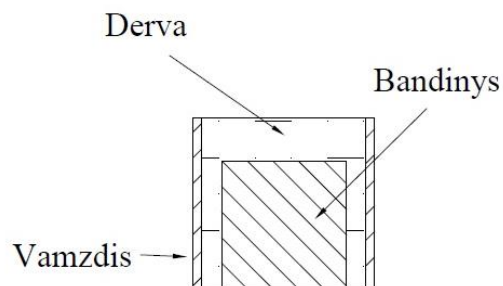
2.6. pav. Ruošinio paviršius iki šlifavimo



2.7. Ruošinio paviršius po šlifavimo

2.2.2. Ruošinių paruošimas temperatūros poveikio zonos matavimams

Temperatūros poveikio zonos pločio matavimui bandinyje pasirinktos plokštelės, kurių matmenys 30x30. Tačiau pasirinktų matmenų ruošinys yra per mažas ir jo negalima pritvirtinti poliravimo mašinoje. Todėl gautas bandinys buvo įdėtas į plastikinį vamzdį ir užpildas poliesterio derva. Proceso metu pasirinktas plastinis vamzdis supjaustomas į dalis, kurių matmenys $\text{Ø}32 \times 1,5$. Norint, jog bandinys neiškristų vienas vamzdžio galis užklijuojamas lipnia juosta. Įdėtas bandinys užpilamas poliesterio dervos ir kietiklio mišiniu. Dervai sukietėjus vamzdis pašalinamas.



2.8. pav. Pritvirtinto ruošinio brėžinys



2.9. pav. Dervoje pritvirtinti ruošiniai

Dervai sukietėjus ir pašalinus vamzdį abu bandinio galai buvo apdirbti mechaniškai tekimo staklėse. Procesas atliekamas tam, kad bandinio paviršius būtų statmenas. Apdorojimas tekimo staklėmis leidžia sumažinti poliravimo trukmę, nes jo metu pašalinama didelė dalis bandinio paviršiaus nelygumų.



2.10. pav. Ruošiniai po tekimo

Po bandinių apdorojimo tekimo staklėmis atliekamas galutinis poliravimas, po kurio ruošinio paviršius tampa lygus ir veidrodinis. Poliravimui naudota SMARTLAM® 2.0. mašina.



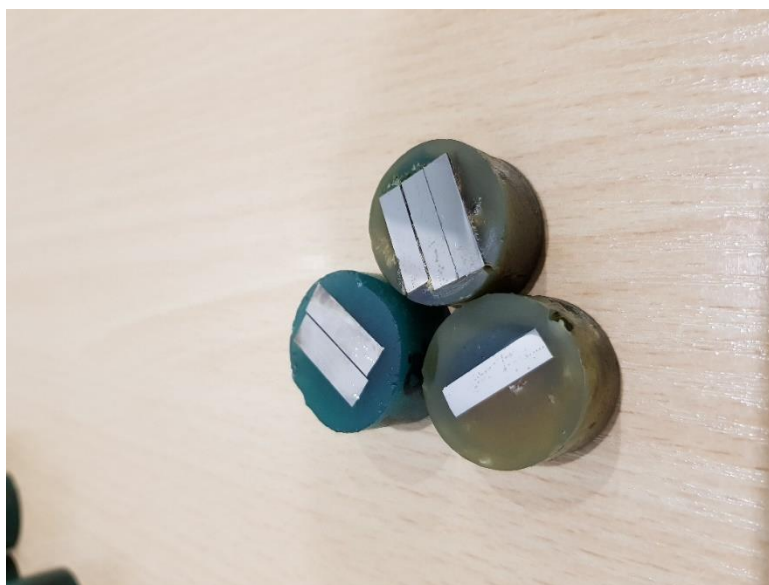
2.11. pav. Poliravimo mašina SMARTLAM® 2.0

2.5. lentelė. Techniniai poliravimo mašinos parametrai [28]

Disko diametras	Ø 200 - Ø 300 mm
Korpusas	Plieningas, padengtas epoksidiniais dažais
Valdymas	3.5" spalvotas liečiamas ekranas mašinos valdymui: start/stop, laikmatis, disko greitis ir kryptis, vandens selenoidinis vožtuvas
Diskų sukimosi greitis	Įvairus, nuo 20 iki 650 sūkių per minutę
Sukimasis	Pagal/prieš laikrodžio rodyklę
Programos	9 programos
Vandens įleidimas	Nuimamas vamzdelis, srauto greičio koregavimas
Maksimali galia	0,75 kW
Įtampa	230 V – 50 Hz viena fazė

Atliekant poliravimą būtina naudoti ambrazyvinį skystį, kurio sudėtyje esančios medžiagos paviršių padaro žvilgančiu. Tyrimo metu buvo naudota ambrazyvinė suspensija NEODIA 1M.

Po poliravimo ruošinio paviršius tampa lygus ir žvilgantis, pašalinami įbrėžimai. Taip apdoroti bandiniai naudojami atliekant tolesnius tyrimus.



2.12. pav. Bandiniai po paviršiaus poliravimo

2.3. Tyrimai

2.3.1. Kietumo tyrimas

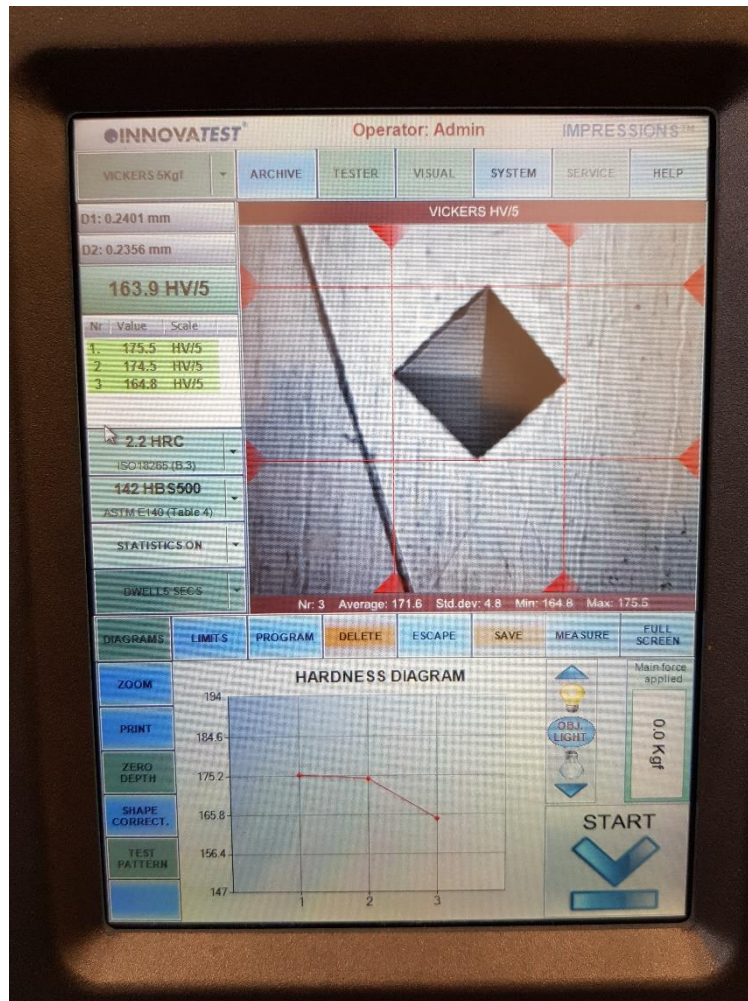
Po plazminio lankinio pjovimo medžiaga prie pjovimo vietos tampa daug kietesnė kitose bandinio vietose. Ruošinio kietumo tyrimams naudotas INOVATEST VERZUS 750CCD prietaisais. Žemiau pateiktas prietaiso aprašymas bei specifikacijos.

VERZUS 750 serija – nauja kietumo bandymo prietaisų karta. Matuokliai pritaisyti prie tvirto C rėmo. Uždaros kilpos sistema, pagrįsta apkrovos elementu ir tikslia jėgos pavara, užtikrina geriausias GR&R rezultatus, kada nors gautus Rockwell kietumo matuokliais. Matuoklis atitinka arba yra geresnis nei numatyta ISO, ASTM ir JIS standartuose ir atitinka Nadcap patikrą. Galima testuoti nuo 1kgf/9.7N iki 250kgf/2.45kN, pažangūs algoritmai, skaitmeninė filtro technologija bei moderniausios technologijos leidžia itin tiksliai kontroliuoti galią. Testavimo ciklas gali trukti tik 13 sekundžių. Gylis matuojamas optine sistema 0,1 mikrono tikslumu. VERZUS reiškia universalus, įvairiapusiškas. Visi modeliai taip pat turi plastiko testavimo skales pagal ISO 2039/1 standartą. [29]



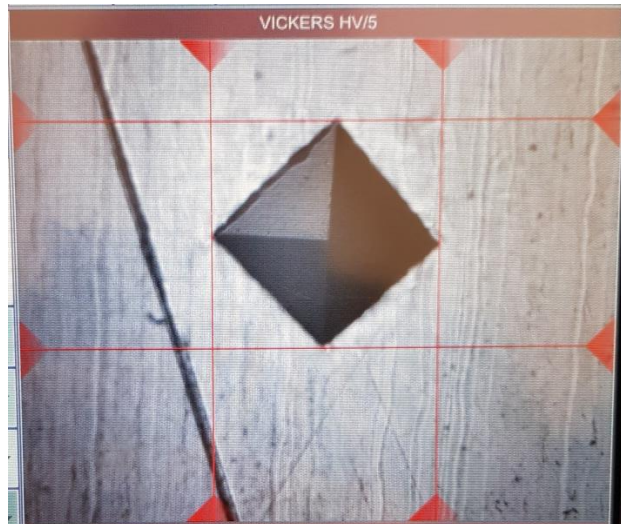
2.14. pav. Kietumo testavimo prietaisas Inovatest Verzus 750ccd

Kietumo matavimas atliekamas keliais etapais. Pirmiausia ruošinys, kurio matmenys 40x50 mm, patepamas specialiu tepalu ir pritvirtinamas ant matavimo stalo. Po to judinant matavimo stalą sureguliuojamas mikroskopas, pro kurį bus matoma keturkampė žymi. Tuomet prietaiso ekrane pasirinkamas norimas apkrovos dydis. Matavimo stalas su ruošiniu pastumiamas į darbinę zoną. Paspaudžiame mygtuką „pradėti“ ir į ruošinį su prietaise esančiu deimantiniu kūgiu įspaudžiama keturkampė žymė.



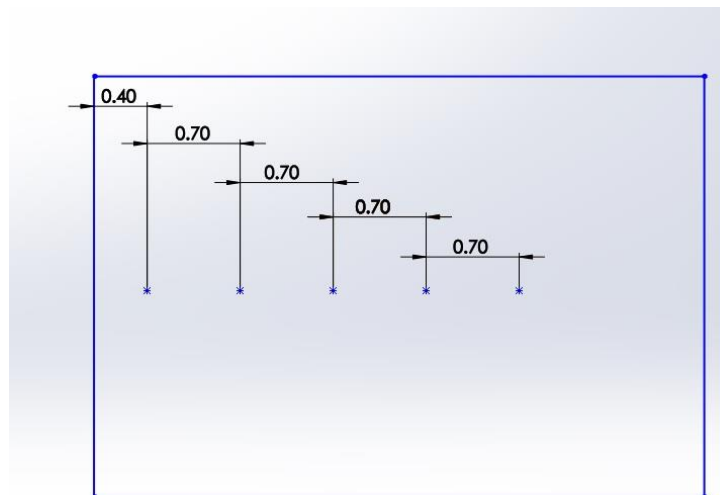
2.15. pav. Įspaudo žymės vaizdas

Gautos keturkampės žymės parametrai matuojami, kai ruošinys, pritvirtintas prie matavimo stalo, yra grąžinamas į pradinę padėtį. Prietaiso ekrane matomi keturkampės žymės parametrai: aukštis ir ilgis. Mašina, apdorodama gautus duomenis, automatiškai išmatuoja tiriamojo ruošinio kietumą.



