



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

RIMANTAS KUŽULIS

**Rankiniu ir automatiniu būdu suvirintų siūlių
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovė

Doc. dr. Lina Kavaliauskienė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Baigiamasis magistro projektas
Studijų programa 621H30001

Autorius – Rimantas Kužulis (MEM – 3/1gr.)

Vadovė – doc. dr. Lina Kavaliauskienė

Recenzentas – doc. dr. P.Krasauskas

Katedros vedėjas – prof. dr. V. Grigas

Kaunas, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Rimantas Kužulis

(Studento vardas, pavardė)

Studijų programa 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Rankiniu ir automatiniu būdu suvirintų siūlių tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 05 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Vardenio Pavardenio** baigiamasis projektas tema „Rankiniu ir automatiniu būdu suvirintų siūlių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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:
Mechanikos inžinerijos
katedros vedėjas

prof. Vytautas Grigas

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), 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 darbu 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. Darbo tema _____ **Rankiniu ir automatinu būdu suvirintų siūlių tyrimas**

Patvirtinta 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas _____ Ištirti ir palyginti, skirtingais būdais, suvirintų jungčių savybes

3. Darbo struktūra _____ Darbą turi sudaryti: santrauka lietuvių ir anglų kalbomis; įvadas, kuriame išryškintas darbo tikslas, aktualumas, uždaviniai, tyrimo metodai ir priemonės; panaudotų literatūros šaltinių apžvalga; tyrimo metodo aprašymas; tyrimo rezultatai; išvados; literatūros sąrašas ir priedai.

4. Reikalavimai ir sąlygos _____ Tyrimo objektas – bandiniai suvirinti rankiniu ir automatinu suvirinimo būdais

5. Darbo pateikimo terminas 2015 m. birželio mėn. 1 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui _____ Rimantui Kužuliui

Užduotį gavau _____ Rimantas Kužulis

TURINYS

1. ĮVADAS	9
2. Suvirinimo būdai ir suvirinimo siūlių kontrolės metodai	10
2.1 SUVIRINIMO RAIDA	10
2.2 Suvirinimo būdų klasifikavimas	11
2.3 Lankinis suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose (TIG suvirinimas)	14
2.4. Nelydieji elektrodai	15
2.5 Volframiniai nelydieji elektrodai	15
2.7 Suvirintų sujungimų kokybės tikrinimo būdai neardant siūlės	19
2.7.1. Vizualinė apžiūra	19
2.7.2. Radiacinė suvirintųjų sujungimų kontrolė	20
2.8 Kontrolės metodai ardant suvirintą sujungimą	22
2.8.1 Mechaniniai bandymai	22
2.8.2 Kokybės kontrolė tempimo būdu ardant suvirintą sujungimą	24
2.8.3 Kokybės kontrolė lenkimo būdu ardant suvirintą sujungimą	26
2.8.4 Kokybės kontrolė tąsumo būdu ardant suvirintą sujungimą	29
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	31
3.1 Suvirinimo bandiniai	31
3.2 Plieninių vamzdžių P355 suvirintos rankiniu TIG būdu jungties tyrimas	32
3.2.1 Naudojama suvirinimo įranga	32
3.2.2 Rankiniam suvirinimui naudotos medžiagos	33
3.2.3 Bandinio suvirinimas rankiniu TIG būdu	34
3.2.4 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG tempimo bandymas	36
3.2.5 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG smūginio tąsumo bandymas	36
3.2.6 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG lenkimo bandymas	37
3.2.7 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG kietumo bandymas	38
3.2.8 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu metalografinis tyrimas	39
3.2.9 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu radiografinės kontrolė	40
3.2.10 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu skvarbiaisiais dažalais kontrolė	41
3.3 Plieninių plokščių P355 virintų automatiniu plazmos-TIG būdu jungties tyrimas	42
3.3.1 Naudojama suvirinimo įranga	42
3.3.2 Automatiniam suvirinimui naudotos medžiagos	42
3.3.3 Bandinio suvirinimas automatiniu plazma-TIG būdu	43
3.3.4 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu plazma-TIG tempimo bandymas	45

3.3.5 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu TIG smūginio tūsumo bandymas	46
3.3.6 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu TIG lenkimo bandymas.....	46
3.3.7 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu plazma-TIG kietumo bandymas.....	47
3.3.8 Suvirinimo siūlės virintos autoamtiniu būdu metalografinis tyrimas.....	48
3.3.9 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu radiografinės kontrolės tyrimas.....	49
3.2.10 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu skvarbiaisiais dažalais kontrolė.....	49
4. AUTOMATINIŲ IR RANKINIŲ BŪDU SUVIRINTOS SIŪLĖS SAVYBIŲ PALYGINIMAS	50
5. IŠVADOS.....	52
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	53

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

Rankiniu ir automatinio būdu suvirintų siūlių tyrimas

Rimantas Kužulis

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe yra tiriamos suvirinimo siūlės suvirintos automatinio ir rankiniu būdu.

Pirmoje darbo dalyje apžvelgiama suvirinimo būdai ir jų klasifikacija. Suvirinimo metu naudojamos pridėtinės medžiagos, bei apsauginės dujos. Aptariami tyrimo būdai, kuriais bus bandomos suvirintos siūlės.

Antra darbo dalis yra eksperimentinė. Šioje dalyje yra pateikiami skirtingais būdais suvirintos siūlės bandymo rezultatai, bei jų palyginimas grafiniu būdu.

Darbo pabaigoje pateiktos išvados padarytos po bandymų.

Pagrindiniai žodžiai: automatinis suvirinimas, stiprumo riba, apsauginės dujos.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND DESIGN
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Master final work

Analysis of manually and automatically welded seams.

Rimantas Kužulis

SUMMUARY

Master's Thesis investigated weld seams which are welded by automatic and manually.

The first part provides an overview of welding methods and their classification. Welding accessories used material and shielding gas. Considered investigative techniques that will be tested while welding seams.

The second part of the work is experimental. In this section are presented seams, that are welded in different ways, test results and compare them graphically.

In the end, the conclusions that are made after the test.

Key Words: welding, tensile strength, shielding gas

1. ĮVADAS

Daugelyje pramonės šakų labai plačiai taikomas metalų suvirinimas, apvirinimas ir pjovimas. Metalų suvirinimas yra vienas iš būdų juos neišardomai sujungti. Suvirinimo būdų yra ne vienas, bet jie visi turinčių vieną bendrą savybę: du suglausti metaliniai ruošiniai, detalės suvirinami, kai virinimo vietoje jų paviršius įkaitinamas, ištirpinamas arba įkaitinamas ir užliejamas ištirpintu metalu. Anksčiau vyravusį rankinį suvirinimą vis labiau išstumia pusautomatis ir automatinis suvirinimas. Suvirinami giminingi ir skirtingi metalai, jų lydiniai, metalai su kai kuriomis nemetalinėmis medžiagomis (keramika, grafitu, stiklu ir kt.) bei plastmasės. Pramonėje suvirinimas plačiai taikomas gaminant ir remontuojant įvairias detales ir konstrukcijas. Daugiausia suvirinama detalių iš metalo, todėl darbe ir bus kalbama apie metalų suvirinimo siūles, suvirintų rankiniu ir automatinio suvirinimo jų tyrimus.

Temos aktualumas. Taikant suvirinimą naujų gaminių gamybos procese, patrupmėja gamybos laikas ir galima sujungti sudėtingos konstrukcijos junginius. Šių laikų gamyboje, viskas gaminama pagal koki nors standartą arba pagamintas turi jį atitikti. Viena iš gamybos procedūrų, gavus užsakymą iš skandinavų šalių, reikia pasitvirtinti suvirinimo procedūrų apraša (SPA). Tai viena iš sąlygų gauti gamybos užsakymą. Kaip tik šiais metais AB „Astra“ pradėjo bendradarbiauti su norvegu firma step po schore, kuri, pompuoja nafta iš jūros dugno. AB „Astra“ įsipareigoja pagaminti 2 slėgines talpyklas iš juodo metalo kurio markė yra P355. Bet iš pradžių turime pasitvirtinti suvirinimo SPA.

Darbo tikslas:

Ištirti ir palyginti, skirtingais suvirinimo būdais suvirintų jungčių savybes.

Šio darbo uždaviniai:

1. Bandinius suvirinti naudojant rankinį ir automatinį suvirinimo būdais
2. Atlikti suvirintų jungčių bandymus:
 - Lenkimo
 - Smūginio tūsumo
 - Tempimo
 - Kietumo
3. Iš gautų rezultatų nustatyti kuriuo suvirinimo būdu suvirintos jungtys atitinka įmonės AB mašinos gamykla „Astra“ keliamus reikalavimus.

2. Suvirinimo būdai ir suvirinimo siūlių kontrolės metodai.

2.1 SUVIRINIMO RAIDA

Suvirinimo istorija prasidėjo prieš kelis tūkstančius metų. Archeologiniais tyrinėjimais nustatyta, kad kartu su metalų apdirbimu kalimu buvo naudojamas ir suvirinimas.

Tripolio gentys, gyvenusios Ukrainos teritorijoje ir Beserabijoje 3-4 tūkst. metų prieš naująją erą, jau naudojo kalviškąjį vario suvirinimą (suvirinimas slėginiu būdu). Ypač plačiai neišardomas metalų sujungimas buvo taikomas geležies amžiuje. Geležį gaudavo iš rūdos, sukepant ją. Daug kartų perkaland sukepintą masę pasišalindavo šlakas, o atskiros geležies dalelės susijungdavo. Todėl ir buvo pastebėta, kad geležį galima sujungti įkaitinus ir gerai suplakus.

X-XIII amžiuje geležies ir plieno dirbinių gamybai plačiai naudojo kalviškąjį suvirinimą. Tobulėjo ir suvirinimui giminingas procesas- litavimas.

XIX amžiuje kalviškasis suvirinimas buvo modernizuotas. Rankinis kalimas pakeičiamas mašininu, stambių detalių sujungimo vietos apspaudžiamos hidrauliniams presams, vietoj žaizdrų naudojamos kaitinimo krosnys. Kalviškasis suvirinimas plačiai taikomas vamzdžių, įrankių, ginklų gamybai ir kt.

XIX amžiaus pabaigoje fizikos ir elektrotechnikos pasiekimų įtakoje buvo atrasti nauji metalų suvirinimo būdai. Šilumos šaltiniu panaudojamas elektros lankas, kurį 1802 m. atrado rusų mokslininkas akademikas V. Petrovas. 1821m. anglų fizikas M. Faradėjus ištyrė elektromagnetinės indukcijos reiškinius, numatė elektros variklio ir generatoriaus veikimo principus. 1870m. Z. Gramas (Prancūzija) sukūrė žiedinį inkarą elektromagnetinei mašinai, kuris leido mechaninę energiją paversti elektrine ir atvirkščiai. Metalų suvirinimui buvo panaudotas elektros lankas, degantis tarp grafitinio elektrodo ir suvirinamojo lanko. Vėliau lankiniam suvirinimui buvo panaudotas metalinis išsilydantis elektrodas.

Profesorius E. Tomsonas (JAV) 1877m. užpatentavo elektrovaržinį sandūrinį suvirinimo būdą, kur ruošinių kontaktiniai paviršiai įkaista pratekanti elektros srovei.

Pirmą kartą elektrinį suvirinimą pademonstravo Paryžiaus parodoje 1881m. rusų inžinierius N. Benardosas. Jis 1887m. užpatentavo taškinio suvirinimo įrenginį, kurio elektrodai-angliniai strypai.

Lietuvoje suvirinimas jau buvo taikomas tarpukario laikotarpiu. Daugiausia tai buvo dujinis suvirinimas acetileno- deguonies liepsna. Prieš antrąjį pasaulinį karą buvo naudojamas ir elektrinis suvirinimas, bet gana retai. Plačiai elektrinis suvirinimas pradėtas naudoti tik po karo statyboje ir pramonėje. [1].

2.2 Suvirinimo būdų klasifikavimas

Metallų suvirinimo būdai gali būti klasifikuojami įvairiai: pagal metallo įkaitinimui naudojamą energiją rūši, pagal metallo būvį suvirinimo metu ir pan. Labiausiai paplitusi ir svarbiausia suvirinimo būdų klasifikacija yra pagal vartojamos energijos rūši.

Atsižvelgiant į energijos rūši, suvirinimo būdai skirstomi šitaip: mechaninis, cheminis, elektrinis, elektromechaninis, cheminis mechaninis.

Suvirinant mechaniniu būdu, sujungiamas plastiškai deformuotas metalas. Šiai grupei priklauso šaltasis, trintinis ir detonacinis suvirinimas.

Cheminio suvirinimo procese cheminė energija paverčiama šiluma. Suvirinimo zonoje metalas išsilydo. Jam sustingus, gaunamas susijungimas. Cheminio suvirinimo pavyzdys- dujinis suvirinimas.

Elektrinio suvirinimo procese elektros energija paverčiama šiluma. Elektros energiją paversti šiluma galima elektros lanku, leidžiant elektros srovę per išlydytą šlaką, sustabdžius greitai lekiančių elektronų srautą, indukuojant metale srovę. Sujungimo zona kaitinama tol, kol išsilydo.

Elektromechaninio suvirinimo procese metalas įkaitinamas iki plastinio būvio, paskui spaudžiant iš išorės, įvyksta plastinė deformacija- metalas susijungia. Būdingas šio suvirinimo būdo pavyzdys- kontaktinis suvirinimas.

Suvirinant cheminiu mechaniniu būdu, sujungimas gaunamas metalą įkaitinus iki plastinio būvio (šiluma gaunama vykstant cheminėms reakcijoms) ir paskui deformavus. Šiai grupei priklauso kalviškasis, dujinis presinis suvirinimas ir kt.