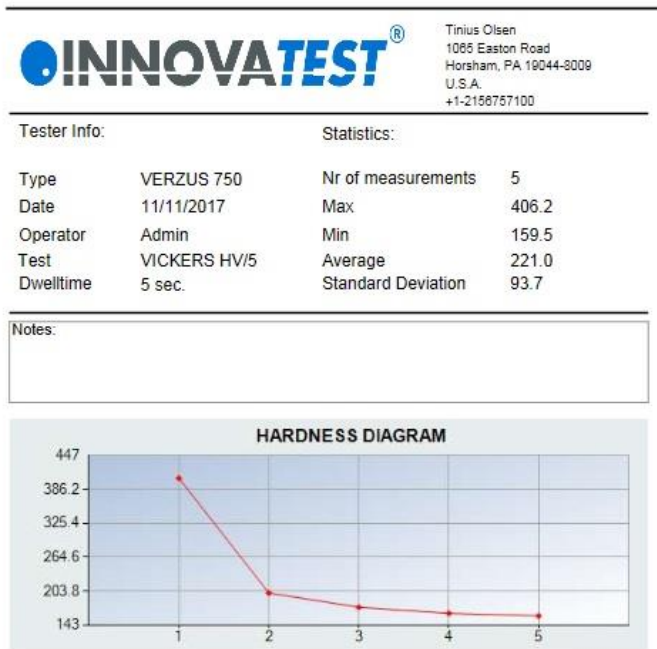
2.16. pav. Ekranas matuojant

Gauti teisingi rezultatai naudojami braižant kietumo diagramą. Kiekvienas turimas bandinys yra matuojamas penkis kartus kartojant aukščiau išvardintus veiksmus tol kol kietumas tampa pastovus ir lygus pradinės medžiagos kietumui. Atliekant kiekvieną naują matavimą matavimo stalo pozicija kinta kas 0,7mm.



1.17. pav. Matavimo taškai

Atlikus penkis ruošinio kietumo matavimui gaunama diagrama, kuri pateikiama žemiau:



1.18 pav. Kietumo diagrama

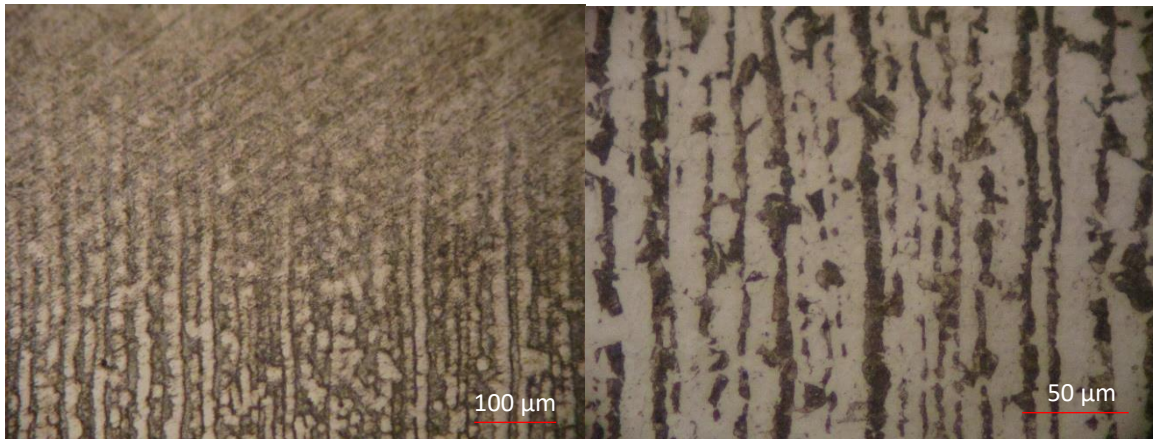
2.3.2. Terminio poveikio zonos tyrimas

Šiam tyrimui reikalingi ankstesniuose etapuose nupoliruoti bandiniai, kurių terminio poveikio zona buvo matuojama naudojantis binokuliniu mikroskopu ZEISS Scope A1.



2.19. pav. Mikroskopas ZEISS Scope A1

Terminio poveikio zonoje medžiagos mikrostruktūra yra pakeista, todėl jos plotis matuojamas atsižvelgiant į šiuos pokyčius. Norint pamatyti kuo ryškesnį mikrostruktūros vaizdą kiekvieno ruošinio paviršius yra padengiamas specialiu reagentu. Bandinys išdžiovinamas, dedamas po mikroskopo lęšiu ir rankiniu būdu sufokusuojamas gautas vaizdas. Naudojant mikroskope esančią skalę išmatuojamas TPZ ilgis. Žemiau pateikiami matavimo pavyzdžiai:



2.20. pav. Terminio poveikio zonos pavyzdžiai

2.3.3. Paviršiaus šiurkštumo tyrimas

Ruošinio, gauto po plazminio lankinio pjovimo, paviršiaus šiurkštumas matuojamas su TR220 paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisu. Pagrindinės šio prietaiso specifikacijos pateikiamos žemiau:

2.6. lentelė. Pagrindinės šiurkštumo prietaiso TR220 specifikacijos [30]

Šiurkštumas	Ra, Rq, Rz, Rt, Rp, Rv, Ry, RS, RSm, RSk, Rz (JIS), R3z, Rmax, RPc, Rk, Rpk, Rvk, Mr1 und Mr2;
Matavimo diapazonas	Ra: 0,005 - 16 µm ; Rz: 0,02 - 160 µm
Rezoliucija	0,001 µm
Bangos ilgis	0,25 mm / 0,8 mm / 2,5 mm / Auto
Važiavimo ilgis L_n	1 - 5



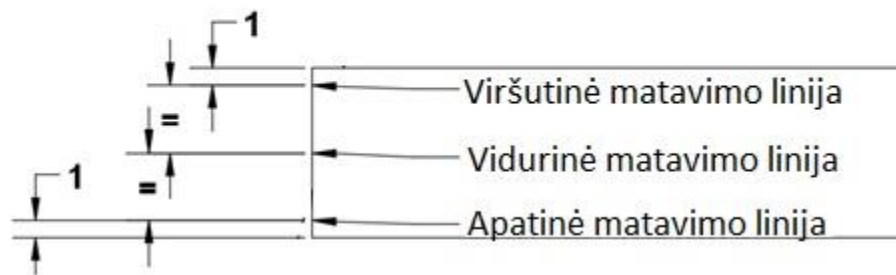
2.21. pav. Paviršiaus šiurkštumo prietaisas TR220

Norint išmatuoti paviršiaus šiurkštumą ir gauti tikslius rezultatus ruošinys ir matavimo prietaisas turi būti pritvirtintas ant nejudančio paviršiaus, todėl tyrimo metu bandinys su prietaisu yra padedamas ant matavimo stalo.



2.22. pav. Matavimo stalas.

Norint nustatyti ar to paties ruošinio šiurkštumas yra vienodas visame bandinyje, jis matuojamas trijose bandinio vietose, esančiose skirtingame aukštyje. Pirmiausia išmatuojamas ruošinio 14 mm storio sluoksnio, vėliau matuojamas 5 mm storio sluoksnių šiurkštumas. Matavimų linijos pateiktos žemiau:



2.23. pav. Šiurkštumo matavimo linijos.

Tiriant šiurkštumą, pasirinkti matuoti trys pagrindiniai parametrai:

1. R_a – aritmetinis vidutinis šiurkštumas
2. R_z – vidutinis šiurkštumo gylis

3. Rezultatai ir apibendrinimas

Šiame skyriuje pateikiami bandymų metu gauti rezultatai. Remiantis gautais duomenimis analizuojama kaip keičiant plazminio pjovimo režimus yra paveikiamas terminio poveikio zonos kietumas, plotis ir pjovimo zonos šiurkštumas. Duomenys analizuoti Microsoft Excel programa. Žemiau esančiose lentelėse pateikiami atliktų matavimų rezultatai.

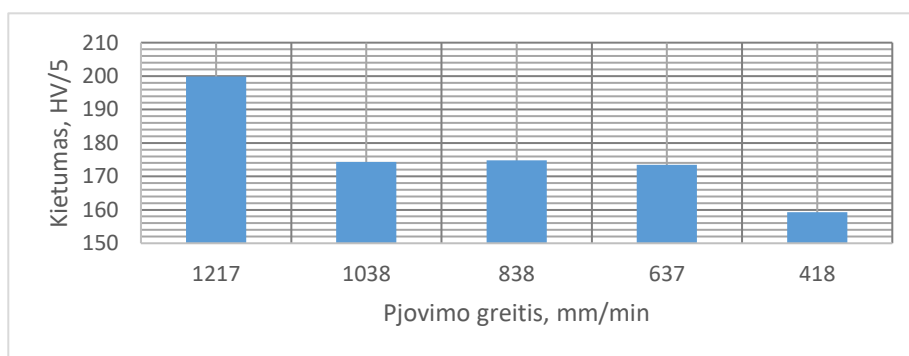
3.1. Kietumo matavimų rezultatai

Tyrimo metu buvo naudoti trys pjovimo parametrai, lemiantys medžiagos kietumo pokyčius. Analizuojama skirtingo pjovimo greičio, srovės ir įtampos įtaka. Remiantis tyrimo metu gauti rezultatais, galime daryti išvadą, jog medžiagos kietumas mažėja tolstant nuo pjūvio vietos.