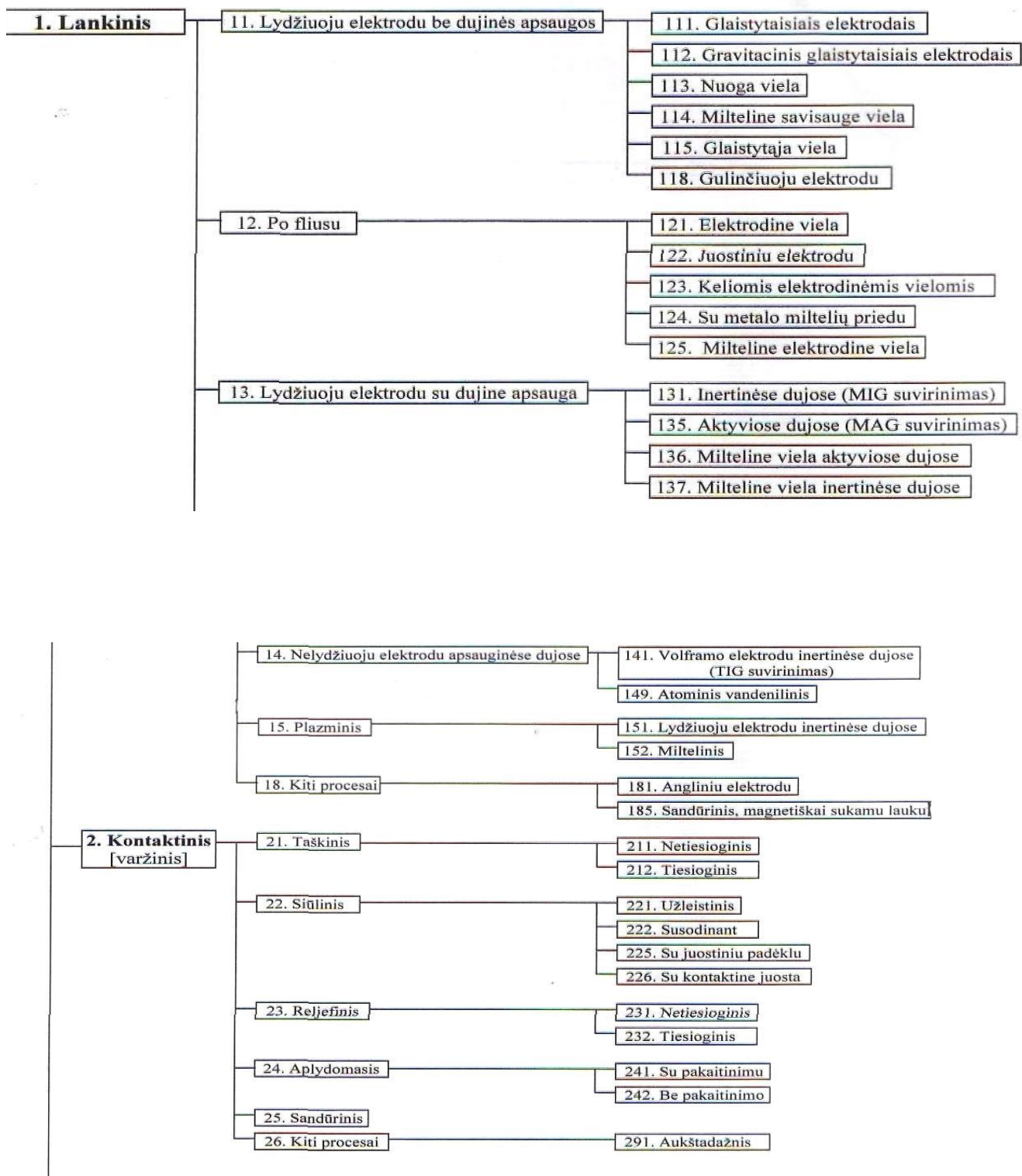
Atsižvelgiant į medžiagos būklę visi suvirinimo būdai skirstomi į slėginį ir lydumąjį suvirinimą.

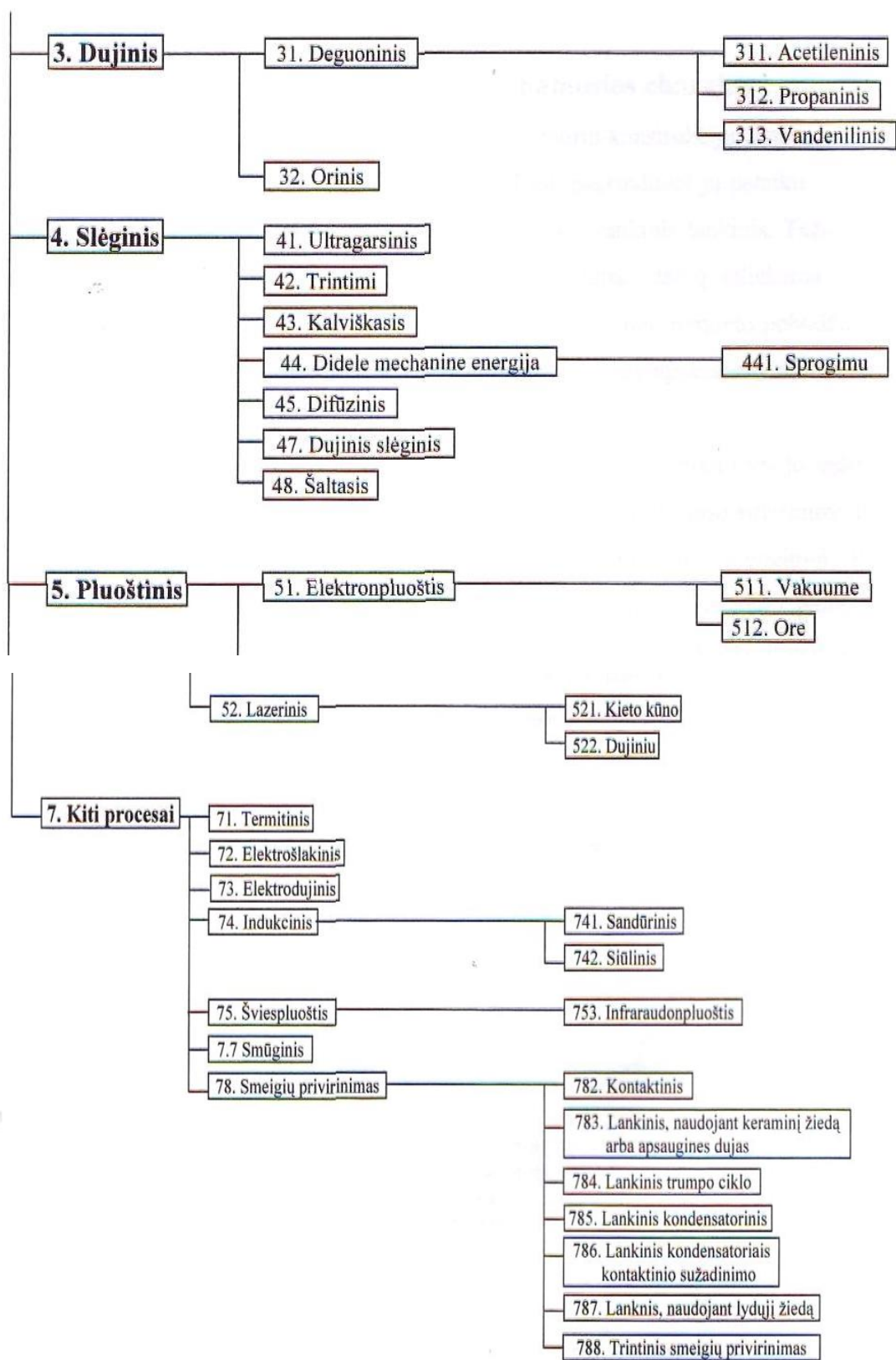
Slėginio suvirinimo būdai yra šie: kontaktinis, dujinis presinis, terminis presinis, ultragarsinis, detonacinis, šaltasis, suvirinimas trintimi. Slėginio suvirinimo privalumai: neaukšta įkaitinimo temperatūra, energijos sutaupymas, mažesnės deformacijos. Tačiau šiam suvirinimo procesui reikalinga sudėtingesnė aparatūra, suvirinimo zoną reikia apsaugoti nuo oksidacijos ir užterštumo.

Lydomojo suvirinimo būdai yra šie: lankinis (rankinis, automatinis po flisu, apsauginėse dujose, lankine plazma), elektrošlakinis, suvirinimas elektronų spinduliais, dujinis suvirinimas. Palyginus su slėginiu suvirinimu, lydomas suvirinimas yra kur kas universalesnis. [2]

Remiantis [3] šaltiniu suvirinimo procesai klasifikavami taip, kaip parodyta 2.1 pav.

SUVIRINIMAS

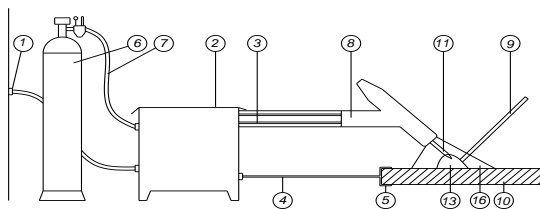




2.1 pav. Suvirinimo būdų klasifikavimas

2.3 Lankinis suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose (TIG suvirinimas)

Naudojant TIG (Tungsten Inert Gas) būdą suvirinimas atliekamas inertinių (argono arba helio) dujų aplinkoje nelydžiuoju (dažniausiai volframo) elektrodu, visose erdvinėse padėtyse užtikrinama labai aukšta suvirintos jungties kokybė. Šio būdo pagrindiniai trūkumai – tai labai mažas darbo našumas bei gana didelė įrenginių ir apsauginių dujų kaina. Be to, be pagrindinio metalo TIG būdu suvirinamos tik plonos detalės. Suvirinant storesnes detales būtinas pridėtinio metalo panaudojimas. Todėl TIG dažniausiai naudojamas plonasienių konstrukcijų iš legiruoto plieno, titano ir aliuminio lydinių suvirinimui.



2.2 pav. TIG suvirinimo postas. 1 – tinklas; 2 – lanko maitinimo šaltinis; 3 – kabelis; 4 – masės kabelis; 5 – gnybtas; 6 – dujų balionas; 7 – dujų tiekimo šlangas; 8 – degiklis; 9 – pridėtinės vielos strypelis; 10 – suvirinama detalė; 11 – nelydus volframinis elektrodas; 13 – elektros lankas; 16 – apsauginės dujos;

Virinant TIG būdu lankas dega tarp nelydaus volframinio elektrodo ir gaminio. Virinant TIG būdu 70 % šilumos išsiskiria ant anodo ir 30 % ant katodo. Todėl virindami nuolatine srove naudojame tik tiesioginį poliškumą (minusas ant elektrodo, plusas ant gaminio). Virinant kintama srove, šiluma tarp elektrodo ir detalės pasiskirsto vienodai po 50 %. TIG suvirinime naudojame šaltinius su krentančia voltamperine charakteristika. Lankas uždegamas nekontaktiniu ir kontaktiniu būdais.

Invertoriniai šaltiniai

Pastaruoju metu gamybos pramonėje vis dažniau naudojami nauji suvirinimo šaltiniai, kurių pagrindą sudaro aukštadažniai invertoriai. Šiais invertoriais galima gauti suvirinimo srovę praktiškai bet kokios moduliacijos.

Impulsinė srovė plačiai taikoma virinti suvirinimo pusautomatais ir automatais. Šiuo metu impulsinė srovė dažnai naudojama suvirinime nelydžiuoju elektrodu (TIG) kadangi, lyginant su pastovia , nuolatine srove, turi daug privalumų. Tai galimybė gauti stabilų suvirinimo procesą

vertikaliajoje ir lubinėje padėtyje, reguliuoti suvirinamų detalių terminį ciklą, išvengti įtrūkių, sumažinti liekamųjų įtempių ir deformacijų lygį. [4]

2.4. Nelydieji elektrodai

Nelydieji elektrodai skirstomi priklausomai nuo medžiagos, iš kurios yra pagaminti. Elektrodai yra gaminami iš gryno volframo, volframo su priemaisomis, lantano ir itrio. Visos šios medžiagos priskiriamos prie sunkiai lydžių medžiagų. [5]

2.5 Volframiniai nelydieji elektrodai

Nelydieji volframo elektrodai naudojami virinant inertinių apsauginių dujų aplinkoje ir plazminiam suvirinimui. Dėl suvirinimo lanko aukštos temperatūros, siekiančios prie elektrodų 4000 °C, nelydieji elektrodai turi būti gaminami iš metalų su galimai aukštesne lydymosi temperatūra. Šiuos reikalavimus atitinka volframas, kuris taip pat užtikrina didelę termoelektrinę emisiją ir yra pagrindiniu metalu nelydžių elektrodų gamybai. Kad padidinti elektronų emisiją volframo elektrodai gamybos metu legiruojami dažniausiai: torio oksidu ThO₂, cirkonio oksidu ZrO₂, lantano oksidu LaO₂, cerio oksidu CeO₂. Legiruojančių elementų efektas labiau pasireiškia didesnių skersmenų elektrodams. Tai paaiškinama tuo, kad, kai didesnis elektrodo skersmuo, didesnis elektrodo galo plotas padengtas padidintos emisijos plėvele. Legiruojančios elementai padidina elektrodų tarnavimo laiką dėl didesnės elektronų emisijos, geresnis lanko uždegimas ir stabilumas. Taip volframo legiravimas šiais oksidais sumažina volframo intarpų siūlės metale riziką. Normos EN 26848: 1997 nusako reikalavimus elektrodams, skirtiems virinti TIG būdu, plazminiam suvirinimui ir pjovimui. Volframinių elektrodų žymėjimas, sudėtis ir spalvinis žymėjimas pateikti 2.1 lentelėje, o jų išmieros 2.2 lentelėje.

2.1 lentelė. Žymėjimas, cheminė sudėtis ir spalvinis volframinų elektrodų žymėjimas pagal EN 26848: 1997

Žymėjimas	Cheminė sudėtis			Spalvinis žymėjimas
	Oksidų priedai	Priemaišos %	Volframas %	
	Kiekis % ir rūšis			
WP	-	≤0,20	99,8	žalia
WT4	0,35-0,55 ThO ₂	≤0,20	likęs	žydra
WT10	0,80-1,20 ThO ₂	≤0,20	likęs	geltona
WT20	1,70-2,20 ThO ₂	≤0,20	likęs	raudona
WT30	2,80-3,20 ThO ₂	≤0,20	likęs	violetinė
WT40	3,80-4,20 ThO ₂	≤0,20	likęs	oranžinė
WZ3	0,15-0,50 ZrO ₂	≤0,20	likęs	bronzinė
WZ8	0,70-0,90 ZrO ₂	≤0,20	likęs	balta
WL10	0,90-1,20 LaO ₂	≤0,20	likęs	juoda
WC20	1,80-2,20 CeO ₂	≤0,20	likęs	pilka

2.2 lentelė. Volframinų elektrodų išmieros pagal normas EN 26848

Skersmuo mm	0,5	1,0	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10
Skersmens nukrypimai mm	± 0,05						± 0,1				
Ilgis, mm	50	-	75	-	150	-	175				
Ilgio nukrypimai, mm	± 1										

Volframinų elektrodų žymėjimas susideda iš dviejų raidžių ar dviejų raidžių ir skaičiaus, kurie reiškia 1 lentelė: W – volframas; T, Z, L, C nusako legiruojantį oksidą (pirma metalo oksido raidė); P grynas volframas. Skaičiai reiškia legiruojančio oksido kiekį % daugintą iš 10. Elektrodo tipo, skersmens, srovės stiprumo parinkimas priklauso nuo suvirinamo ar pjaunamo

metalo ir jo storio. Leistina elektrodams suvirinimo srovė priklauso nuo kelių aplinkybių. Nuo srovės rūšies ir poliškumo, apsauginių dujų sudėties, degiklio aušinimo būdo oru ar skysčiu, elektrodo iškyšos ar suvirinimo padėties.