Santykis tarp pjovimo greičio ir kietumo prie pjūvio krašto 5 mm storio plokštelės

3.1. lentelė. 5 mm storio ruošinių kietumas pjaunant skirtingu greičiu (S235JRG2+N)

Bandinio Nr.	Kietumas, HV/5	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
5	199.88	88	1217
1	174.34	87	1038
2	174.78	88	838
3	173.42	88	637
4	159.27	89	418

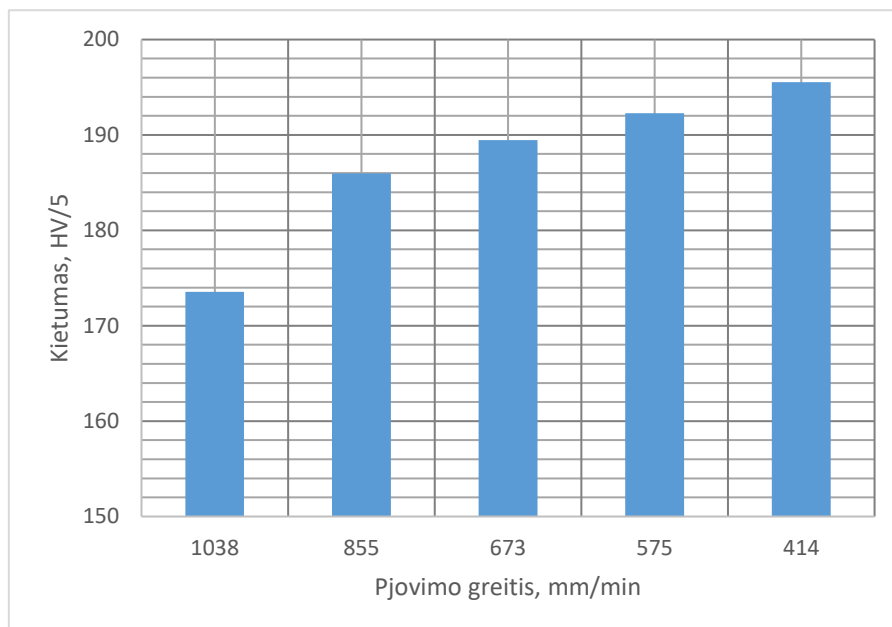


3.1. grafikas. 5 mm storio ruošinių kietumas pjaunant skirtingu greičiu

Santykis tarp pjovimo greičio ir kietumo prie pjūvio krašto 14 mm storio plokštelėse

3.2. lentelė. 14 mm storio ruošinių kietumas pjaunant skirtingu greičiu (S235JRG2)

Bandinio Nr.	Kietumas, HV/5	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
12	173.55	84	1038
13	185.96	84	855
14	189.45	85	673
15	192.27	85	575
16	195.52	84	414



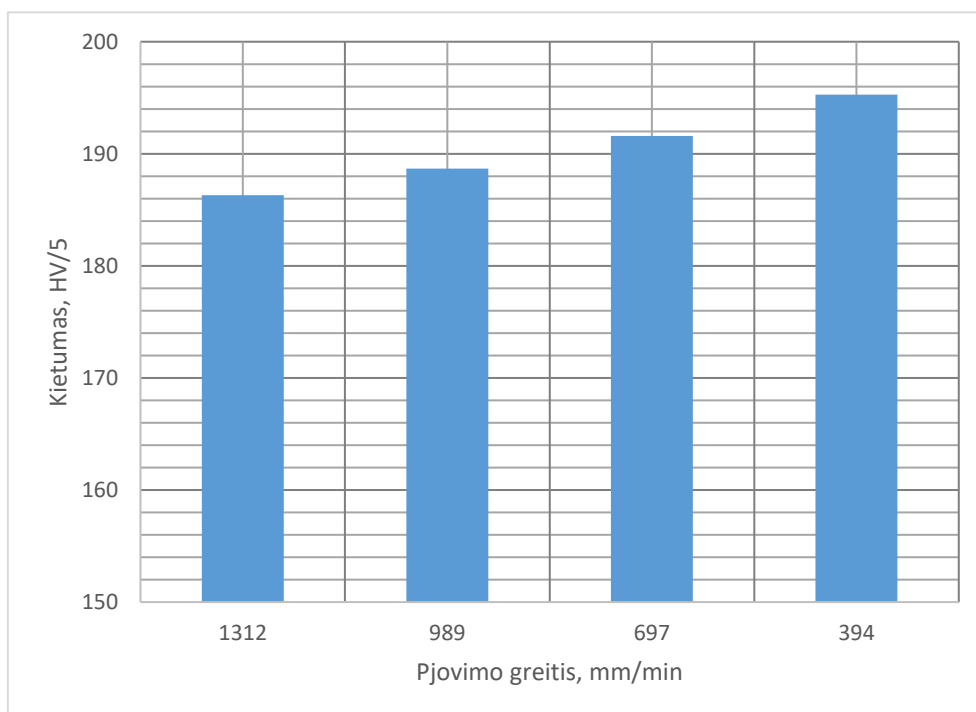
3.2 grafikas. 14 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingais greičiais

3.2 grafike matoma, jog pjaunant 14 mm storio bandinį, pagamintą iš S235JRG2 plieno, medžiaga šalia pjūvio vietos tampa kietesnė sumažinus pjovimo greitį. Pjovimo metu buvo naudojamas pastovus srovės stipris. Pjaunant bandinį 1038 mm/min greičiu medžiagos kietumas šalia pjūvio vietos buvo 173,55 HV/5. Toliau mažinant pjovimo greitį kietumas mažėjo. Pjaunant 414 mm/min greičiu kietumas padidėjo iki 195,52 HV/5.

Santykis tarp pjovimo greičio ir kietumo prie pjūvio krašto 5 mm storio plokštelėse

3.3. lentelė. 5 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingais greičiais (AISI316L)

Bandinio Nr.	Kietumas, HV/5	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
8	186,31	66	1312
9	188,69	66	989
10	191,58	66	697
11	195,28	66	394



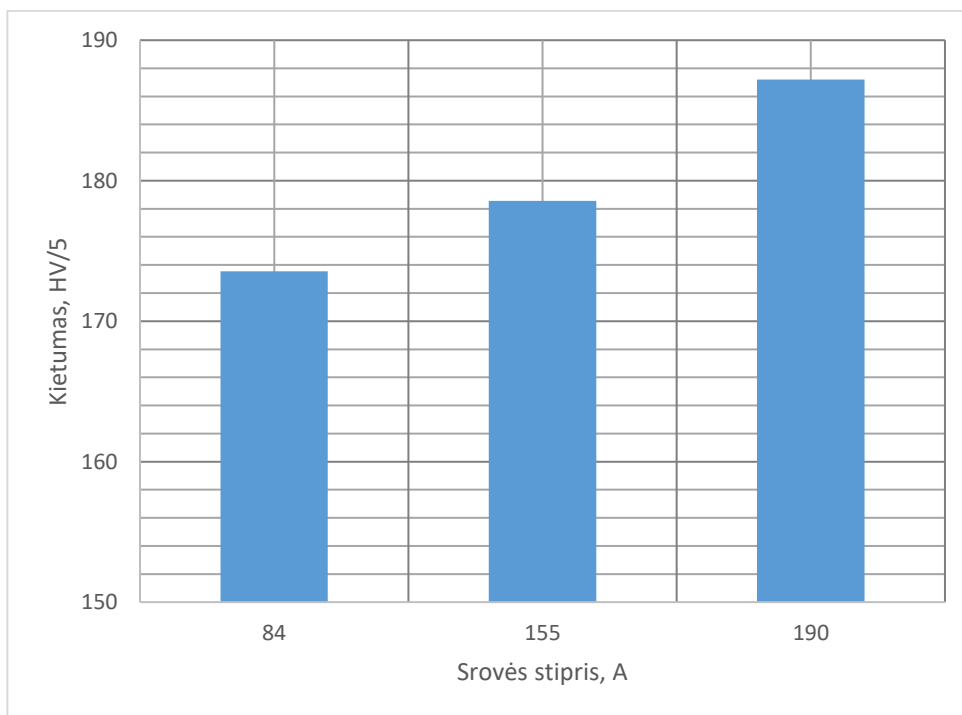
3.3. grafikas. 5 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingais greičiais

Panaši medžiagos kietumo pjūvio vietoje priklausomybė nuo pjovimo greičio matoma 3.3 grafike. Šiuo atveju tyrimo metu buvo pjaunamas bandinys, pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI316L. Tyrimo metu srovės stipris buvo pastovus. Esant didžiausiam pjovimo greičiui 1312 mm/min medžiagos kietumas šalia pjūvio vietos buvo 186,31 HV/5, sumažinus pjovimo greitį iki 394 mm/min kietumas išaugo iki 195,28 HV/5.

Santykis tarp pjovimo stiprumo ir kietumo prie pjūvio krašto 14 mm storio plokštelėse

3.4. lentelė. 14 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingu srovės stiprumu (S235JRG2)

Bandinio Nr.	Kietumas, HV/5	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
12	173,55	84	1038
17	178,57	155	1038
18	187,25	190	1038



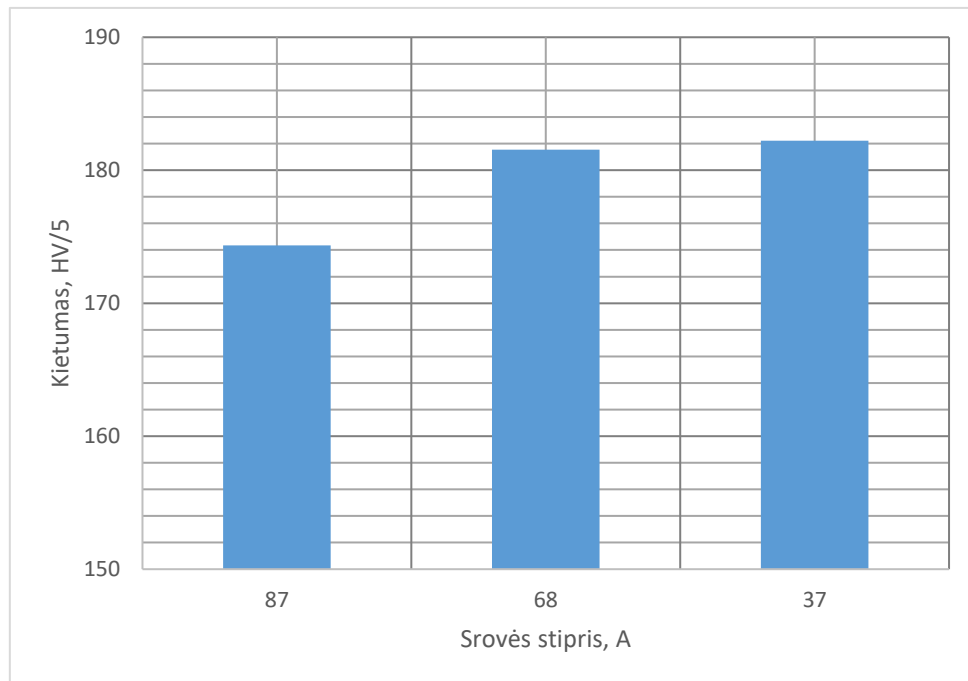
3.4. grafikas. 14 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingu srovės stiprumu

3.4 grafike matoma medžiagos kietumo prie pjūvio vietos priklausomybė nuo srovės stiprio. Šiuo atveju, pjovimo greitis buvo pastovus -1038mm/min. Tyrimo metu naudojamas 14mm storio bandinys iš S235JRG2 plieno. Esant srovės stipriui 84 A medžiagos kietumas prie pjūvio vietos yra 173,55 HV/5. Padidinus srovės stiprį iki 190 A padidėjo iki 187,25 HV/5.