2.3 lentelė. Šilumos pasiskirstymas ant gaminio ir elektrodo, kai skirtingas srovės poliškumas

	+	-	~
Volframinis elektrodas	65%	35%	50%
Gaminys	35%	65%	50%

Didžiausias suvirinimo srovės stiprumas tam tikro elektrodo skersmeniui leidžiamas nuolatinė tiesioginio poliškumo srove, mažesnis naudojant kintamąją srovę, ir dar mažesnis atvirkščio poliškumo nuolatinę srovę. Kai virinant TIG būdu suvirinimo srovės stiprumas gerai parinktas, lankas dega stabiliai ant viso elektrodo galo ploto. Elektrodo galas įkaista beveik iki lydymosi temperatūros. Kai suvirinimo srovės stiprumas tam tikro skersmens elektrodams per didelis, elektrodas perkaista, jo galas išsilydo ir išlydyto metalo lašai pereina į siūlės metalą. Elektrodo galą reikia valyti nuo virinamo metalo lašų ir užgalasti bukesniu kampu nei mažesniame srovės stiprumui. [6]

2.6 Apsauginės dujos

Apsauginių dujų svarbiausia paskirtis – užtikrinti suvirinimo zonos apsaugą nuo aplinkos poveikio. Parenkant apsaugines dujas, įvertinama tokius kriterijus, kaip lanko degimo stabilumo palaikymas, poveikis suvirinimo zonos įkaitinimo intensyvumui ir dujų kaina. Naudojamas apsaugai dujas galima skirstyti į tris grupes: aktyvios, inertinės ir jų mišiniai.

Aktyviosios apsauginės dujos – tai dujos, galinčios užtikrinti patikimą apsaugą ir kartu reaguojančios su suvirinamu metalu ir tirpstančios jame. Suvirinant plieną naudojamos CO₂ dujos. Šios dujos aktyviai apsaugo suvirinimo zoną nuo atmosferos poveikio ir užkerta kelią suvirinamo metalo įsotinimui azotu. Šių dujų pagrindinis privalumas – jų pigumas. Tačiau anglies dvideginis reaguodamas su vonelės metalu oksiduoja jį ir įsotina anglimi. Šių procesų rezultatas – padidėjęs siūlės metalo poringumas ir sumažėjusios mechaninės savybės. Tokių trūkumų galima išvengti, naudojant tam tikros sudėties (siliciomanganinę) elektrodinę vielą. Tačiau yra dar vienas trūkumas: suvirinant CO₂ apsaugoje labai sunku pasiekti srovinių metalo pernešimą ir net naudojant atvirkščio poliškumo didelio tankio elektros srovę yra padidėjęs metalo ištaškymas. Išlekiantys iš suvirinimo zonos išlydyto metalo lašeliai prilimpa arba prisivirina prie suvirinamos detalės paviršiaus, degiklio

antgalio ir t.t. Tai pablogina vielos ir apsauginių dujų tiekimą bei sugadina gaminio išvaizdą, sumažėja prilydymo koeficientas, padidėja išlaidos, kadangi reikia papildomai valyti siūlę ir gaminį po suvirinimo, sumažėja proceso našumas.

Inertinės dujos – tai dujos, kurios chemiškai nereaguoja su suvirinamais metalais ir praktiškai juose netirpsta. Iš inertinių dujų suvirinimui naudojami argonas, helis ir jų mišiniai. Argonas yra sunkesnis už orą, todėl užtikrina gerą suvirinimo zonos apsaugą.

Helis, kaip ir argonas, chemiškai inertiškas, bet palyginus su argonu užtikrina intensyvesnę suvirinimo zonos įkaitimą. Tačiau helis lengvesnis už orą. Tai apsunkina suvirinimo vonelės apsaugą ir reikalauja gerokai didesnių apsauginių dujų sąnaudų. Be to, helis labai brangus, todėl jo panaudojimas konstrukcinių plienų suvirinimui neracionalus.

Inertinių dujų mišiniai nors užtikrina patikimą apsaugą, tačiau taip pat yra labai brangūs.

Dėl daugelio technologinių privalumų konstrukcinių plienų suvirinimui plačiausiai naudojami inertinių ir aktyvių dujų mišiniai. Palyginus su aktyviomis dujomis, mišiniai mažiau reaguoja su suvirinamu metalu, tačiau užtikrina stabilų lanko degimą ir palankų išlydyto metalo pernešimą. Palyginus su grynu argonu, dujų mišiniai turi privalumų suvirinant konstrukcinius plienus.

Suvirinimui dažniausiai naudojamas argonas. Argonas yra vienatomės bespalvės, neturinčios kvapo inertinės dujos, nereaguojančios chemiškai su kitais elementais. Argonas gaunamas kaip pašalinis produktas, išskiriant iš oro deguonį ir azotą. Argone paprastai yra azoto, deguonies, anglies dioksido ir drėgmės priemaišų, nuo kurių blogėja privirinto metalo savybės. Plienų suvirinimui naudojant gryną argoną kaip apsaugines dujas, pasireiškia nestabilumas, katodinės dėmės ant suvirinamo gaminio paviršiaus.

Kadangi ir inertinės, ir aktyvios dujos turi trūkumų geriausia rinktis jų mišinius. Inertinių ir aktyvių dujų mišiniai plačiai naudojami plienų suvirinimui lydžiaisiais elektrodais, pirmiausia atsižvelgiant į jų technologiją. Lyginant su aktyviomis dujomis, mišinio cheminis poveikis metalo suvirinimo voneliui yra mažesnis, didelis lankinio proceso pastovumas, tai patogesnis būdas pernešti elektrodo metalą per lanką. Nedidelis kiekis deguonies argone gerina lanko degimo pastovumą, gerina suvirinimo darbų kokybę. Deguonies buvimas lanko atmosferoje padeda smulkesniais lašeliais pernešti elektrodo metalą. Deguonis reikšmingai sumažina paviršinius įtempius. Sumažina atskirų metalo lašų susidarymą ir sumažina jų dydį.

Plačiausiai naudojamos apsauginės dujos yra argonas. Jos saugo skysto metalo vonelę nuo kenksmingo atmosferos poveikio. Pagal sudėtį argonas yra pirmos rūšies. Jis pristatomas balionais. Argono dujų sudėtis pateikiama 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Argono dujų sudėtis

Dujų pavadinimas	Aukščiausios rūšies sudėtis, %	Pirmos rūšies sudėtis, %
Argonas	Ne mažiau kaip 99,99	Ne mažiau kaip 99,98
Deguonis	Ne daugiau kaip 0,0007	Ne daugiau kaip 0,002
Azotas	Ne daugiau kaip 0,006	Ne daugiau kaip 0,01
Drėgmė g/m ³ esant normaliam slėgiui	Ne daugiau kaip 0,007	Ne daugiau kaip 0,01

[4]

2.7 Suvirintų sujungimų kokybės tikrinimo būdai neardant siūlės

2.7.1. Vizualinė apžiūra

Prieš pradėdant taikyti bet kokį kontrolės metodą iš pradžių atliekama vizualinė apžiūra.

Vizualinės apžiūros metodas – pats seniausias, paprasčiausias ir pigiausias; be to, jis universalus, operatyvus ir patikimas. Jį galima taikyti ir mechaninei sistemai veikiant, ir ją sustabdžius. Nuo pirminės neardančiosios kontrolės dažniausiai pradedamas bet kurios mechaninės sistemos diagnostavimas. Kalbant apie vizualinę kontrolę, dažnai šiam terminui suteikiama platesnė prasmė, nes apžiūros metu paprastai įvertinama ir kitais žmogaus pojūčiais (klausa, lytėjimu, uosle, skoniu) gaunama informacija.

Vizualinės apžiūros metodo efektyvumas gana daug priklauso nuo operatoriaus patyrimo ir sugebėjimo sukcentruoti dėmesį į atskiras detales. Didžiausi vizualinės apžiūros metodo trūkumai – palyginti nedidelė skiriamoji geba, sunku apžiūrėti sunkiai prieinamas vietas, mažas jautrumas, esant nepakankamam apšvietumui bei visai neįmanoma apžiūrėti objekto vidinių ertmių bei posistemių. [7]

Vizualinės apžiūros metodu nustatomi defektai: Formos ir matmenų defektai – siūlės per visą ilgį yra ne vienodo aukščio, pločio, netolygi krypris, didelis žvynuotumas; plyšiai – nevientisumai, atsirandantys irstant tam tikrai kieto metalo vietai, aušimo metu arba veikiant įtempiams. Plyšiai gali būti makroskopiniai arba mikroskopiniai. Priklausomai nuo temperatūros, kurioje susidaro plyšiai, skiriami karštieji ir šaltieji plyšiai. Vizualinės apžiūros metu pastebimi tik karštieji, nes jie susidaro metalo paviršiuje; įpjovimai – tai įduba tarp pagrindinio ir siūlės metalo. Virinant kampines siūles įpjovos atsiranda dėl elektrodo poslinkio į vertikalią sienelės pusę. Virinant sandūrinę siūlę atsiranda dėl didelių srovių, lanko įtampos ir suvirinimo greiči; išorinis oksidavimas – tai oksidų plėvelė ant metalų paviršiaus. Ji atsiranda kai prasta apsauginių dujų

kokybė, netinkamas debitas, blogas briaunų paruošimas, elektrodo iškyšos, suvirinimo režimų; pradeginimas – kiaurymė suvirinimo siūlėje, ji atsiranda virinant per didelėmis srovėmis, per maža suvirinamų briaunų šaknies briaunelė ir nevienodas pagal ilgį atstumas tarp jų, per mažas pagrindinio metalo storis; užtekėjimai – atsiranda dėl nepakankamo suvirintojų kvalifikavimo, nekokybiškų suvirinimo medžiagų, mažos suvirinimo srovės, didelio suvirinimo greičio ir vielos padavimo greičio, oksidų ant briaunų; krateriai – atsiranda dėl staigaus lanko nutraukimo suvirinimo pabaigoje; atviros poros – tai įdubos suvirinimo siūlėje. Jos atsiranda iš subėgimo tuštumos ir didelės poros.

Defektai skirstomi į tris grupes B, C, D. B aukščiausi reikalavimai, D elementarūs reikalavimai. [8]

2.7.2. Radiacinė suvirintųjų sujungimų kontrolė

Radiacinė defektoskopija yra metodas, skirtas medžiagų, peršviečiant jas sujungimų ir gaminių kokybei nustatyti jonizuojančiuoju spinduliu.

Pagrindinės radiacinės defektoskopijos kryptys, plačiausiai taikomos gamyboje, yra rentgeno ir gama defektoskopijos. Skirtumas tarp rentgeno ir gama defektoskopijų yra tas, kad naudojami skirtingi spinduliavimo šaltiniai, tačiau dėl bendrų spinduliavimo registravimo būdų ir bandymų tikslų jie turi bendrą metodiką ir bendrą kontrolės gamybos sąlygomis atlikimo technologiją.

Rentgeninis ir γ -spinduliavimas skiriasi vienas nuo kito elektromagnetinės bangos ilgiu. Visos elektromagnetinio spinduliavimo rūšys turi tiek bangų, tiek ir korpuskulinių savybių. Trumpėjant bangos ilgiui λ , didėja spinduliavimo energija E. Todėl šalia bangų savybių ima vyrėti korpuskulinės savybės, o spinduliavimo skvarbumas ima didėti.

Rentgeno spinduliavimo šaltinis yra rentgeno vamzdeliai. Rentgeno spinduliavimas generuojasi stabdant ant anodo A elektronus, skleidžiamus katodu K. Elektronų energija priklauso nuo įtampos U, tiekiamos į elektrodus. Didėjant anodinei įtampai U, rentgeno spinduliavimo bangų ilgiai mažėja.

Gama spinduliavimas yra branduolių vidaus virsmo rezultatas ir atsiranda branduoliui pereinant iš vieno energetinio būvio į kitą. γ -spinduliavimo šaltiniai gali būti natūralūs ir dirbtiniai radioaktyvieji izotopai. Defektoskopijos praktikoje paprastai naudojami dirbtiniai izotopai (Ir-192, Tm-170, Cs-137, Co-60).

Rentgeno ir gama spindulių perėjimas pro medžiagą. Visi radiacinės defektoskopijos metodai pagrįsti rentgeno ir gama spindulių sugebėjimu prasiskverbti pro medžiagą. Prasiskverbiant rentgeno ir γ spinduliams pro medžiagą, vyksta sudėtingas tarpusavio

procesas. Kiekybiškai jis aprašomas linijiniu laisvumo koeficientu μ , nusakančiu spinduliavimo intensyvumo sumažėjimą perėjus 1 cm storio sugėrikį.

Atsižvelgiant į defektoskopinės informacijos iššifravimo būdą, išskiriama:

- a) radiografija – gaminio vidaus struktūros statinio matomo vaizdo gavimo metodas rentgeno juostoje (juostinė radiografija) arba puslaidininkinėje plokštelėje su vėlesniu spausdinimu ant paprasto popieriaus (kseroradiografija);
- b) radiodefektoskopija – matomo dinaminio vidinės gaminio struktūros vaizdo, peršviesto jonizuojančiuoju spinduliavimu gavimas ekrane;
- c) radiometrinė defektoskopija – informacija apie vidinę struktūrą gaminio, peršviečiamo jonizuojančiuoju spinduliavimu, gavimo metodas elektriniu spindulių pavidalu.

Nuotraukų šifravimo ir peršviesto suvirinimo sujungimo kokybės įvertinimas.

Rentgenogramos iššifruojamos negatoskopų pagalba. Kadangi rentgeno juosta yra detektorius su aukštu savuoju triukšmu, atsiradusiu dėl emulsijos užliejimo netolygumų, nekokybišku ryškinimu ir t.t., tai būtina mokėti atskirti juostos defektus nuo gaminio defektų. Abejotiniais atvejais reikia pakartotinai peršviesti arba iš karto naudoti kasetes, užtaisytas dviem juostom. Pastaruoju metu kiekvienoje gamybos šakoje egzistuoja savos taisyklės ir normos, reglamentuojančios tiek defektingumo lygį, tiek ir reikalavimus, keliamų pačios programos atlikimo kokybei.

Apskritai nuotrauka turi atitikti tokius reikalavimus:

- a) Radiogramoje turi būti matoma visa siūlė, priesiūlinė zona, kurios plotis nustatomas pagal kontrolės taisykles;
- b) Nuotraukoje turi būti aiškiai matomi markiravimo ženklai ir jautrumo etalonai.
- c) Nuotraukoje neturi būti dėmių, įdrėskimų, pirštų atspaudų, nutekėjimų, baltų nuosėdų dėl blogo praplovimo ir kitų juostos bei apdirbimo defektų.

Radiogramose pastebimi šie defektai:

- 1) išilginiai ir skersiniai įtrūkimai užlietame ir pagrindiniame metale, kurių kryptys sutampa su peršvietimo kryptimi esant kampams nuo 0° iki $10-12^\circ$.
- 2) Ištisiniai ir su pertrūkais neįvirinimai;
- 3) Volframinio ir šlakiniai intarpai ;
- 4) Poros ir dujiniai intarpai;
- 5) Įpjovimai, įkirpimai, išdeginimai. [9]

2.8 Kontrolės metodai ardant suvirintą sujungimą

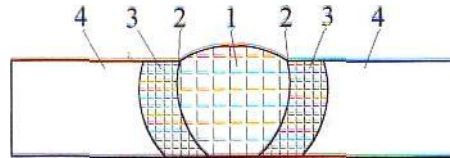
2.8.1 Mechaniniai bandymai

Metalų ir jų lydinių savybės priklauso nuo cheminės sudėties ir struktūros. Todėl pradžioje panagrinėsime metalo ir suvirintos siūlės struktūrą.

Suvirinant lydymuoju būdu, detalių briaunos apsilydo, susidaro skysto metalo vonelė. Skystis susiliečia su neišsilydžiusiu metalu, atsiranda išsilydžiusio ir neišsilydžiusio metalo bendras metalinis ryšys. Nustojus kaitinti, skystas metalas kristalizuojasi pirmiausia toje zonoje, kurioje yra skystoji ir kietoji fazės, t.y. susidaro bendri kristalai, paskui kristalizuojasi likusioji dalis. Kristalizuojantis skystam siūlės metalui, susidaro stulpeliniai kristalai.

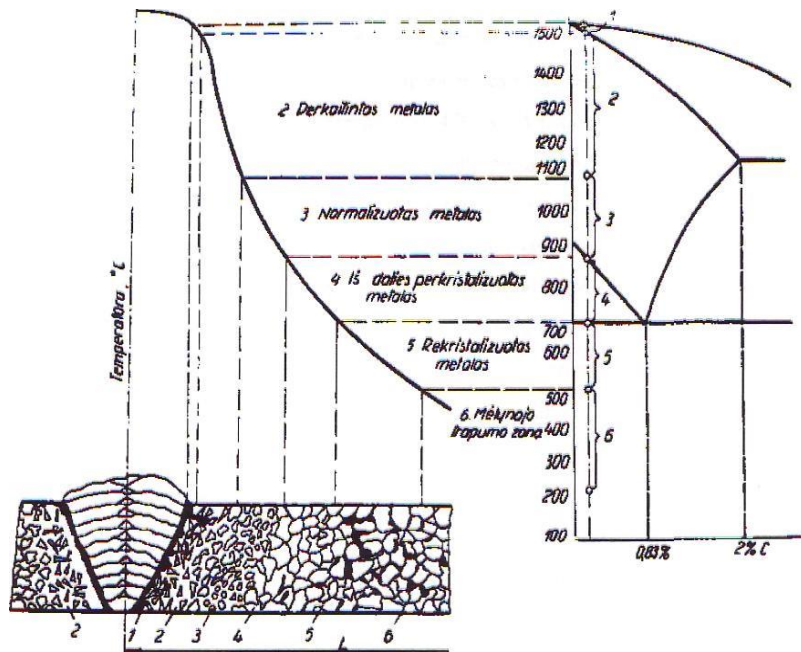
Lydymu suvirinto metalo sujungimas susideda iš keturių zonų (2.3 pav.) :

- 1) siūlės metalo;
- 2) suvirinimo;
- 3) terminio poveikio;
- 4) pagrindinio metalo.



2.3 pav. Suvirinto sujungimo zonos

Matome, kad veikiant temperatūrai struktūra kinta, susidaro suvirinimo siūlės temperatūros poveikio srities struktūra (terminio poveikio zona). Ji susideda iš 6 atskirų zonų (2.4 pav.)



2.4 pav. Suvirinimo siūlės ir temperatūros paveiktos srities struktūra

Pirmojoje (nevisiško išsilydymo) zonoje plienas suvirinant įkaista iki aukštų temperatūrų. Metalas tarp soliduso ir likviduso linijų nevisiškai išsilydo. Ataušus skystajai fazei, susiformuoja zona, pasižyminti cheminiu ir struktūriniu nevienodumu. Susilydimo zona yra labai plona, kelių mikronų platumo, tačiau ji nulemia suvirinto sujungimo kokybę ir savybes, pvz. turi didelę įtaką sujungimo stipriui. Metalo struktūrinis ir cheminis nevienodumas iššaukia įtempius, todėl pablogėja sujungimo mechaninės savybės.

Antrojoje (perkaitinimo) zonoje metalas įkaista iki soliduso temperatūros, išauga stambūs austenito grūdėliai. Perkaitintų grūdėlių paviršius gali būti 16 kartų didesnis už pirminių grūdėlių, kai suvirinama dujomis, ir 12 kartų, - kai suvirinama elektros lanku. Vėliau, metalui greitai auštant, dažniausiai gaunasi vidmanštėtinė struktūra. Perkaitinto plieno mechaninės savybės blogesnės, ypač plastiškumas ir pasipriešinimas smūginėms apkrovoms. Kuo stambesni grūdėliai ir kuo platesnė perkaitinimo zona, tuo šios metalo savybės blogesnės. Perkaitintas metalas yra silpniausia suvirinimo vieta, todėl dažniausiai šioje zonoje trūksta.

Trečiojoje (normalizavimo) zonoje plienas įkaista virš AC_3 kritinės temperatūros, austenito grūdėliai išlieka smulkūs, todėl auštant susidaro smulkiagrūdė ferito ir perlito struktūra, turinti geras mechanines savybes.

Ketvirtojoje (nevisiško persikristalizavimo) zonoje plienas suvirinant įkaista virš Ac_1 ir žemiau AC_3 temperatūrų. Dalis ferito ištirpsta, kita ferito grūdėlių dalis nepakinta. Auštant plienui, austenite ištirpęs feritas išsiskiria smulkiais grūdėliais, o austenitas žemiau Ac_1 temperatūros virsta perlitu. Todėl nevisiško persikristalizavimo zonoje greta senųjų stambių ferito grūdėlių yra smulkių ferito ir perlito grūdėlių. Nevienodo kristalų didumo struktūros metalas yra blogų mechaninių savybių.

Penktojoje (rekrystalizacijos) zonoje plienas nuo 450 °C įkaista iki Ac_1 temperatūros. Joje plieno struktūra nekinta, tik atsistato valcavimo deformuotų grūdėlių forma bei matmenys. Jeigu plienas prieš suvirinimą nebuvo šaltai deformuotas, tai rekrystalizacija nevyksta, grūdėliai išlieka nepakitę. Rekrystalizuotos struktūros metalas yra blogų mechaninių savybių, ypač mažas jo stiprumas.

Šeštojoje (mėlynojo trapumo) zonoje plienui įkaitus nuo 200 iki 450 °C temperatūros, ryškių struktūrinių pakitimų nebūna, tačiau padidėja kai kurių plieno rūšių stipris ir sumažėja plastiškumas, kai iš kietojo tirpalo išsiskyrusios smulkios priemaišų dalelės išsidėsto grūdėlių ribose. [1]

Terminio poveikio zonos plotis L matuojamas nuo siūlės simetrijos ašies ir priklauso nuo suvirinimo režimo ir būdo, metalo rūšies ir detalių storumo.

Kadangi, suvirinant terminio poveikio zonoje, pagrindinio metalo struktūra keičiasi, o siūlės metalo cheminė sudėtis ir struktūra skiriasi nuo pagrindinio metalo, tai ir suvirinto sujungimo metalo mechaninės savybės gali skirtis nuo pagrindinio metalo mechaninių savybių. Norint palyginti pagrindinio metalo ir suvirinto sujungimo savybes, atliekami suvirintų sujungimų mechaniniai bandymai. [10]

Mechaniniai metalų bandymai skirstomi į tris grupes:

1. Statiniai, kai bandiniui apkrova didinama tolygiai.
2. Dinaminiai, kai bandinys apkraunamas staigiai, smūgiu.
3. Nuovargio, kai bandinys veikiamas kintamo ženklo apkrova.

Suvirinti sujungimai bandomi tokiais būdais:

1. Statiškai tempiant cilindrinis bandinius takumo ribai, stipriui, santykiniam pailgėjimui ir susitraukimui nustatyti.
2. Smūginis lenkimas, smūginiam tūsumui nustatyti.
3. Nustatant atsparumą deformaciniam senėjimui, smūginio lenkimo bandinius tempimu deformavus 10% ir po to pakaitinus 250 °C temperatūroje vieną valandą
4. Brinelio, Rokvelo ir Vickerso prietaisais matuojant siūlės ir terminio poveikio zonų kietumą.
5. Statiškai tempiant cilindrinis arba plokščius bandinius, silpniausios vietos stipriui nustatyti.
6. Lenkiant bandinius, išpjautas iš suvirinimo vietos.
7. Smūgiais suardant bandinius sandūriniu būdu suvirintų lakštų (iki 2 mm storio) stipriui nustatyti. [11]

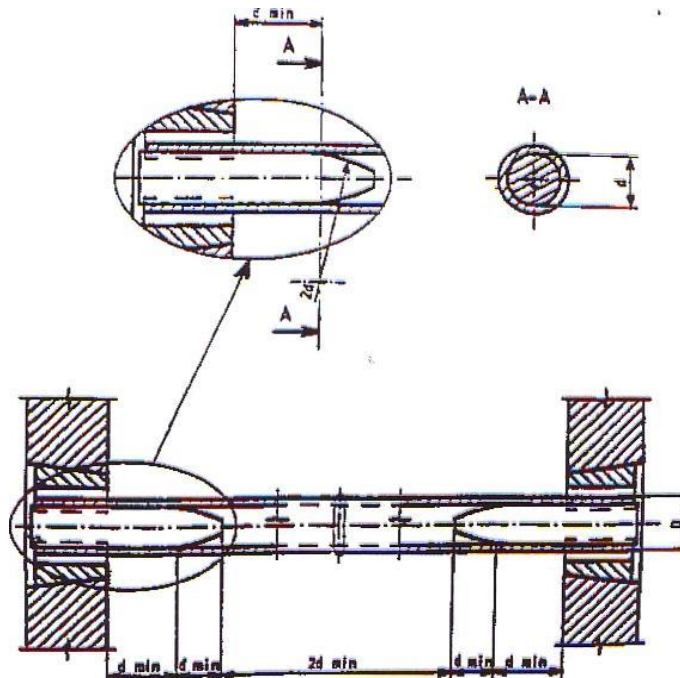
Suvirinimo bandinius mechaniniam tyrimui išpjunami šaltuoju būdu, dažniausiai tiksliai iš prilydyto metalo arba pjaunama taip, kad bandinyje būtų prilydytasis ir pagrindinis. Dažniausiai bandomas kietumas, statinis tempimo, lenkimo, smūginio tūsumo atsparumas, todėl juos ir tyriau savo baigiamajame darbe.

2.8.2 Kokybės kontrolė tempimo būdu ardant suvirintą sujungimą

Tempimas. Šio bandymo metu nustatomos, siūlės terminio poveikio zonos metalo savybės: takumo riba, atsparumo riba, santykinis susiaurėjimas ir pailgėjimas.

Tempimo apkrova tolygiai didinama iki bandinio, išpjauto skersai suvirintojo sujungimo, nutrūkimo. Bandymas atliekamas $(23 \pm 5)^\circ \text{C}$, jei kitaip nenurodyta.

Bandinys išpjaunamas skersai suvirintojo sujungimo taip, kad siūlė po bandinio mechaninio apdirbimo liktų darbinės dalies viduje. Nedidelio skersmens ($D < 18$ mm) vamzdžių bandymas gali *būti* atliekamas naudojant visą vamzdį (2.5 pav.)



2.5 pav. Vamzdinis tempimo bandinys

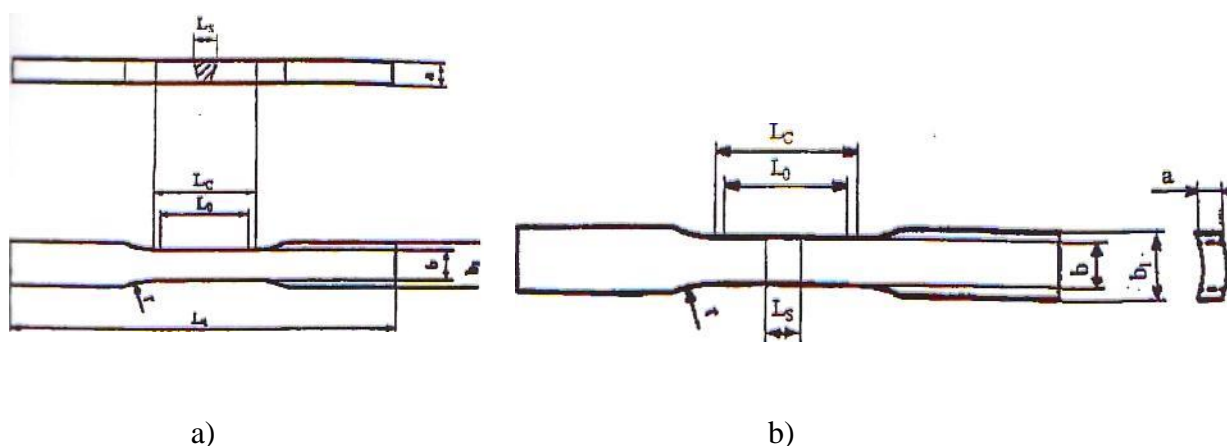
Kiekvienas bandomasis pavyzdys turi būti paženklintas, kad būtų žinoma tiksli jo vieta gaminyje ar sujungime, iš kurio jis išpjautas. Gali būti pažymėta deformacijos kryptis (pvz.: valcavimo ar presavimo).