Santykis tarp pjovimo srovės stiprumo ir kietumo prie pjūvio krašto 5 mm storio plokštelėse

3.5. lentelė. 5 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingu srovės stiprumu (*S235JRG2+N*)

Bandinio Nr.	Kietumas, HV/5	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
1	174.34	87	1038
6	181.54	68	1038
7	182.21	37	1038

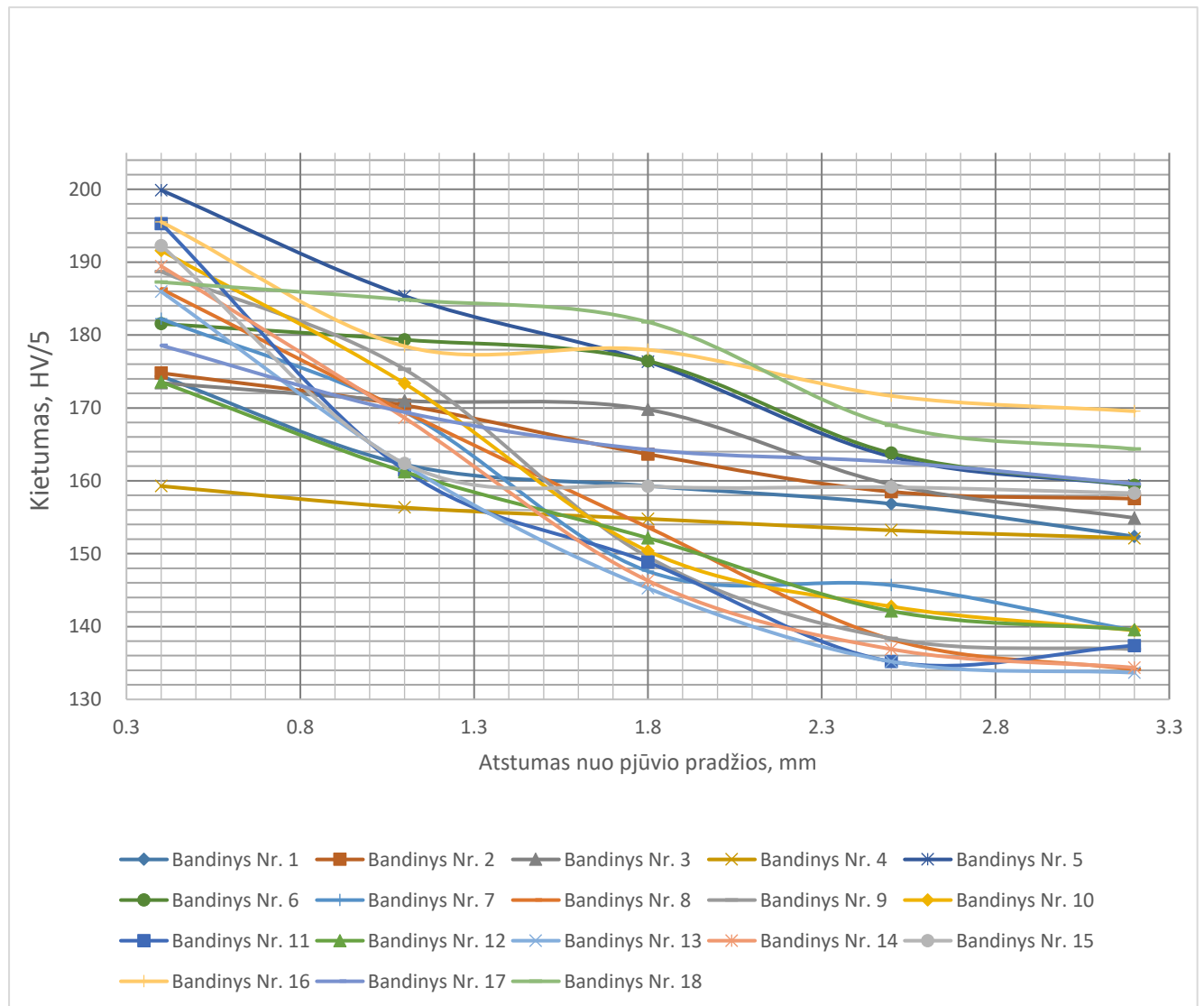


3.5. grafikas. 5 mm storio ruošinių kietumas, pjaunant skirtingu srovės stiprumu

3.5 grafike matoma, jog mažinant srovės stiprį kietumas didėja. Šiuo atveju tyrimo metu buvo naudojamas bandinys, pagamintas iš 5mm *S235JRG2+N* plieno. Pjovimo metu pjovimo greitis buvo palaikomas pastovus – 1038 mm/min. Esant srovės stipriui 87 A medžiagos kietumas prie pjūvio vietos yra 174,34 HV/5. Sumažinus srovės stiprį iki 37 A padidėjo iki 182,21 HV/5.

3.2 Kietumo matavimų rezultatai skirtingu atstumu nuo pjūvio kraštinės

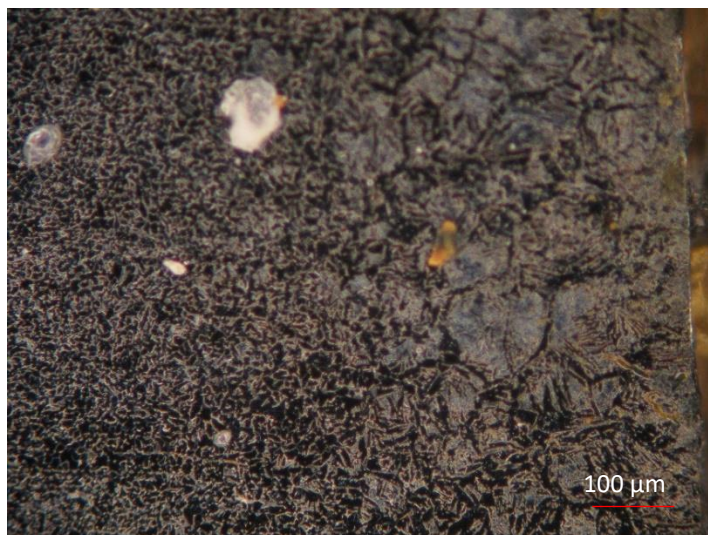
Tyrimo metu buvo matuotas bandinių kietumas skirtingu atstumu nuo pjūvio vietos. Pirmiausia kietumas išmatuotas 0,4 mm atstumu nuo pjūvio krašto, antruoju atveju – 1,1 mm atstumu, trečias – 1,8 mm. Iš viso atlikti penki matavimai atstumą nuo pjūvio vietos keičiant kas 0,7 mm. Žemiau esančioje diagramoje pateikiami gauti rezultatai:



3.6. grafikas. Kietumo kitimas, matuojant skirtingu atstumu nuo pjūvio vietos

3.3 Kietumo matavimų rezultatų apžvalga

Tiriant plieno kietumo pokyčius, keičiant pjovimo greitį pastebėta, jog pjaunant 14 mm storio lakštą (3.2 lentelė), kietumas mažėja pjaunant didesniu greičiu. Tuo tarpu pjaunant 5 mm lakštą (3.3 lentelė), kietumas irgi mažėja pjaunant didesniu greičiu. Tačiau 5 mm lakštą (3.1 lentelė), matome visiškai priešingus parametrus negu prieš tai. Kitus skirtumus galime pamatyti 3.4 ir 3.5 grafikuose, kur aiškiai matyti, kad pjaunant pastoviu greičiu, bet keičiant amperus, kietumas didėja. Tokius rezultatus paaiškina Edison Welding instituto straipsnis: „Plasma Arc Cutting of Bridge Steels“ [12]: „Dėl mikrostruktūrinių ypatybių prie pjūvio krašto gali būti daugiau markensito, tada medžiaga bus kietesnė, o tose vietose kur yra daugiau perlito, bus mažiau kieta. Dėl tokių mikrostruktūrinių išsidėstymų galime gauti skirtingas kietumo vertes“. Mikrostruktūra prie pjūvio krašto 3.7. pav.:



3.7. pav. Mikrostruktūra prie pjūvio krašto

Iš 3.6. grafiko, matome, kad yra ryšys tarp medžiagos kietumo ir atstumo nuo pjūvio krašto. Didžiausias kietumas yra prie krašto, kuris yra 0,4 mm atstumu nuo pjūvio. Toliau nuo pjūvio vietos kietumas mažėja, tol kol pasiekia tiriamosios medžiagos kietumą.

Nerūdijančio plieno AISI316L kietumas yra 1,05 kartų mažesnis nei pjūvio vietoje prie krašto. Tuo tarpu plieno S235JRG2+N ir S235JRG2 kietumas yra apie 1,25 kartus mažesnis nei pjūvio vietoje prie krašto.

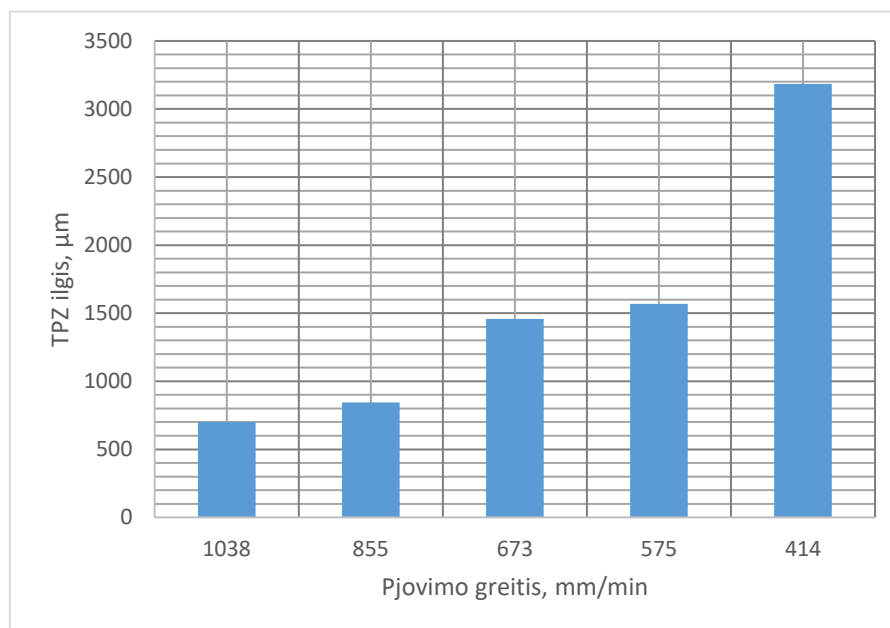
3.3 Terminio poveikio zonos ilgio matavimo rezultatai

Bandiniai, skirti išmatuoti terminio poveikio zonos ilgio pokyčius, pjauti keičiant pjovimo greitį ir srovės stiprumą. Šiuo atveju tiriamas tik mažaanglis plienas S235JRG2 S=14 ir S235JRG2+N S=5.

Santykis tarp pjovimo greičio ir TPZ ilgio 14 mm storio plokštelėse.