Bandinio storis per visą bandinio darbinės dalies ilgį L_c turi būti pastovus, jo forma ir matmenys turi atitikti 2.5 lentelėje pateiktus dydžius, kurių simboliai parodyti 6 paveiksle.

Bandiniams, išpjautiems iš vamzdžio, gali būti reikalingas galvučių suplojimas, tačiau šis suplojimas ir dėl jo galimas storio pasikeitimas neturi paveikti darbinės dalies ilgio L_c .

2.5 lentelė. Plokščių ir vamzdžių matmenys

Pavadinimas		Simboliai	Matmenys, mm
Visas ilgis		L_t	pagal bandymo įrenginio tipą
Bandinio galvutės plotis		b_1	$b+12$
Darbinės dalies plotis	plokštės	b	12, kai $a \leq 2$
	vamzdžių	b	6, kai $D \leq 50$ 12, kai $50 < D \leq 168.3$ 25, kai $D > 168.3$
Darbinis ilgis 1) 2)		L_c	$>L_s+6$
Apvalinimo spindulys prie galvutės		r	>25



2.6 pav. Plokščių a) ir vamzdžių b) bandiniai

2.8.3 Kokybės kontrolė lenkimo būdu ardant suvirintą sujungimą

Lenkimas. Atliekant šį bandymą, nustatoma, kiek sujungimas gali plastiškai deformuotis. Tai vertinama pagal užlenkimo kampą α , kuriam susidarius pradeda atsirasti pirmieji plyšiai. Kuo didesnis šis kampas, tuo geresnės plastinės suvirinto sujungimo savybės.

Bandinys, išpjautas skersai arba išilgai suvirintojo sujungimo plastiškai deformuojamas lenkimu nekeičiant lenkimo krypties. Tokiu būdu vienas iš paviršių ar skerspjuvių yra tempiamas. Būna tokie bandiniai:

- sandūrinio sujungimo priekinio paviršiaus lenkimo bandinys;
- sandūrinio sujungimo šaknies lenkimo bandinys;
- sandūrinio sujungimo skersinis šoninio lenkimo bandinys;

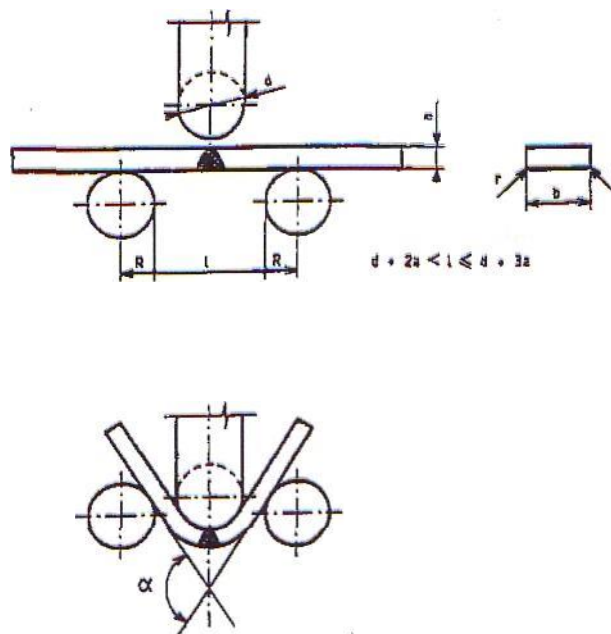
- plakiruotojo metalo be sandūrinės siūlės priekinio paviršiaus lenkimo bandinys;
- plakiruotojo metalo sandūrinio sujungimo šoninio lenkimo bandinys;
- plakiruotojo metalo sandūrinio sujungimo priekinio paviršiaus ir šoninio lenkimo bandinys.

Storesnio nei 8 mm plieno karpyti neleidžiama. Jei bandiniui išpjauti iš suvirintos plokštės ar bandomojo sujungimo naudojamas teminis ar kitas pjovimo būdas, galintis paveikti pjovimo paviršių, turi būti pjaunama atstumu, didesniu arba lygiu 8 mm nuo bandinio darbinio paviršiaus. Tačiau bet kokie metalurginiai pokyčiai neleistini, galintys turėti įtakos bandymo rezultatams.

Bandiniai turi būti paruošti taip, kad pagrindinis ir siūlės metalas būtų nepaveiktas.

Prieš lenkimo bandymą, gali būti nustatoma sulydymo srities arba sulydymo linijos forma ar vieta, atliekant tempiamojo bandinio paviršiaus nedidelį makroėsdinimą. Yra kelios lenkimo schemas: puansonu ir ritinėliu.

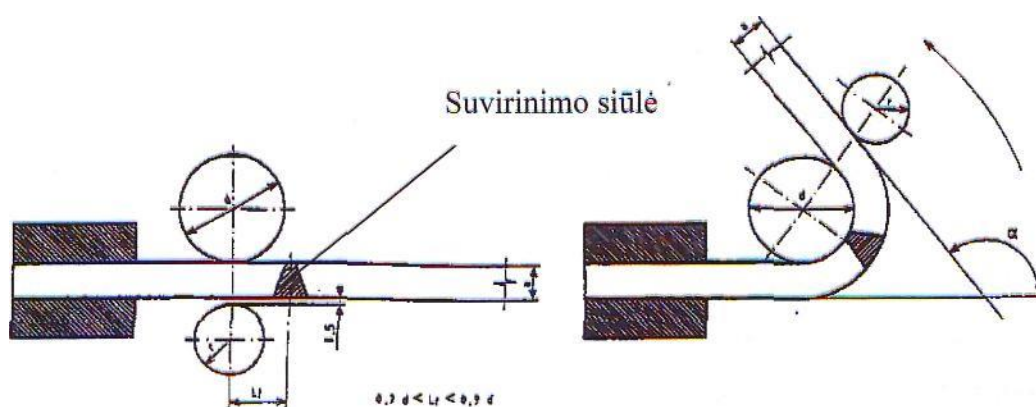
Atliekant bandymą puansonu, bandinys dedamas ant dviejų lygiagrečių atraminių ritinėlių taip, kad siūlė būtų tarp ritinėlių- viduryje, išskyrus išilginį lenkimo bandymą. Bandinys lenkiamas tolygiai didinant apkrovą puansonu, veikiančiu viduryje tarpo tarp atramų per siūlės ašį, statmenai bandinio paviršiui (tritaškis lenkimas) (2.7 pav.)



2.7 pav. Lenkimo puansonu bandymas

Lenkimo bandymas ritinėliu yra alternatyvus bandymo metodas, atliekamas aliuminio lydiniais ir kitų metalų sujungimams, kurių siūlės metalas ar vienas iš jungiamųjų metalų turi mažesnę takumo ribą, arba sąlyginę takumo ribą, nei pagrindinis (kitas) metalas.

Bandymas atliekamas tvirtai įtvirtinus vieną bandinio galą bandymo įtaise, laikant ritinėlį lygiagrečiai su puansonu. Bandinys lenkiamas, tolygiai sukant išorinį ritinėlį puansono ašies atžvilgiu (2.8 pav.).



2.8 pav. Lenkimo bandymas ritinėliu

2.8.4 Kokybės kontrolė tūsumo būdu ardant suvirintą sujungimą

Smūginis tūsumas. Tai vienas iš pagrindinių bandymų, kuriuo nustatomas suvirinto sujungimo mechaninis būvis žemoje temperatūroje. Smūginio tūsumo kriterijai rodo metalo sugebėjimą priešintis

smūginėms apkrovoms. Smūginis tūsumas KC išreiškiamas $KC = \frac{K}{S}$, J/m^2 ;

čia K — darbas, sunaudotas bandinio suardymui, veikiant smūginei apkrovai, S — bandinio skerspjūvio plotas.

Bandinio pavadinimas remiasi raidine sistema, nurodančia bandinio tipą išpjovimo vietą ir įpjovos orientaciją, bei numeracinę sistemą nurodančią įpjovos nuotolį milimetrais nuo atskaitos linijos (RL).

Raidžių reikšmės:

1 - oji raidė: U - Šarpio U formos įpjova;

V - Šarpio V formos įpjovą

2 - oji raidė: W - siūlės metalo įpjova (atskaitos linija yra bandinio siūlės ašies linija);

H - įpjova terminio poveikio srityje (atskaitos linija yra sulydymo linija);

3 - oji raidė: S - įpjautas paviršius lygiagretus su sujungimo paviršiumi;

T - įpjova storio kryptimi.

Smūginio tūsumo nustatymui naudojami standartinių matmenų bandiniai su U, V formos įpjovomis. Pagal tai, kokios formos įpjova buvo parodyta bandinio vidurinėje dalyje, smūginis tūsumas žymimas KCU, KCV. Dažniausiai daroma U formos įpjova ir literatūroje duodama KCU smūginio tūsumo reikšmė.

Metalo trapaus suirimo tikimybė didėja žemėjant temperatūrai. Temperatūrą, kurioje metalo lūžis turi 50 % tūsaus ir 50 % trapaus suirimo požymių, vadinama kritine trapumo temperatūra. Labai atsakingų konstrukcijų kritine trapumo temperatūra laikoma, ta temperatūra, kuriai esant lūžyje pasirodo pirmieji trapaus suirimo požymiai. [12]

Kietumo bandymas. Kietumu vadinama medžiagos savybė priešintis įspaudimui į ją kito kietesnio kūno, nepatiriančio liekamųjų deformacijų susilietimo vietoje. Kietumas yra savotiška medžiagos priešinimosi plastinei deformacijai ir suardymui charakteristika. Kietumas apskaičiuojamas iš apkrovos ir susidariusios paviršiuje įspaudos ploto santykio (nenurodant matmenų). Kietumas nustatomas įvairiais metodais. Metalų kietumui nustatyti pagal statinę apkrovą imami įvairūs antgaliai: plieninis grūdintas rutuliukas, deimantinis kūgis, keturkampė deimantinė

piramidė ir kt. Kai apkrova dinaminė, kietumas matuojamas rutuliuko atšokimo nuo bandinio paviršiaus aukščiu, arba įspaudos matmenimis.

Prietaisai, kuriais matuojamas kietumas taikant statines apkrovas, yra tikslesni, bet nemobilūs, jais nepatogu tirti didelių gabaritų detales iš jų neišplovus specialių bandinių. Prietaisai, kuriais matuojamas kietumas, taikant dinamines apkrovas, yra mažų gabaritų, patogūs transportuoti į tiriamo objekto vietą. Eksperimentinėje šio darbo dalyje yra pateikti suvirintų siūlių kietumo matavimų rezultatai.

3.EKSPERIMENTINĖ DALIS

Plieno P355 bandiniai buvo suvirinti lankiniu suvirinimu volframo elektrinėse dujose (TIG) rankiniu ir automatiniu būdu. Suvirintos jungtys išbandysime tempimo bandytos, lenkimo, smūginio tašumo ir kietumo bandymu, bei metalografiniu tyrimu.

Bandiniai patikrinti radiografinė kontrole bei skvarbiaisiais dažalais. Atlikti bandymai leido daryti išvadas ar gamybos firmoje AB mašinų gamykloje „Astra“, kurioje dirbu, suvirinimo jungtys atitinka keliamus reikalavimus.

3.1 Suvirinimo bandiniai

Suvirinimo bandinį sudaro du metalo ruošiniai, kurių storis yra vienodas $t=8$ mm pagamintos iš karštai valcuoto konstrukcinio plieno P355, kuris naudojamas slėginiam talpykloms gaminti. 3.1 lentelėje pateikiama plieno markės P355 mechaninės charakteristikos, savybės:

3.1 lentelė. Plieno P355 mechaninės savybės ir cheminės sudėtys

Lentelėje pateikiama plieno markės P355 mechaninės charakteristikos, savybės:														
Plieno markė	Minimali takumo riba Reh MPa						Atsparumas tempimui Rm MPa		Minimalus pailgėjimas - A Lo = 5,65 * √So (%)				Temperatūra °C	Kritinė riba Min. absorbuojamo energijos J
	Nominalus storis mm						Nominalus storis mm		Nominalus storis mm					
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤125		J
P355	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	-20	27

Lentelėje pateikiama plieno markės P355 cheminė lydinio sudėtis:													
Plieno markė	Lydinio analizė												
	C max. %	Mn max. %	Si max. %	P max. %	S max. %	N max. %	Cu max. %	Kiti max. %	CEV max. %				
	Nominalus storis mm						Nominalus storis mm						
	≤16	>16 ≤40	>40				≤30	>30 ≤40	>40 ≤125				
P355	0,20	0,20	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	-	0,55	-	0,45	0,47	0,4

[13]

Virinamo bandinių gabaritai buvo pagaminti toki, kokių reikalauja plieno lankinio ir dujinio suvirinimo, nikelio ir nikelio lydinio lankinio suvirinimo Europos standartas (ISO 15614-1 2004). Matmenys pateikiama 3.1 pav.



a)



b)

3.1 pav. Suvirinimo bandomų ruošinių eskizai: a) vamzdžių sandūrinės jungties pavyzdys; b) plokštės sandūrinės jungties pavyzdys.