3.7. lentelė. Santykis tarp TPZ pločio ir pjovimo greičio 14 mm storio pliene S235JRG2

Bandinio Nr.	TPZ ilgis, μm	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
12	702	84	1038
13	845,3	85	855
14	1458	85	673
15	1569	83	575
16	3184	84	414



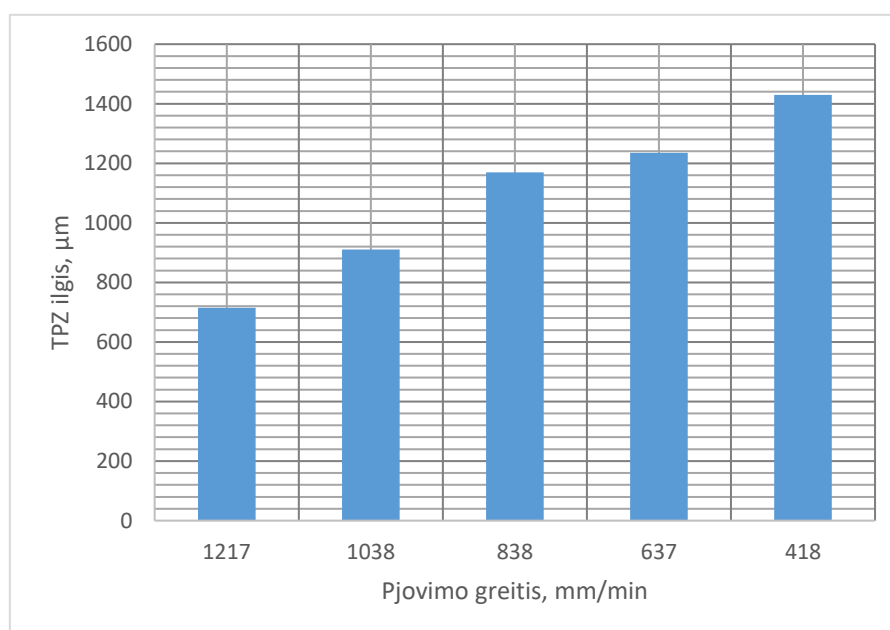
3.7. grafikas. Santykis tarp TPZ ilgio ir pjovimo greičio 14 mm storio pliene S235JRG2

3.7 grafike matoma ryšys tarp TPZ zonos ilgio ir pjovimo greičio. Tyrimo metu buvo naudotas 14 mm storio bandinys iš S235JRG2 plieno, srovės stipris palaikomas pastovus. Atsižvelgiant į gautų duomenų grafinį atvaizdavimą matoma, jog sumažinus pjovimo greitį TPZ plotis didėja.

Santykis tarp pjovimo greičio ir TPZ ilgio 5 mm storio plokštelėse

3.8. lentelė. Santykis tarp TPZ ilgio ir pjovimo greičio 5 mm storio pliene S235JRG2+N

Bandinio Nr.	TPZ ilgis, μm	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
5	715	88	1217
1	910	84	1038
2	1170	88	838
3	1235	88	637
4	1430	89	418



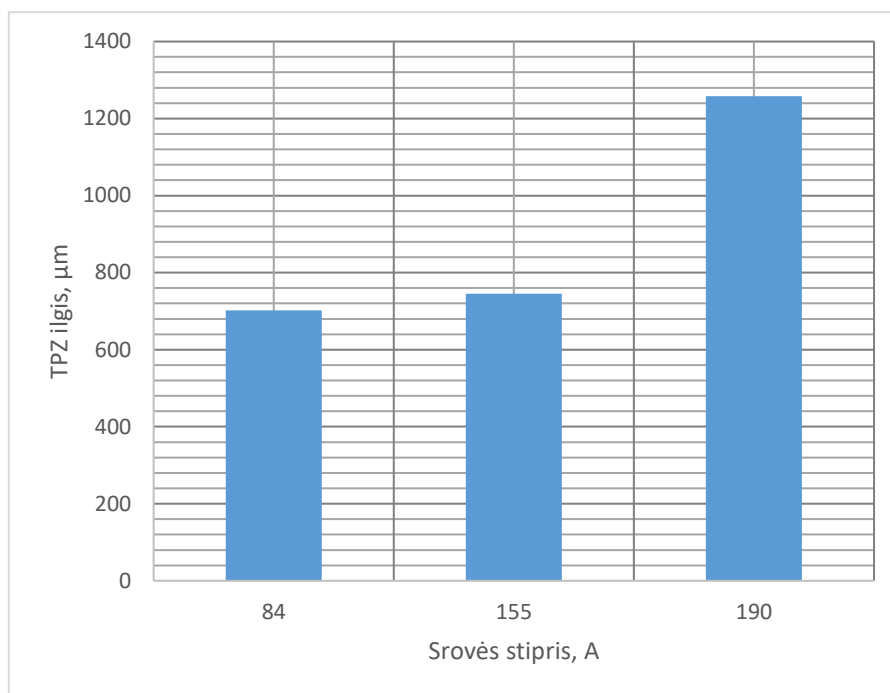
3.8. grafikas. Santykis tarp TPZ ilgio ir pjovimo greičio 5 mm storio pliene S235JRG2+N

3.8 grafike matomos panašios tendencijos – TPZ ilgis didėja mažinant pjovimo greitį. Tyrimo metu naudotas 5mm storio bandinys, pagamintas iš S235JRG2+N plieno, srovės stipris palaikomas pastovus. Esant 1217mm/min pjovimo greičiui TPZ ilgis 715 μm , sumažinus pjovimo greitį iki 418 mm/min TPZ ilgis pasiekė 1430 μm .

Santykis tarp pjovimo greičio ir TPZ ilgio 14 mm storio plokštelėse

3.9. lentelė. Santykis tarp pjovimo srovės ir TPZ ilgio 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

Bandinio Nr.	TPZ ilgis, μm	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
12	702	84	1038
17	745	155	1038
18	1258	190	1038



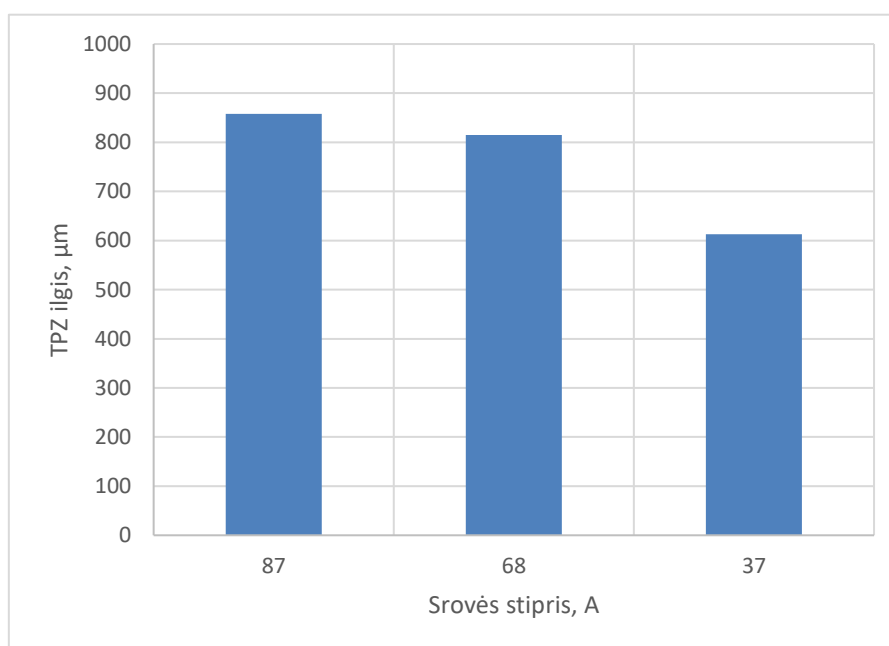
3.9. grafikas. Santykis tarp pjovimo srovės ir TPZ ilgio 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

3.9 grafike vaizduojama TPZ ilgio priklausomybė nuo srovės stiprio. Tyrimo metu naudotas 14mm storio bandinys, pagamintas iš S235JRG2 plieno. Pjovimo greitis palaikomas pastovus – 1038 mm/min. Didinant srovės stiprį TPZ ilgis didėja. Esant 84A srovės stipriui TPZ ilgis 702 μm , srovės stiprį padidinus iki 190A TPZ ilgis padidėjo iki 1258 μm .

Santykis tarp pjovimo stiprumo ir TPZ ilgio 5 mm storio plokštelėse

3.10. lentelė. Santykis tarp pjovimo srovės ir TPZ ilgio 5 mm storio plieno S235JRG2+N plokštelėse

Bandinio Nr.	TPZ ilgis, μm	Srovės stipris, A	Pjovimo greitis, mm/min
1	858	87	1038
6	816,6	68	1038
7	613	37	1038



3.10. grafikas. Santykis tarp pjovimo srovės ir TPZ ilgio 5 mm storio plieno S235JRG2+N plokštelėse

3.10 grafike matoma, jog pjaunant 5mm storio bandinį, pagamintą iš S235JRG2+N plieno, mažinant srovės stiprį TPZ ilgis mažėja. Tyrimo metu buvo palaikomas pastovus 1038 mm/min pjovimo greitis. Esant 87A srovės stipriui 858 μm , tuo tarpu sumažinus srovės stiprį iki 37A TPZ ilgis sumažėja iki 613 μm .

3.5 Terminio poveikio zonos pločio matavimų rezultatų apžvalga

Ankstesniuose aptartuose grafikuose matomas ryšys tarp terminio poveikio zonos pločio ir pjovimo parametrų. 3.7 ir 3.8 lentelėse matome kaip TPZ skiriasi, keičiant pjovimo greitį. Kuo didesnis pjovimo greitis, tuo siauresnė terminio poveikio zona. Kuo mažesnis greitis pjovimo, tuo didesnė terminio poveikio zona. Pjaunant 14 mm lakštą ir keičiant pjovimo greitį nuo 414 mm/min iki 1038 mm/min, matome, kad TPZ sumažėja nuo 3184 μm iki 702 μm . Pjaunant 5 mm lakštą 1217 mm/min greičiu ir mažinant iki 418 mm/min gauname TPZ nuo 1430 μm iki 715 μm . Šį reiškinį galima paaiškinti tuo, kad pjaunant lėtesniu režimu medžiaga gali sugerti daugiau šilumos.

Likusiuose 3.9 ir 3.10 grafikuose matome santykį tarp srovės stiprumo ir pastovaus pjovimo greičio. Kuo didesnis srovės stiprumas, tuo terminio poveikio zonos plotis yra didesnis. Sumažinus srovę TPZ plotis sumažėja. Pjaunant 5 mm lakštą, srovė 87 A ir mažinama iki 37 A. Šiuo atveju, TPZ zonos plotis sumažėja nuo 858 μm iki 613 μm . Pjaunant 14 mm lakštą srovė yra didinama nuo 84 A iki 190 A. Esant šiems parametrams terminio poveikio zonos plotis didėja nuo 702 μm iki 1258 μm .

Pjaunant plazma reikia atsižvelgti į tam tikrus pjovimo greičio ir srovės stiprumo apribojimus. Esant per mažam pjovimo greičiui arba srovės stiprumui plazmos lankas nepersiskverbs per medžiagą.