3.2 Plieninių vamzdžių P355 suvirintos rankiniu TIG būdu jungties tyrimas

3.2.1 Naudojama suvirinimo įranga

Vamzdinis bandinys buvo suvirintas MasterTig MLS 3000 aparatu (3.2 pav.) . MASTERTIG MLS – tai universalus suvirinimo aparatas rankiniam suvirinimui lydžiuoju

elektrodu (MMA), bei lankiniam suvirinimui volframo elektrodu inertinėse dujose (TIG).Suvirinama absoliučiai visų tipų elektrodais rankiniu būdu, bei visos medžiagos, išskyrus aliuminį, TIG metodu (juodi bei spalvotieji metalai, nerūdijantys plienai). TIG metodu galima naudoti impulsinį srovės režimą, kas leidžia geriau valdyti išlydytą vonelę ir pravirinimą. Aparatas turi kilimo kritimo srovės greičio reguliavimą, kibirkštinį bei kontaktinį lanko uždegimą, 2/4 režimų degiklio jungiklio funkciją, reguliuojamą lanko dinaminę charakteristiką (lanko “šurkštumas”), distancinio reguliavimo galimybę.[19]



3.2 pav. Suvirinimo aparatas MasterTig MLS3 000

3.2.2 Rankiniam suvirinimui naudotos medžiagos

Bandinio suvirinimo metu buvo naudojamas pridėtinis metalas OK Tigrod 12.64 (2.3 pav.),kurio skersmuo Ø2mm. (pagal EN 10204-3.1). Dažniausiai naudojamas slėginių indų, laivų gamyboje. OK Tigrod 12.64– variuoti, Mn-Si legiruotieji strypeliai. Kaip apsauginės dujos naudotos argono dujos (Ar 99,99%) (pagal LST EN ISO 14175-II-Ar). Jų paskirtis apsaugoti išlydytą metalą ir įkaitusią medžiagą nuo žalingo oro poveikio, taip pat sudaryti palankias sąlygas elektros lankui.[20]. Volframo elektrodas naudotas WT 20 Ø2,4 skersmens, kurio cheminė sudėtis pateikta 3.1 lentelėje.

3.2 lentelė. Volframo cheminė sudėtis

Volframas	Oksidų kiekis ir tipas (%)	Priemaišos (%)	Volframas (%)	žymėjimo spalva
WT 20	1,7-2,2 ThO ₂	<0,2	likutis	raudona

[15]



3.3 Pav. Pridėtinis metalas OK Tigrod 12.64

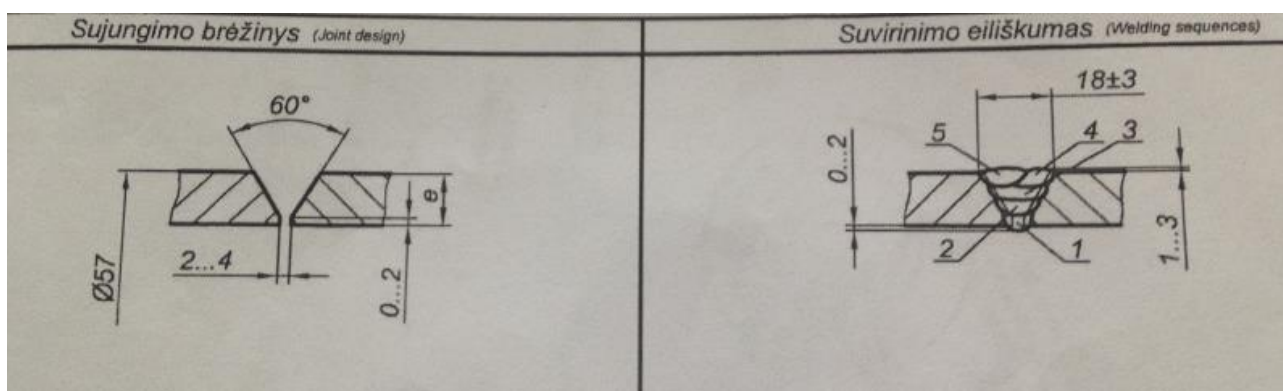
3.2.3 Bandinio suvirinimas rankiniu TIG būdu

Bandiniai buvo suvirinti rankiniu TIG būdu siūlių ir jungčių tipai pateikiama 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Suvirinimo procedūrų aprašas

Gamintojas	AB "Astra"	Paruošimo ir valymo būdas	Šlifavimas, nuriebalinimas
Jungties tipas	Sandūrinė	Pagrindinio metalo aprašas	P355
Siūlės tipas	BW	Medžiagos storis (mm)	e=8
Siūlės išpildymas	rankinis	Išorinis skersmuo (mm)	Ø57
Suvirinimo procesas	141	Suvirinimo Padėtis	PA

Kaip iš 3.2 lentelės matyti bandinių sujungimo tipas yra sandūrinis, tai kaip du bandiniai mano atveju vamzdžiai Ø57 skersmens, t=8 storio yra sujungiami į vieną. Virinimo siūlės tipas yra vamzdžių sandūrinė siūlė (BW). Ruošinys suvirintas 141 virinimo procesu-tai yra lankinis suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose. Virinimos vamzdžių kraštines paruošiamos šlifavimo būdu, kampiniu šlifuokliu padaromos nuožulos (3.4 pav. a.), po to nuriebalinamos. Suvirinimo padėtis-žemutinė (PA), tai yra vamzdis sukamas virinimo metu, vamzdžio ašis horizontalioje padėtyje. Suvirinimo eiliškumas parodytas (3.4 pav. b.).



a) sujungimo brėžinys

b) suvirinimo eiliškumo brėžinys

3.4 pav. Ruošinio sujungimo ir suvirinimo brėžinys.

Paruošimo metu, ant virinamų kraštinių padarytos 30° nuožulos ir tarp jų paliktas 2-4 mm. tarpelį (2.4pav a.) Pravirinimui palikti 0-2mm. užbukinimą Mano atveju bandinys buvo suvirintas 3 praėjimų pagalba. Siūlės plotis tilpo į tolerancija, išmatavus siūlę jos plotis buvo 17mm. Taikyti suvirinimo režimai parodyti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Suvirinimo režimai

Ėjimas	Procesas	Pridėtinio metalo matmenys	Srovė (A)	Įtampa (V)
1	141	Ø2	140-180	11-14
2...3	141	Ø2	160-200	12-15

Pirmu virinimo ėjimu buvo virinama suvirinimo aparatą nustačius ant 160A srovės ir 13V įtampos. Antruoju ir trečiuoju ėjimu buvo virinama suvirinimo aparatą sustačius ant 180A srovės ir 14V įtampos. Tokiais parametrais vadovaujantis buvo suvirintas bandinys rankiniu TIG būdu, kuris buvo atiduotas suvirintos jungties tyrimams (3.5 pav.)



3.5 pav. Bandinys suvirintas rankiniu TIG būdu.

3.2.4 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG tempimo bandymas

Mano pasirinktas vamzdžio diametras yra Ø57 dėl to, kaip reikalauja EN ISO 15614 standartas, per aukštą siūlės rumbę nuvalome mechaniškai (cangine poliravimo mašinėle), kad atitiktų vamzdžių sienelių storį. Tempimo bandymai buvo atliekami tempimo mašina R-50. Aplinkos temperatūra buvo +20°C bandymo metu. Atliekant bandymą santykinė patalpos užfiksuota drėgmė 71%. Bandymo rezultatai matyti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Rankiniu būdu virintos siūlės tempimo bandymo rezultatai.

Bandymo žymuo	Bandinio matmenys (a x b x Lt) mm	Darbinės 36allies ilgis (Lc) mm	Pradinis skerspjuvio plotas (S ₀)mm ²	Max tempimo jėga F _{max} , kN	Stiprumo riba R _m , N/mm ²	Trūkimo vieta
1-1	8,0x12,0x300	80	96,0	53,3	556	Pagrindinis metalas
1-2	8,0x12,0x300	80	96,0	52,9	552	Pagrindinis metalas

a-bandinio storis

b-bandinio plotis

Lt- bandinio ilgis

Tempimo bandymo metu nustatėme virintos jungties stiprumą pagal ir trūkimo vieta pagal LST EN 895 ir paskaičiavau stiprumo ribą R_m:

$$R_m = F_m / S_0 \quad (3.1)$$

Čia: R_m – Stiprumo riba (N/mm²)

F_{max} – Tempimo jėga (kN)

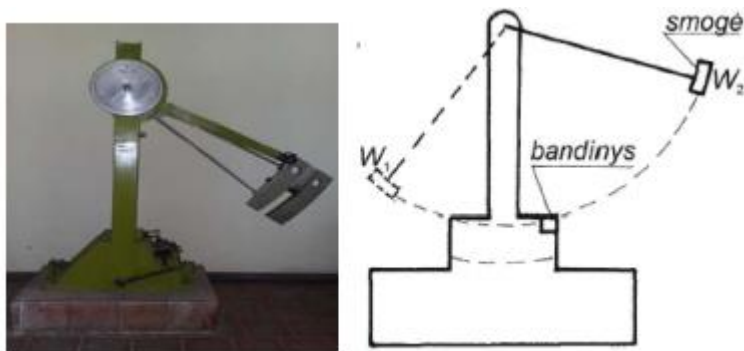
S₀ – Skerspjuvio plotas (mm²)

Iš bandymo rezultatų matyti, kad bandinio 1-1 maksimali tempimo jėga bandymo metu yra 53,3kN, o bandinio 1-2 bandymo metu 52,9kN, atitinkamai stiprumo riba pirmu bandymu 556 N/mm², antru 552 N/mm². Virinta jungtis atitiko keliamus reikalavimus, nes bandymo metu trūkimas vyko, ne per suvirinimo siūlę o per pagrindinį metalą. Ir stiprumo riba yra >500 N/mm² kaip reikalauja LST EN 895 standartas.[16]

3.2.5 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG smūginio tūsumo bandymas

Smūginio tūsumo bandymui padaryti buvo naudojamas švytuoklinis muštuvas – MK-30A. Muštuvas ir jo veikimo schema pavaizduota 3.6 paveiksle. Smūginio tūsumo žemose temperatūrose bandymas nusakomas standarto LST EN 10045-1 reikalavimais. Taip pat smūginio

tašumo bandiniai ir bandymas atitinka standarto LST EN ISO 15614-1 standartus, keliamus bandinių padėtims ir bandymo temperatūrai, bei standarto LST EN 875 reikalavimus matmenims ir bandymui.



3.6 pav. Muštuvas MK-30A ir jo principinė schema.

Bandymo metu bandinio temperatūra buvo -40°C . Bandinių matmenys buvo parinkti standartiniai (8x10x55)mm. Smūginis tašumas buvo nustatomas siūlės ašies zonoje ir terminio poveikio zonoje. Bandymo rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Rankiniu būdu virintos siūlės smūginio tašumo rezultatai

Bandinio žymuo	Skerspjūvio matmenys ties įpjova, mm	Smūgio absorbuota energija J (-40°C)	Smūginis tašumas KV J/cm ² (-40°C)
1-1	8,0x10	64	80
1-2	8,0x10	66	83
1-3	8,0x10	61	76
1-4	8,0x10	65	81
1-5	8,0x10	60	75
1-6	8,0x10	63	79

1,2,3 – VWT – įpjova siūlės ašies linijoje
4,5,6 – VHT – įpjova terminio poveikio zonoje

Iš pateiktų matmenų matyti kad smūgio metu absorbuota energija siūlės ašies linijoje (64-66-61J) ir smūginis tašumas (80-83-76 J/cm²) yra didesnis negu terminio poveikio zonoje atitinkamai absorbuota energija (65-60-63J) smūginis tašumas (81-75-79 J/cm²)

3.2.6 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG lenkimo bandymas

Lenkimo bandymai buvo atliekami lenkimo staklėmis Amada HTP 320 (3.7 pav.).



3.7 pav. Lenkimo staklės Amada HPT 320.

Skersinis lenkimo bandymas atliekamas iš siūlės šaknies pusės ir iš siūlės priekinio paviršiaus. Lenkimo bandymas atliktas su puansonu, kurio spindulys 20mm. Bandymo rezultatai matyti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Rankiniu būdu virintos siūlės lenkimo bandymo rezultatai

Bandinio žymuo	Bandinio matmenys (a x b x Lt) mm	Puansono spindulys mm	Atstumas tarp atramų mm	Lenkimo kampas be plyšio (°)
1-1	8,0x40,0x300	20	64	180
1-2	8,0x40,0x30	20	64	180
1-3	8,0x40,0x30	20	64	180
1-4	8,0x40,0x30	20	64	180

a-bandinio storis 1,2 – skersinis priekinio paviršiaus lenkimas (TFBB)

b-bandinio plotis 3,4 – skersinis šaknies paviršiaus lenkimas (TRBB)

Lt-bandinio ilgis

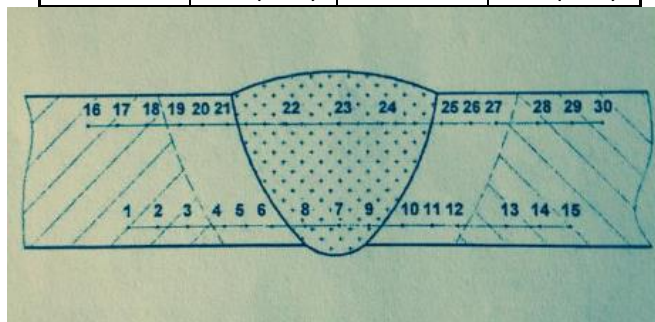
Skersinio lenkimo bandymo metu (priekinio paviršiaus lenkimo ir šaknies lenkimo metu) buvo bandiniai lenkiami 180°. Bandymo metu gauti rezultatai priimtini, nes lenkimo kampas gauta 180⁰, kaip parodyta standarte LST EN ISO 5173:2010.

3.2.7 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu TIG kietumo bandymas

Kietumo bandymas buvo atliekamas kietmačiu MIC 10, Vickerso metodu (antgalis- su deimantine viršūne). Kietumo taškai pavaizduoti 3.8 pav. Mes darėme 30 įspaudų kietumui nustatyti. 6 taškus siūlės zonoj (W), 12 taškų terminio poveikio zonoje (HAZ) ir 12 taškų pagrindiniame metale(P)

3.7 lentelė. Rankiniu būdu virintos siūlės kietumo bandymo rezultatai

Matavimo taškas	Kietumas, HV10	Matavimo taškas	Kietumas, HV10
1	112 (P.M)	16	116(P.M)
2	113(P.M)	17	120(P.M)
3	110(P.M)	18	117(P.M)
4	137(haz)	19	142(haz)
5	142(haz)	20	147(haz)
6	140(haz)	21	149(haz)
7	158 (w)	22	152 (w)
8	156 (w)	23	153 (w)
9	154(w)	24	152 (w)
10	142(haz)	25	142(haz)
11	140(haz)	26	141(haz)
12	135(haz)	27	143(haz)
13	117(P.M)	28	116(P.M)
14	119(P.M)	29	119(P.M)
15	120(P.M)	30	113(P.M)



3.8pav. Kietumo taškų schema.