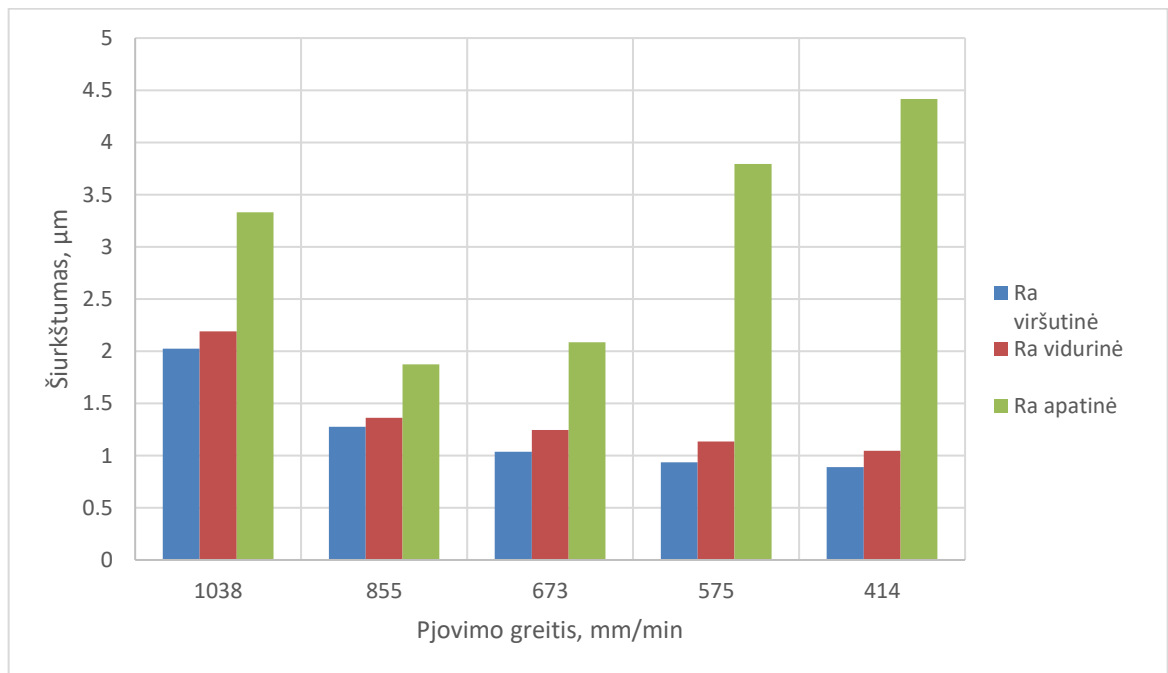
3.6 Paviršiaus šiurkštumo matavimų rezultatas

Šiame skyriuje bus analizuojama paviršiaus šiurkštumo pokyčiai, keičiant pjovimo parametrus, tokius kaip pjovimo greitis ir srovės stiprumas. Medžiagos šiurkštumo pokyčiai bus matuojami šiurkštumo matuokliu.

Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio plokštelėse

3.11. lentelė. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio (S235JRG2)

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Ra viršutinė linija μm	Ra vidurinė linija, μm	Ra apatinė linija, μm
12	1038	84	2.025	2.19	3.332
13	855	85	1.277	1.362	1.875
14	673	85	1.036	1.244	2.085
15	575	83	0.936	1.136	3.795
16	414	84	0.889	1.046	4.416



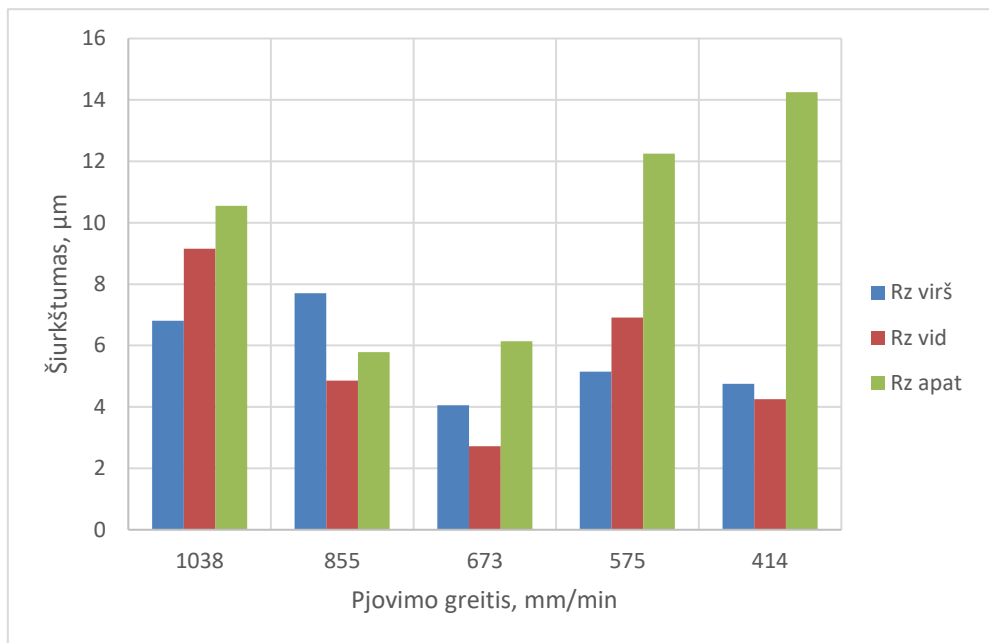
3.11. grafikas. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio

3.11 grafike matoma priklausomybė tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir pjovimo greičio. Tyrimo metu naudotas 14 mm storio bandinys iš S235JRG2 plieno. Mažinant pjovimo greitį nuo 1038mm/min iki 414mm/min Ra viršutinės linijos šiurkštumas pjūvio vietoje sumažėjo nuo 2,025 μm iki 0,889 μm . Esant tokiems pat greičiams Ra vidurinės linijos šiurkštumas pjūvio vietoje sumažėjo nuo 2,190 μm iki 1,046 μm . Aiškios priklausomybės tarp Ra apatinės linijos šiurkštumo pjūvio vietoje ir pjovimo greičio nematyti.

Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plokštelėse

3.12. lentelė. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Rz viršutinė linija, μm	Rz vidurinė linija, μm	Rz apatinė linija, μm
12	1038	84	6,808	9,15	10,55
13	855	85	7,703	4,855	5,789
14	673	85	4,051	2,722	6,136
15	575	83	5,15	6,91	12,25
16	414	84	4,757	4,253	14,255



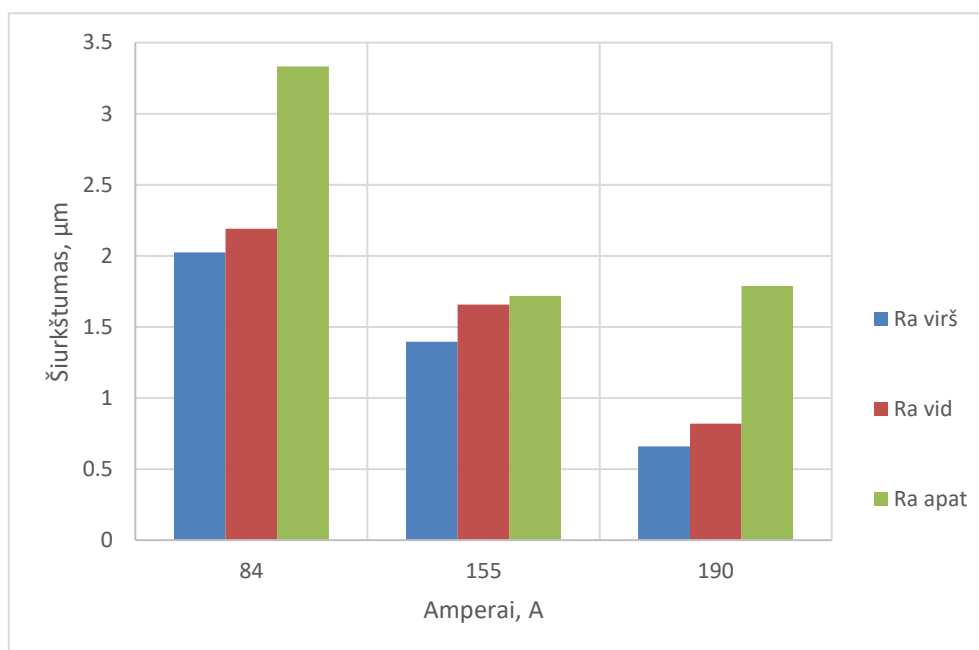
3.12. grafikas. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

3.12 grafike aiškios priklausomybės tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir pjovimo greičio nematyti. Tyrimo metu naudotas 14 mm storio bandinys, pagamintas iš S235JRG2 plieno. Gauti rezultatai nėra tikslūs, nematyti nuoseklaus šiurkštumo didėjimo ar mažėjimo keičiant pjovimo greitį.

Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio plokštelėse

3.13. lentelė. Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Ra viršutinė linija, μm	Ra vidurinė linija, μm	Ra apatinė linija, μm
12	1038	84	2,025	2,19	3,332
17	1038	155	1,395	1,656	1,718
18	1038	190	0,66	0,818	1,787



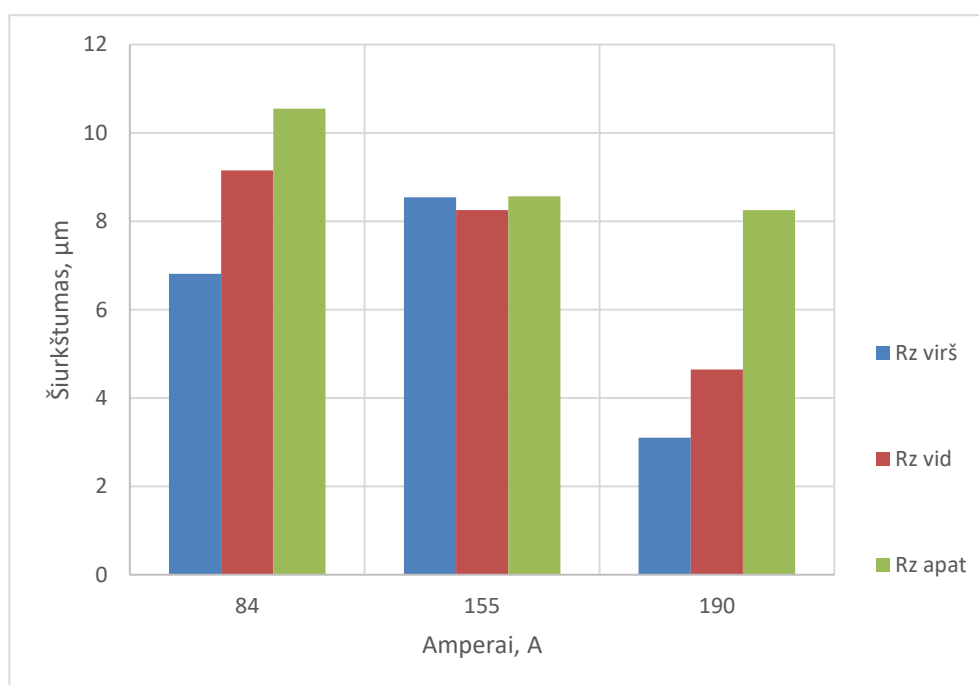
3.13. grafikas. Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Ra 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

3.13 grafike matoma priklausomybė tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir srovės stiprumo. Tyrimo metu naudotas 14 mm storio bandinys iš S235JRG2 plieno. Pjovimo greitis pastovus – 1038mm/min. Didinant srovės stiprį nuo 84A iki 190A Ra viršutinės linijos šiurkštumas pjūvio vietoje sumažėjo nuo 2,025 μm iki 0,660 μm . Esant tokiems pat parametrais Ra vidurinės linijos šiurkštumas sumažėjo nuo 2,190 μm iki 0,818 μm . Ra apatinės linijos šiurkštumas sumažėjo nuo 3,332 μm iki 1,787 μm .

Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plokštelėse

3.14. lentelė. Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plieno plokštelėse (S235JRG2)

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Rz viršutinė linija, μm	Rz vidurinė linija, μm	Rz apatinė linija, μm
12	1038	84	6,808	9,15	10,55
17	1038	155	8,542	8,25	8,563
18	1038	190	3,101	4,644	8,25



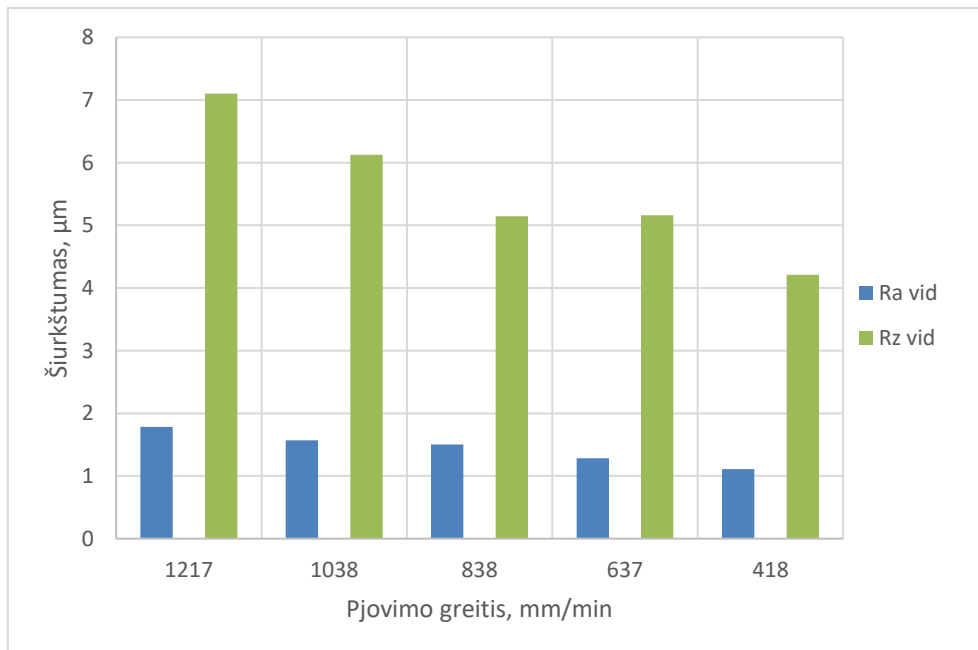
3.14. grafikas. Santykis tarp pjovimo srovės ir paviršiaus šiurkštumo Rz 14 mm storio plieno S235JRG2 plokštelėse

3.14 grafike matoma priklausomybė tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir srovės stiprumo. Tyrimo metu naudotas 14 mm storio bandinys iš S235JRG2 plieno. Pjovimo greitis pastovus – 1038mm/min. Didinant srovės stiprį nuo 84A iki 190A Rz vidurinės linijos šiurkštumas pjūvio vietoje sumažėjo nuo 6,808 μm iki 3,101 μm . Esant tokiems pat parametrais Rz apatinės linijos šiurkštumas sumažėjo nuo 10,550 μm iki 8,250 μm . Matuojant Rz viršutinės linijos šiurkštumą aiškus ryškio tarp srovės stiprio ir medžiagos šiurkštumo pjūvio vietoje nematyti.

Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plokštelėse

3.15. lentelė. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plieno S235JRG2+N plokštelėse

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Ra vidurinė linija, μm	Rz vidurinė linija, μm
5	1217	88	1,783	7,101
1	1038	87	1,571	6,558
2	838	88	1,501	5,464
3	637	88	1,282	5,023
4	418	89	1,112	4,326



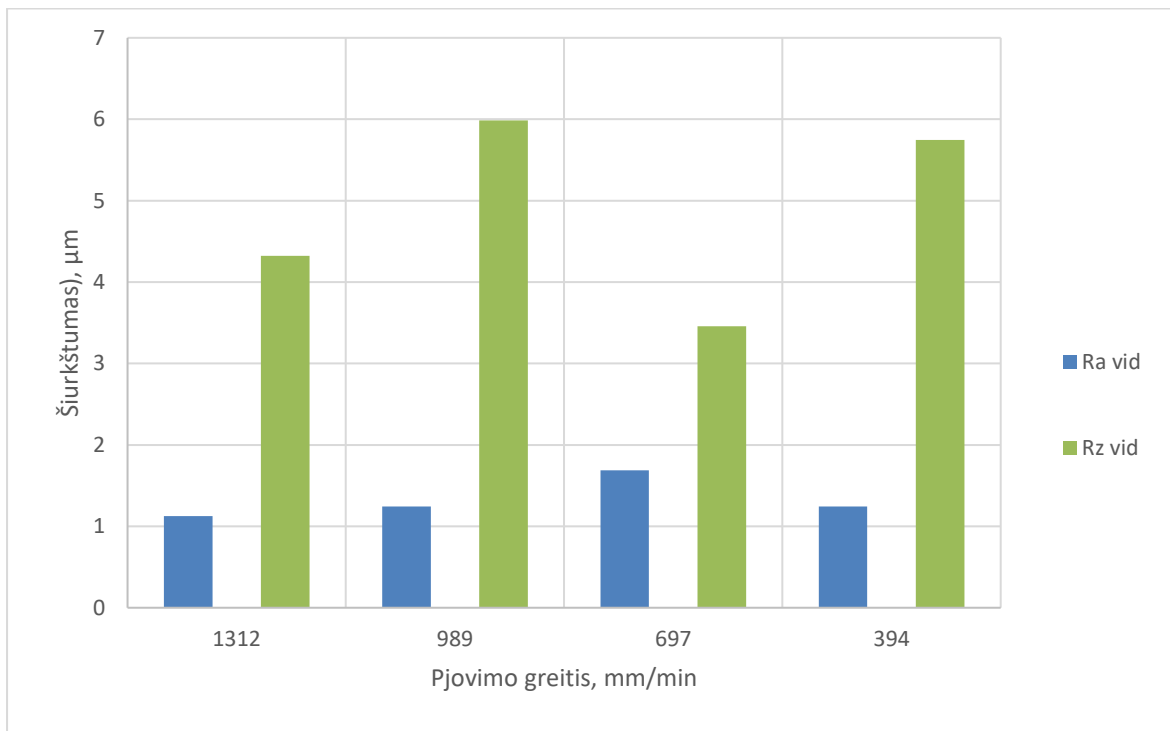
3.15. grafikas. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plieno S235JRG2+N plokštelėse

3.15 grafike matoma priklausomybė tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir pjovimo greičio. Tyrimo metu naudotas 5 mm storio bandinys iš S235JRG2+N plieno. Srovės stipris pastovus. Mažinant pjovimo greitį nuo 1217mm/min iki 418mm/min Ra ir Rz vidurinės linijų šiurkštumas sumažėjo.

Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plokštelėse.

3.16. lentelė. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plieno AISI316L plokštelėse

Bandinio Nr.	Pjovimo greitis, mm/min	Amperai, A	Ra vidurinė linija, μm	Rz vidurinė linija, μm
8	1312	66	1.125	4.323
9	989	66	1.244	5.985
10	697	66	1.687	3.458
11	394	66	1.245	5.745



3.16. grafikas. Santykis tarp pjovimo greičio ir paviršiaus šiurkštumo Ra ir Rz 5 mm storio plieno AISI316L plokštelėse

3.16 grafike matoma priklausomybė tarp paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje ir pjovimo greičio. Tyrimo metu naudotas 5 mm storio bandinys iš AISI316L nerūdijančio plieno. Srovės stipris pastovus. Keičiant pjovimo greitį aiškių Ra ir Rz linijų šiurkštumo pokyčių pjūvio vietoje nematyti.

3.7. Paviršiaus šiurkštumo matavimų rezultatų apžvalga

Matuojant medžiagos šiurkštumo pokyčius pjūvio vietoje pastebėta, jog parametrai, tokie kaip pjovimo greitis ir srovės stiprumas, daro įtaką šiurkštumui.

Kaip matoma iš grafikų 3.11 ir 3.12 mažinant pjovimo greitį 14 mm storio bandinio šiurkštumas didėja Ra ir Rz apatinėje matavimo linijoje, tačiau gauti matavimų rezultatai yra netikslūs. Esant pjovimo greičiui 1038 mm/min Rz apatinės linijos šiurkštumas yra 10,55 μm , sumažinus pjovimo greitį iki 855 mm/min šiurkštumas taip pat sumažėja iki 5,789 μm , toliau mažinant pjovimo greitį šiurkštumas didėja. Panašios tendencijos stebimos ir matuojant šiurkštumą Ra apatinėje linijoje. Norint gauti tikslius rezultatus tyrimą reiktų kartoti. Tyrimo metu pasirinkus pastovų pjovimo greitį ir keičiant srovės stiprumą matome, kad Ra ir Rz viršutinės, vidurinės ir apatinės linijų šiurkštumas mažėja didinant srovės stiprumą.

Tiriant 5 mm nerūdijančio plieno bandinio šiurkštumo pokyčius buvo keičiamas pjovimo greitis, o srovės stiprumas išliko pastovus. Iš grafiko 3.16 matome, kad pjovimo metu pasirinkus mažesnę greitį šiurkštumas didėja, tačiau rezultatai nėra tikslūs. Esant 1312 mm/min pjovimo greičiui Rz vidurinės linijos šiurkštumas 4,323 μm , sumažinus pjovimo greitį iki 989 mm/min šiurkštumas padidėjo iki 5,985 μm . pasirinkus dar mažesnę pjovimo greitį šiurkštumas sumažėjo. Panašios tendencijos matomos ir analizuojant Ra vidurinės linijos šiurkštumo matavimo rezultatus. Norint gauti teisingą išvadą apie šiurkštumo pokyčius keičiant pjovimo greitį ir naudojant pastovaus stiprumo srovę bandymą reiktų kartoti arba naudoti daugiau bandinių.

Tiriant 5 mm storio S235JRG2+N plieno šiurkštumo pokyčius keičiant pjovimo greitį ir išlaikant pastovų srovės stiprumą, matoma, Ra ir Rz vidurinės linijos vertės mažėja. Pjovimo greitį sumažinus nuo 1217 mm/min iki 418 mm/min šiurkštumas Ra vidurinės linijos šiurkštumas sumažėjo 1,6 kartus, o Rz vidurinės linijos šiurkštumas mažesnis 1,64 karto.

4. Rekomendacijos plazmos pjovimui

Plazminį pjovimą kaip ir kitus medžiagų apdirbimo procesus lemia daug tarpusavyje susijusių veiksnių. Dažniausiai prasta pjovimo kokybė atsiranda pasirinkus netinkamą pjovimo kampą, pjaunant ant kreivos plokštumos, esant paviršiaus šiurkštumui bei susidarant šlakui. Taip pat pjovimo kokybę lemia:

- Degiklio tipas;
- Dujų tipas;
- Medžiagos storis;
- Pjovimo srovės stiprumas;
- Antgalio dydis;
- Pjovimo greitis;
- Pjovimo aukštis;
- Dujų tipas.

Jei viršutinis dalies matmuo yra didesnis nei apatinis, gaunamas neigiamas pjovimo kampas. Šis defektas gali atsirasti dėl netinkamo sukalibruoto degiklio, sulinkusio ar deformuoto pjaunamo metalo, nusidėvėjusių pjovimo antgaliu ar per mažo pjovimo greičio.

Jei viršutinis matmuo yra mažesnis nei apatinis, gaunamas teigiamas pjovimo kampas. Šią kokybės ydą lemia netinkamai sukalibruotas degiklis, sulinkęs arba deformuotas metalas, nusidėvėję ar pažeisti pjovimo antgaliai, aukšta lanko įtampa, per didelis pjovimo greitis, netinkamas stovės stiprumas.

Šiurkštumas pjovimo vietoje atsiranda dėl nusidėvėjusių antgalių, pernelyg stipraus dujų srauto, didelio pjovimo greičio, mažos arba didelės pjovimo srovės. Šlako atsiradimas įtakoja per didelis arba mažas pjovimo greitis.