Iš 3.6 lentelės matyti kad didžiausias kietumas yra suvirinimo siūlėje 8-9 taškuose ir 22-24 taškuose. Kiek mažesnis kietumas yra terminio poveikio zonoje. Pats mažiausias kietumas yra pagrindiniame metale. Kietumo rezultatai tenkina LST EN 1043-1 standartą.

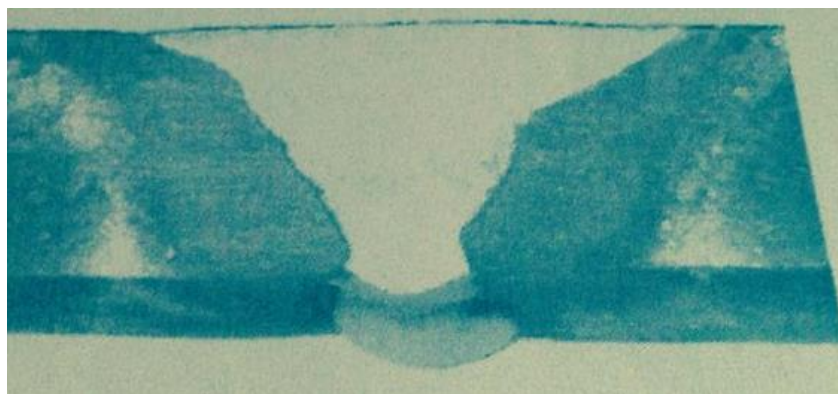
3.2.8 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu metalografinis tyrimas

Siūlės metalo makroskopinis tyrimas buvo atliekamas išėsdinus bandinio išpjovą.

Tyrimų rezultatai:

Makrostruktūra atitinka B lygmenį pagal LST EN ISO 5187 reikalavimus. Šiame tarptautiniame standarte pateikti visų tipų plieno, nikelio, titano ir jų lydinių lydomojo suvirinimo (išskyrus pluoštinį suvirinimą) jungčių defektų kokybės lygiai. Jie taikomi medžiagoms, kurių storis didesnis kaip 0,5 mm. Jie apima visiškai įvirintas sandūrines siūles ir visų tipų kampines siūles. Trys kokybės lygiai pateikti taip, kad juos būtų galima taikyti daugeliui suvirintų gaminių. Jie žymimi simboliais B, C ir D. Kokybės lygis B atitinka aukščiausius reikalavimus, keliamus baigta virinti siūlei. Kokybės lygiai rodo gaminio kokybę, bet ne gatavo gaminio tinkamumą pagal paskirtį. Šis tarptautinis standartas taikomas: – nelegiruotiesiems ir legiruotiesiems plienams, – nikeliumi ir nikelio lydiniams, – titanui ir titano lydiniams, – rankiniam, mechanizuotam ir automatiniame suvirinimui, – visoms suvirinimo padėtimis, – visų tipų siūlėms. [18]

Siūlei ir terminio poveikio zonoje plyšių, intarpų, nesusilydymų nematyti. (3.9 pav).



3.9 pav. Makrostruktūros bandinio vaizdas

3.2.9 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu radiografinės kontrolė

Bandiniui buvo padaryta radiografinė kontrolė (RT). Radiografinės kontrolės įranga pavaizduota 3.10 paveiksle. Kontrolė buvo atlikta pagal LST EN 1435 B standartą. Jos metu suvirinimo jungtyje buvo aptiktas defektas pagal EN ISO 6520-1 standartą, kurio defekto numeris yra 2011. Kuris reiškia sferinės formos dujų pora. Bet poros dydis pagal LST EN 1435 B standartą tenkina normas.



3.10 pav. Radiografinė stotelė

3.2.10 Suvirinimo siūlės virintos rankiniu būdu skvarbiaisiais dažalais kontrolė

Siūlės paviršiaus kokybei nustatyti, buvo naudojama kapiliarinė defektoskopija. Tiriant skvarbiaisiais dažalais siūlės paviršius nuriebalinamas ir išpurškiamas skvarbiuoju skysčiu MR 68, palaukus 25-45 min. Po to apipurškama ryškumu MR 70 (3.11 pav). Tada ir pasimato ar yra defektu, ar ne. Mano atvejų jų nebuvo pastebėta nei įtūkių, nei susisluoksniavimų ar nevientisumų. Bandinio kontrolė buvo atlikta 100% pagal LST EN ISO 3452-1:2013 standartą. Rezultatai tenkina LST EN ISO 23277:2010 standartą (3.12 pav.)



3.11 pav. Kapiliarinei defektoskopijai naudotas ryškalas MR 70



3.12 pav. Bandinys suvirintas rankiniu TIG būdu po skvarbiųjų dažalų kontrolės.

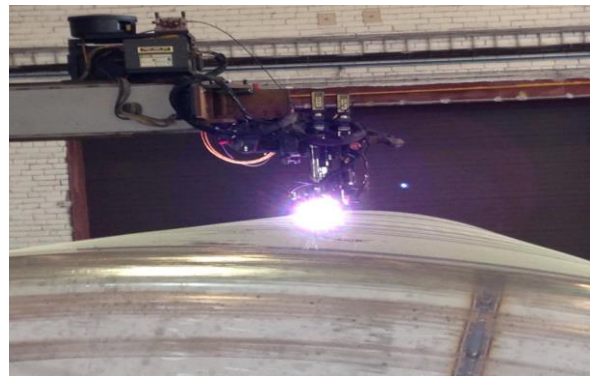
3.3 Plieninių plokščių P355 virintų automatiniu plazmos-TIG būdu jungties tyrimas

3.3.1 Naudojama suvirinimo įranga

Bandinio plokštelės iš P355 plieno buvo suvirintos automatiniu būdu. Bandinio šaknis buvo pravirinama plazma (15 suvirinimo procesas), vėliau TIG būdu, abejais atvejais, buvo virininta automatiniu būdu. Suvirinimo kolonos pavadinimas AMET (3.13 Pav. a). 3.13 paveikslo b dalyje matyti suvirinimo procesas su suvirinimo kolona.



a) suvirinimo kolona AMET



b) automatinis suvirinimas TIG būdu.

3.13 pav. suvirinimo kolonos vaizdai

3.3.2 Automatiniam suvirinimui naudotos medžiagos

Bandinio suvirinimo metu, kaip buvo virinama automatiniu TIG Būdu buvo naudojamas pridėtinis metalas OK Autrod 12.51 (3.14 pav.),kurio skersmuo $\varnothing 1\text{mm}$. (pagal EN 10204-3.1). Dažniausiai naudojamas slėginių indų, laivų gamyboje. OK Autrod 12.51 – variuota, turinti padidintą Mn-Si kiekį viela. G3Si1/ER70S-6 pilnavidurė viela skirta virinti nelegiruotąjį plieną Taikymas – statybinės konstrukcijos, slėginių indų ir laivų gamyba. Viela pasižymi stabilia chemine

sudėti ir mažu P bei S kiekiu, užtikrinančiu stabilų lanko degimą[21]. .Kaip apsauginės dujos naudotos Varigon H5 dujos (Ar 95% + H² 5%) (pagal LST EN ISO 14175-R1-ArH-). Užtikrina geresnę skvarbą, didesnę suvirinimo greitį ir švaresnę siūlę lyginant su argonu.[22].Volframo elektrodas naudotas WT 20 Ø3,2 skersmens virinant TIG būdu ir WT 20 Ø4,8 skersmens, virinat plasmos būdu,kurio cheminė sudėtis pateikta 3.2 lentelėje.



3.14 pav. Ok Autrod 12.51 pridėtinis metalas

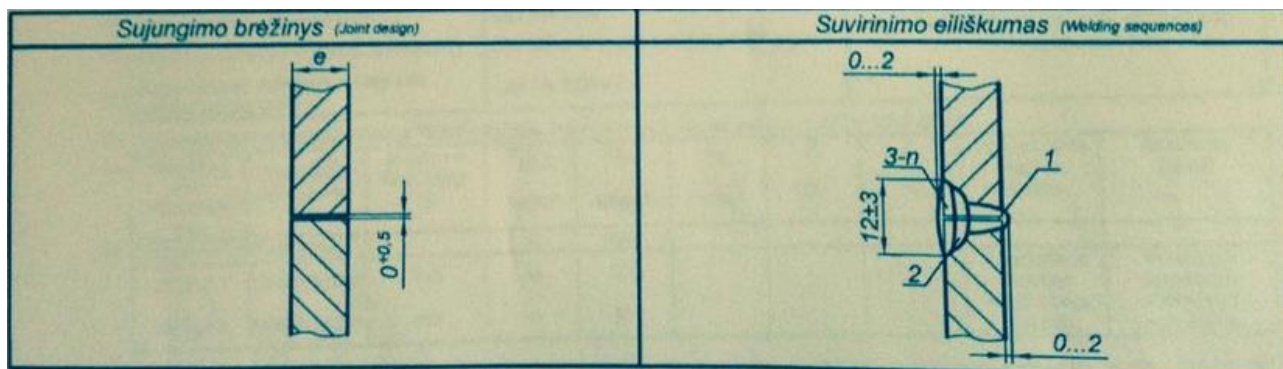
3.3.3 Bandinio suvirinimas automatinio plazma-TIG būdu

Bandiniai buvo suvirinti automatinio TIG būdu siūlių ir jungčių tipai pateikiama 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Suvirinimo procedūrų aprašas virinant automatinio būdu

Gamintojas	AB "Astra"	Paruošimo ir valymo būdas	Šlifavimas, nuriebalinimas
Jungties tipas	Sandūrinė	Pagrindinio metalo aprašas	S355J2HN
Siūlės tipas	BW	Medžiagos storis (mm)	e=8
Siūlės išpildymas	automatinis	Išorinis skersmuo (mm)	
Suvirinimo procesas	15/141	Suvirinimo Padėtis	PC

Kaip iš 3.8 lentelės matyti bandinių sujungimo tipas yra sandūrinis. Virinimo siūlės tipas yra vamzdžių sandūrinė siūlė (BW). Virinimo procesas 15/141 tai yra plazminis ir lankinis suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose. Pagrindinis metalas yra P355 (karštai valcuotas konstrukcinis plienas). Virinimo elemento kraštinės paruošiamos šlifavimo būdu (kampiniu šlifukuokliu) ir nuriebalinamos. Suvirinimo padėtis žemutinė (Pc) vamzdis nepasukamas, vamzdžio ašis vertikaloje padėtyje. 3.15 pav. pateikta, kaip reikia paruošti ruošinį ir koku eiliškumu virinti.



a) sujungimo brėžinys

b) suvirinimo eiliškumo brėžinys

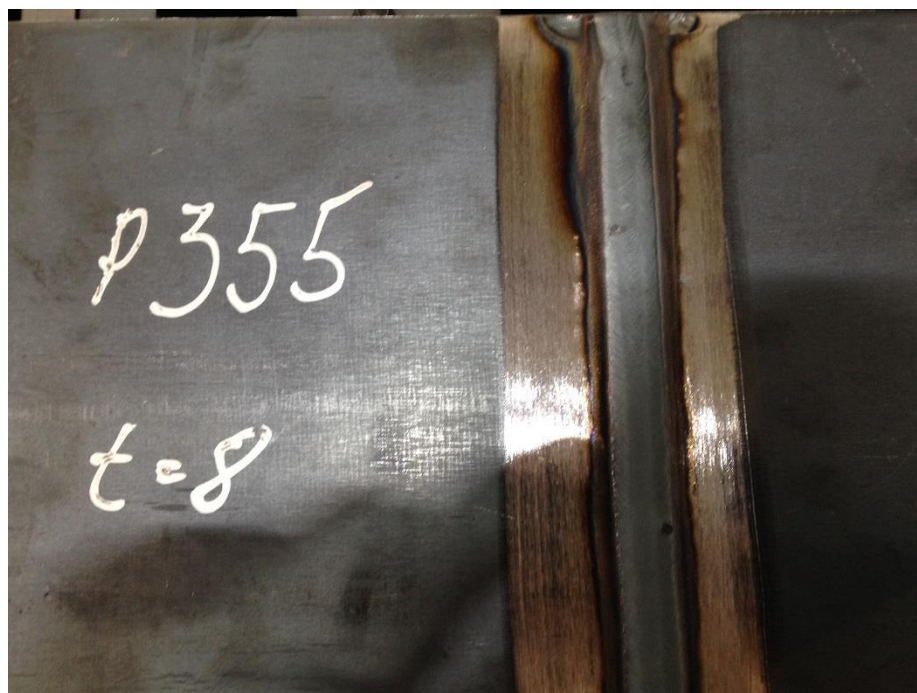
3.15 pav. Ruošinio sujungimo ir suvirinimo brėžinys.

Paruošimo metu virinamas kraštines reikia nuriebalinti, tarp virinamų paviršių nepalikti tarpelio, nes iš pradžių yra pravirinama plasma. Vidinėje dalyje pravirinta siūlė gali išlysti 0-2mm. virš bandinio sienelių. Mano parinktas bandinys buvo suvirintas 3 praėjimų pagalba. Pirmu ėjimu buvo virinama plasma, antras ir trečias praėjimas virinimas buvo automatiniu TIG būdu. Siūlės plotis tilpo į tolerancijas 12 mm. Taikyti suvirinimo režimai parodyti 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Suvirinimo režimai virinant automatiniu būdu.

Ėjimas	Procesas	Pridėtinio metalo matmenys	Srovė (A)	Įtampa (V)
1	15	-	220-240	30-35
2-3	141	Ø1	230-290	13-15

Pirmu virinimo praėjimu buvo virinama automatiniu plasmos būdu, be pridėtinės vielos, srovė buvo nustatyta 230 A, įtampa 33 V. Antruoju ir trečiuoju ėjimu buvo virinama automatiniu Tlg būdu su pridėtinio metalu kurio skersmuo 1 mm. Srovė buvo parinkta 255 A o įtampa 15 V. Tokiais parametrais vadovaujantis buvo suvirintas bandinys automatiniu būdu, kuris buvo atiduotas suvirintos jungties tyrimams (3.16 pav.).



3.16 pav. Bandinys suvirintas automatinio plazma-TIG būdu.