Norint tai išvengti reiktų:

1. Nedideliais etapais pakeisti dujų srautą ir slėgio parametrus;
2. Vienu arba keliais amperais didinti arba mažinti srovės stiprumą;
3. Keliais procentais didinti arba mažinti pjovimo greitį, kol pagerės sąlygos.

Išvados

1. Išanalizavus tyrimo metu gautus rezultatus matoma, jog pjaunant 5mm storio S235JRG2+N bandinį pjovimo greitį padidinus nuo 418mm/min iki 1217 mm/min kietumas padidėjo 1,3 karto. Pjaunant 14 mm storio bandinį iš S235JRG2 plieno, pjovimo greitį padidinus nuo 414 mm/min iki 1038 mm/min kietumas sumažėjo 1,1 kartus. Pjaunant 5 mm storio bandinį iš AISI316L plieno pjovimo greičiui padidėjus nuo 394 mm/min iki 1312 mm/min kietumas padidėjo 1 kartą.
Pjaunant pastoviu greičiu ir didinant srovės stiprumą nuo 84 A iki 190A bandinio, iš S235JRG2, kurio storis 14 mm kietumas padidėjo 1,1 kartus. Tiriant 5mm S235JRG2+N bandinį stiprumą padidinus nuo 37A iki 87A kietumas sumažėjo 1 kartą.
2. Atlikus tyrimą pastebėta, jog medžiagos terminio poveikio zonos ilgis keičiasi pasirinkus skirtą pjovimo greitį ir srovės stiprumą. Greitį sumažinus nuo 1038 mm/min iki 414 mm/min 14 mm S235JRG2 TPZ ilgis padidėja 4,5 kartus. Greitį sumažinus nuo 1217mm/min iki 418 mm/min TPZ padidėjo 2 kartus. Pjaunant pastoviu greičiu ir didinant srovės stiprį nuo 84 A iki 190 A S235JRG2 14 mm TPZ padidėjo 1,8 kartus. Pjaunant 5 mm S235JRG2+N bandinį srovės stiprį sumažinus nuo 87A iki 37A TPZ sumažėjo 1,4 kartus.
3. Analizuojant paviršiaus šiurkštumo pjūvio vietoje priklausomybę nuo pjovimo greičio ir srovės stiprumo tikslūs rezultatai nebuvo gauti, nes reikia atlikti daugiau bandymų. Pjaunant 14 mm S235JRG2 bandinį pjovimo greitį sumažinus nuo 1038 mm/min iki 855 mm/min šiurkštumas sumažėjo 1,7 kartus, tačiau toliau mažinant pjovimo greitį Ra ir Rz apatinėje linijoje šiurkštumas didėjo. Tačiau Ra ir Rz vidurinės ir viršutinės linijų šiurkštumai mažinant pjovimo greitį mažėjo. Pjaunant pastoviu greičiu ir keičiant srovės stiprumą nuo 84 A iki 190 A Ra ir Rz viršutinės, vidurinės ir apatinės linijų šiurkštumas mažėja.
4. Norint užtikrinti našų ir ekonomišką pjovimą, proceso eigą ir gauti geros kokybės detales reikia atidžiai ir tikslingai pasirinkti pjovimo parametrus. Svarbu teisingai pasirinkti srovės stiprumą, pjovimo greitį, dujų srautą ir slėgį. Taip pat reikia laiku tikrinti pjovimo greitį, keisti susidėvėjusias arba pažeistas detales, pvz. pjovimo antgalį.

Literatūra

1. Azon materials, "Plasma Cutting - The History of Plasma Cutting",
apsilankyta: 2017-04-12
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1061>
2. Nemchinsky V.A., Severance W.S. "What We Know and What We do Not Know About Plasma Arc Cutting" J. Phys. D: Appl. Phys., 39. 2006, 423-438.
3. IDA Control, "Plasma Cutting History", apsilankyta 2017-04-30
<http://www.idacontrol.com/articles.php?nid=2>
4. S. Chamarthi S., Reddy N. S., Elipey M. K., Reddy D.V. R. "Investigation Analysis of Plasma Arc Cutting Parameters on the Unevenness Surface of Hardox-400 Material" Procedia Engineering, Volume 64, 2013, 854-861
5. Plasma cutter, "Technical information of plasma cutting", apsilankyta 2017-05-12
<http://www.plasma-cutter.com/technical.htm>
6. TWI, "Cutting processes - plasma arc cutting - process and equipment considerations",
apsilankyta 2017-05-20
<http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-plasma-arc-cutting-process-and-equipment-considerations-051/>
7. Hypertherm, "Plasma technology", apsilankyta 2017-05-20
<https://www.hypertherm.com/en-US/learn/cutting-education/plasma-technology/>
8. Gonz´alez-Aguilar J., Sanjurjo C.P. "A Theoretical Study of a Cutting Air Plasma Torch" IEEE transactions on plasma science, Vol. 27, No.1. 1999
9. Weld guru, "Guide to Plasma Arc Cutting", apsilankyta 2017-04-20
<http://www.weldguru.com/plasma-arc-cutting.html>
10. Valiulis A.V. Suvirinimas ir terminis pjobovimas. Vilnius: Technika, 2008, pp. 165-168
11. The Fabricator, "Exploring dry cutting technologies", apsilankyta 2017-06-20
<http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/exploring-dry-cutting-technologies>
12. IAN D. HARRIS „Plasma Arc Cutting of Bridge Steels“ FabTech Edison Welding Institute Columbus, OH . 1997, psl. 1-95.

13. Salonitis K., Vatousianos S. “Experimental Investigation of the Plasma Arc Cutting Process” Procedia CIRP, Volume 3, 2012, 287-292
14. The Fabricator, “Plasma cutting stainless steel and aluminum”, apsilankyta 2017-06-18
<http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/plasma-cutting-stainless-steel-and-aluminum>
15. Esab, “Waterjet Cutting Process Basics” apsilankyta 2017-04-14
<http://www.esabna.com/us/en/education/blog/waterjet-cutting-process-basics.cfm>
16. Waterjets.Org, “Overview of waterjets”, apsilankyta 2017-04-18
http://www.waterjets.org/index.php?option=com_content&task=category§ionid=4&id=46&Itemid=53
17. Wang J., Wong W.C.K. “A Study of Abrasive Waterjet Cutting of Metallic Coated Sheet Steels” International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.39(6), 1999, 855-870
18. KMT, “Water Jet Cutting- A Technology on the Rise” apsilankyta 2017-05-18
http://www.kmt-waterjet.com/PDF/KMT_technology%20description_ENG_101019.pdf
19. Dok- Ing, “Laser sheet metal cutting, engraving and laser tube cutting”, apsilankyta 2017-08-18
http://www.doking.hr/sites/all/themes/adaptivetheme/at_doking/pdfs/services_brochure_1.pdf
20. TWI, “Cutting processes - laser cutting”, apsilankyta 2017-04-18
<http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-laser-cutting-052/>
21. Sohocutting, “Fiber VS CO2”, apsilankyta 2017-07-18
<http://www.sohocutting.com/wp-content/uploads/2014/12/FibervsCO2.jpg>
22. Milco Waterjet, “Advantages of Waterjet Cutting”, apsilankyta 2017-07-18
<http://www.milcowaterjet.com/advantages.php>
23. Tesco, “Standard metal cutting processes: laser cutting vs. water jet cutting”, apsilankyta 2017-06-02
http://www.teskolaser.com/waterjet_cutting.html
24. Krajcarz D. “Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting” Procedia engineering, Volume 69, 2014, 838-843
25. Microstep, “Plasma and oxy fuel machines”, apsilankyta 2017-10-02
http://www.microstep.eu/products/machines/plasma_and_oxyfuel_machines/pls/

26. B2B Metal, “S235JR Steel Grade, Mechanical Properties, Chemical Composition”
apsilankyta 2017-06-10
<http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/141/>
27. British stainless steel association, “Chemical compositions of AISI (ASTM/ASME) and
UNS austenitic stainless steel grades” apsilankyta 2017-06-12
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=18358>
28. Lam Plan, “Polishing machine SMARTLAM® 2.0”, apsilankyta 2017-09-10
<http://www.polishing-technology.com/en/product/polishing-machine-smartlamr-20>
29. Innovatests, “Universal Hardness Tester Verzus 750ccd”, apsilankyta 2017-09-10
<http://www.innovatest-europe.com/products/universal/verzus-750ccd>
30. Salutron, “Surface roughness tester TR200 / TR220”, apsilankyta 2017-09-10
<https://www.salutron.de/en/surface-roughness-tester/tr200-tr220/>

Priedai

1. Paviršiaus kietumo matavimų rezultatai

1B.1 lentelė. Nr. 1 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	174,34	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	162,24	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,30	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	156,84	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	152,36	HV/5	10x	5

1B.2 lentelė. Nr. 2 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	174,78	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	170,36	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	163,65	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	158,50	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	157,54	HV/5	10x	5

1B.3 lentelė. Nr. 3 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	173,42	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	170,98	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	169,77	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,49	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	154,90	HV/5	10x	5

1B.4 lentelė. Nr. 4 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	159,27	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	156,33	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	154,78	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	153,20	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	152,12	HV/5	10x	5

1B.5 lentelė. Nr. 5 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	199,88	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	185,36	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	176,33	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	163,31	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,36	HV/5	10x	5

1B.6 lentelė. Nr. 6 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	181,54	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	179,35	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	176,43	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	163,78	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,37	HV/5	10x	5

1B.7 lentelė. Nr. 7 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	182,21	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	169,47	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	147,59	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	145,67	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	139,45	HV/5	10x	5

1B.8 lentelė. Nr. 8 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	186,31	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	169,50	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	153,62	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	138,25	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	134,11	HV/5	10x	5

1B.9 lentelė. Nr. 9 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	188,69	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	175,30	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	149,56	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	138,37	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	136,88	HV/5	10x	5

1B.10 lentelė. Nr. 10 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	191,58	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	173,35	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	150,36	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	142,75	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	139,47	HV/5	10x	5

1B.11 lentelė. Nr. 11 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	195,28	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	161,46	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	148,83	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	135,20	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	137,38	HV/5	10x	5

1B.12 lentelė. Nr. 12 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	173,55	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	161,23	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	152,15	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	142,12	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	139,55	HV/5	10x	5

1B.13 lentelė. Nr. 13 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	185,96	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	162,19	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	145,27	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	135,20	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	133,66	HV/5	10x	5

1B.14 lentelė. Nr. 14 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	189,45	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	168,63	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	146,30	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	136,90	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	134,36	HV/5	10x	5

1B.15 lentelė. Nr. 15 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	192,27	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	162,36	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,25	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,12	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	158,30	HV/5	10x	5

1B.16 lentelė. Nr. 16 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	195,52	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	178,47	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	177,98	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	171,65	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	169,54	HV/5	10x	5

1B.17 lentelė. Nr. 17 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	178,57	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	169,41	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	164,27	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	162,58	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	159,57	HV/5	10x	5

1B.18 lentelė. Nr. 18 ruošinio kietumo matavimų rezultatai

Metai	Mėnesis	Metodas	Rezultatai	Skalė	Objektyvas	Jėga
2017	Spalis	VICKERS	187,25	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	184,85	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	181,79	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	167,62	HV/5	10x	5
2017	Spalis	VICKERS	164,35	HV/5	10x	5