3.3.4 Suvirinimo siūlės virintos automatinio būdu plazma-TIG tempimo bandymas

Tempimo bandymai buvo atliekami tempimo mašina R-50. Aplinkos temperatūra buvo +20°C bandymo metu. Atliekant bandymą santykinė patalpos užfiksuota drėgmė 71%. Bandymo rezultatai matyti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Suvirintos jungties automatinio būdu tempimo bandymas

Bandymo žymuo	Bandinio matmenys (a x b x Lt) mm	Darbinės 45allies ilgis (Lc) mm	Pradinis skerspjūvio plotas (S ₀)mm ²	Max tempimo jėga Fmax, kN	Stiprumo riba R _m , N/mm ²	Trūkimo vieta
2-1	8,0x25,0x300	80	200,0	68,4	559	Pagrindinis metalas
2-2	8,0x25,0x300	80	200,0	67,5	553	Pagrindinis metalas

a-bandinio storis

b-bandinio plotis

Lt- bandinio ilgis

Iš bandymo rezultatų matyti, kad bandinio 2-1 maksimali tempimo jėga bandymo metu yra 68,4kN, o bandinio 2-2 bandymo metu 67,5kN, atitinkamai stiprumo riba pirmu bandymu 559 N/mm², antru 553 N/mm². Virinta jungtis atitiko keliamus reikalavimus, nes bandymo metu trūkimas vyko, ne per suvirinimo siūlę o per pagrindinį metalą. Ir stiprumo riba yra >500 N/mm² kaip reikalauja LST EN 895 standartas.

3.3.5 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu TIG smūginio tūsumo bandymas

Smūginio tūsumo bandymui padaryti buvo naudojamas švytuoklinis muštuvas – MK-30A. Muštuvas ir jo veikimo schema pavaizduota 3.6 paveiksle. Smūginio tūsumo žemose temperatūrose bandymas nusakomas standarto LST EN 10045-1 reikalavimais. Taip pat smūginio tūsumo bandiniai ir bandymas atitinka standarto LST EN ISO 15614-1 standartus, keliamus bandinių padėtims ir bandymo temperatūrai, bei standarto LST EN 875 reikalavimus matmenims ir bandymui. Bandymo metu bandinio temperatūra buvo -40°C . Smūginis tūsumas buvo nustatomas siūlės ašies zonoje ir terminio poveikio zonoje. Bandymo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė. Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu plazma-TIG smūginio tūsumo rezultatai.

Bandinio žymuo	Skerspjūvio matmenys ties įpjova, mm	Smūgio absorbuota energija J (-40°C)	Smūginis tūsumas KV J/cm^2 (-40°C)
2-1	8,0x7,5	40	67
2-2	8,0x7,5	39	65
2-3	8,0x7,5	39	65
2-4	8,0x7,5	38	63
2-5	8,0x7,5	36	60
2-6	8,0x7,5	37	62

1,2,3 – VWT – įpjova siūlės ašies linijoje

4,5,6 – VHT – įpjova terminio poveikio zonoje

Iš pateiktų matmenų matyti kad smūgio metu absorbuota energija siūlės ašies linijoje ($40\text{-}39\text{-}39\text{J}$) ir smūginis tūsumas ($67\text{-}65\text{-}65 \text{ J/cm}^2$) yra didesnis negu terminio poveikio zonoje atitinkamai absorbuota energija ($38\text{-}36\text{-}37\text{J}$) smūginis tūsumas ($63\text{-}60\text{-}62\text{J/cm}^2$).

3.3.6 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu TIG lenkimo bandymas

Lenkimo bandymai buvo atliekami lenkimo staklėmis Amada HTP-320. Skersinis lenkimo bandymas atliekamas iš siūlės šaknies pusės ir iš siūlės priekinio paviršiaus. Lenkimo bandymas atliktas su puansonu, kurio spindulys 20mm. Bandymo rezultatai matyti 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė suvirinimo siūlės virintos automatiškai būdu TIG lenkimo

Bandinio žymuo	Bandinio matmenys (a x b x Lt) mm	Puansono spindulys mm	Atstumas tarp atramų mm	Lenkimo kampas be plyšio (°)
1-1	8,0x32,0x300	20	52	180
1-2	8,0x32,0x300	20	52	180
1-3	8,0x32,0x300	20	52	180
1-4	8,0x32,0x300	20	52	180

a-bandinio storis

1,2 – skersinis priekinio paviršiaus lenkimas (TFBB)

b-bandinio plotis

3,4 – skersinis šaknies paviršiaus lenkimas (TRBB)

Lt-bandinio ilgis

Skersinio lenkimo bandymo metu (priekinio paviršiaus lenkimo ir šaknies lenkimo metu) buvo bandiniai lenkiami 180°(3.17 pav.). Bandymo metu gauti rezultatai priimtini, nes lenkimo kampas gauta 180⁰, kaip parodyta standarte LST EN ISO 5173:2010.



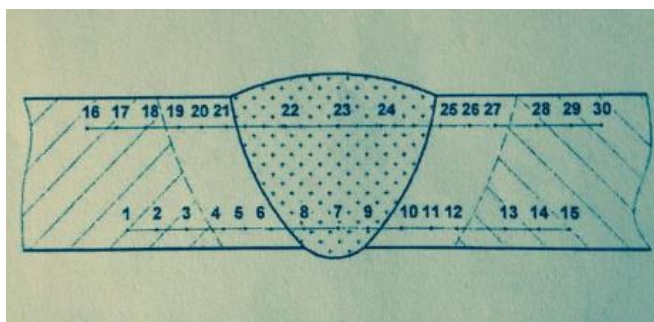
3.17 pav. Bandinys po lenkimo bandymo

3.3.7 Suvirinimo siūlės virintos automatiškai būdu plazma-TIG kietumo bandymas

Kietumo bandymas buvo atliekamas kietmačiu MIC 10, Vickerso metodu (antgalis- su deimantine viršūne).Kietumo taškai pavaizduoti 3.18 pav. Mes darėme 30 įspaudų kietumui nustatyti. 6 taškus siūlės zonoj (W), 12 taškų terminio poveikio zonoje (HAZ) ir 12 taškų pagrindiniame metale(P)

3.14 lentelė. Automatinio būdu virintos siūlės kietumo bandymo rezultatai

Matavimo taškas	Kietumas, HV10	Matavimo taškas	Kietumas, HV10
1	112 (P.M)	16	117(P.M)
2	113(P.M)	17	112(P.M)
3	111(P.M)	18	113(P.M)
4	135(haz)	19	136(haz)
5	133(haz)	20	135(haz)
6	136(haz)	21	137(haz)
7	168 (w)	22	175 (w)
8	169 (w)	23	170 (w)
9	175(w)	24	170 (w)
10	134(haz)	25	136(haz)
11	132(haz)	26	132(haz)
12	133(haz)	27	130(haz)
13	116(P.M)	28	115(P.M)
14	114(P.M)	29	112(P.M)
15	120(P.M)	30	114(P.M)

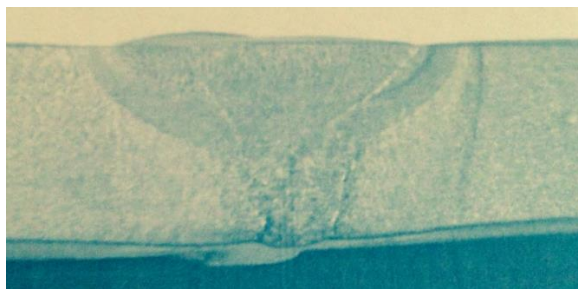


3.18 pav. Kietumo taškai

Iš 3.14 lentelės matyti kad didžiausias kietumas yra suvirinimo siūlėje 8-9 taškuose ir 22-24 taškuose. Kiek mažesnis kietumas yra terminio poveikio zonoje. Pats mažiausias kietumas yra pagrindiniame metale. Bandymo rezultatai tenkina LST EN 1043-1 standartą.

3.3.8 Suvirinimo siūlės virintos autoamtiniu būdu metalografinis tyrimas

Siūlės metalo makroskopinis tyrimas buvo atliekamas išėsdinus. **Tyrimų rezultatai:** Makrostruktūra atitinka B lygmenį pagal LST EN ISO 5187 reikalavimus. Radiografinės ir skvarbiaisiais dažalais kontrolės metu defektų nustatyta. Siūlei ir terminio poveikio zonoje plyšių, intarpų, nesusilydymų nematyti. (3.19pav).



3.19 pav. Makrostruktūros bandinio vaizdas

3.3.9 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu radiografinės kontrolės tyrimas

Bandiniui buvo padaryta radiografinė kontrolė (RT). Kontrolė buvo atlikta pagal LST EN 1435 B standartą. Jos metu suvirinimo jungtyje ne buvo aptiktas defektų pagal EN ISO 6520-1 standartą.

3.2.10 Suvirinimo siūlės virintos automatiniu būdu skvarbiaisiais dažalais kontrolė

Siūlės paviršiaus kokybei nustatyti, buvo naudojama kapiliarinė defektoskopija. Mano atvejų jų nebuvo pastebėta nei įtūkių, nei susisluoksniavimų ar nevientisumų. Bandinio kontrolė buvo atlikta 100% pagal LST EN ISO 3452-1:2013 standartą. Rezultatai tenkina LST EN ISO 23277:2010 standartą. 3.20 paveiksle pavaizduotas bandinys po skvarbiųjų dažalų kontrolės.

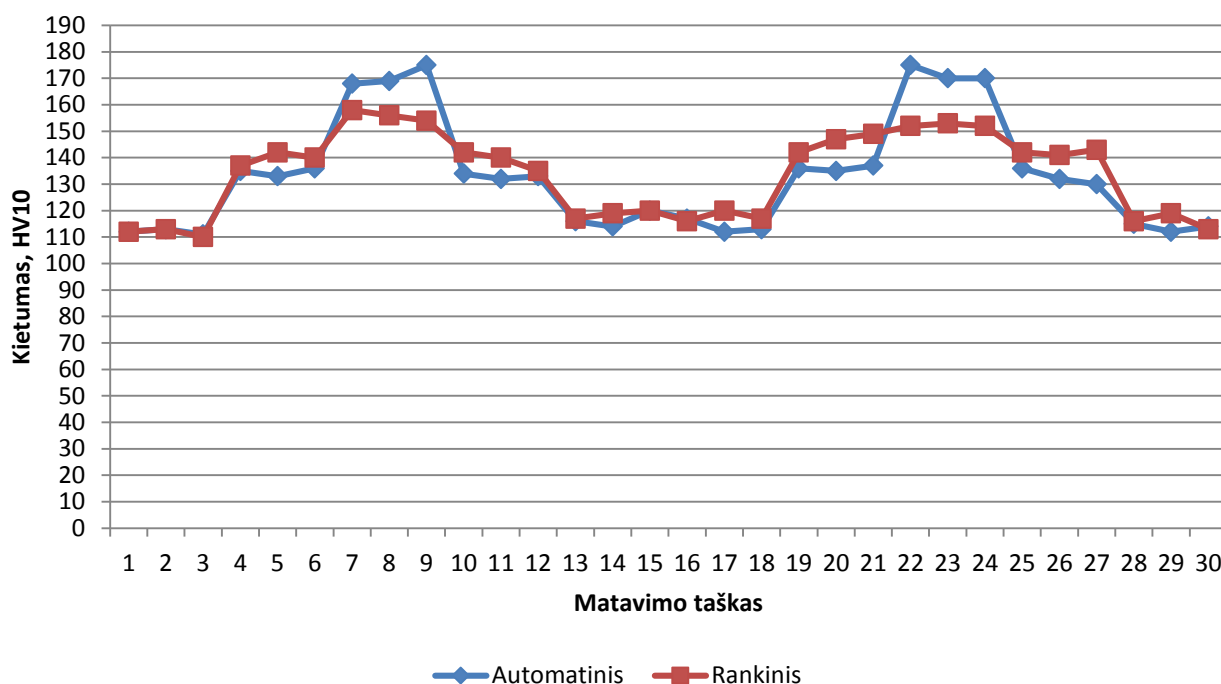


3.20 pav. Bandinys atlikus skvarbiųjų dažalų kontrolę.

4. AUTOMATINIŲ IR RANKINIŲ BŪDU SUVIRINTOS SIŪLĖS SAVYBIŲ Palyginimas

Atlikus bandinių siūlės tyrimus suvirintais automatiniais ir rankiniais būdais, palyginsiu gautus bandymo rezultatus. Palyginsiu kietumo, smūginio tūsumo, ir tempimo bandymo rezultatus suvirintais skirtingais suvirinimo būdais. 1 diagramoje pavaizduota siūlių kietumo bandymo rezultatai.

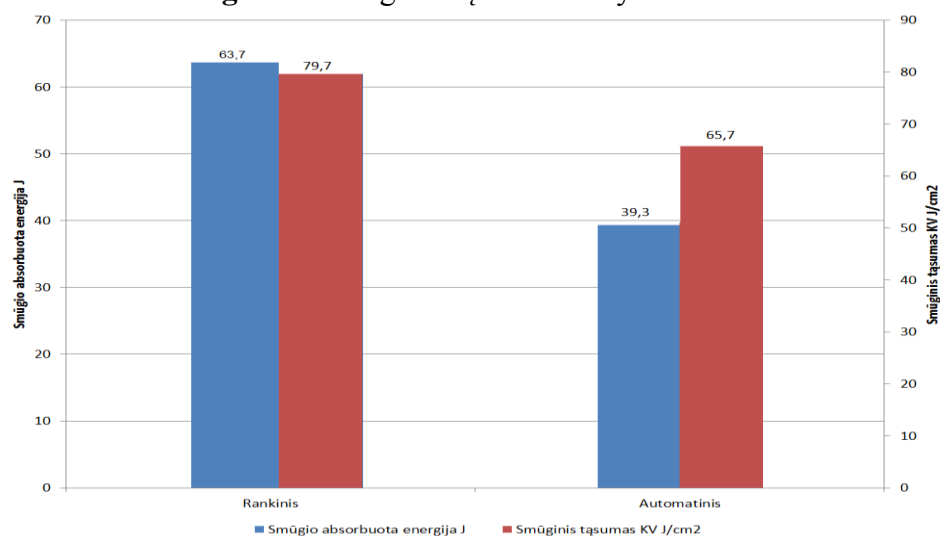
1 diagrama. Kietumo bandymo rezultatų palyginimas.



Iš diagramos matyti, kad automatiniais būdais virintos siūlės kietumas yra didesnis siūlės zonoje (siūlės zona atitinka 7,8,9,22,23,24 matavimo taškai). Terminio poveikio zonoje didesnis kietumas virintas rankiniais būdais (atitinka 4,5,6,25,26,27 matavimo taškai). Galima daryti išvadą, kad rankinio suvirinimo siūlės kietumas yra didesnis.

2 diagramoje pateikti smūginio tūsumo bandymo rezultatai.

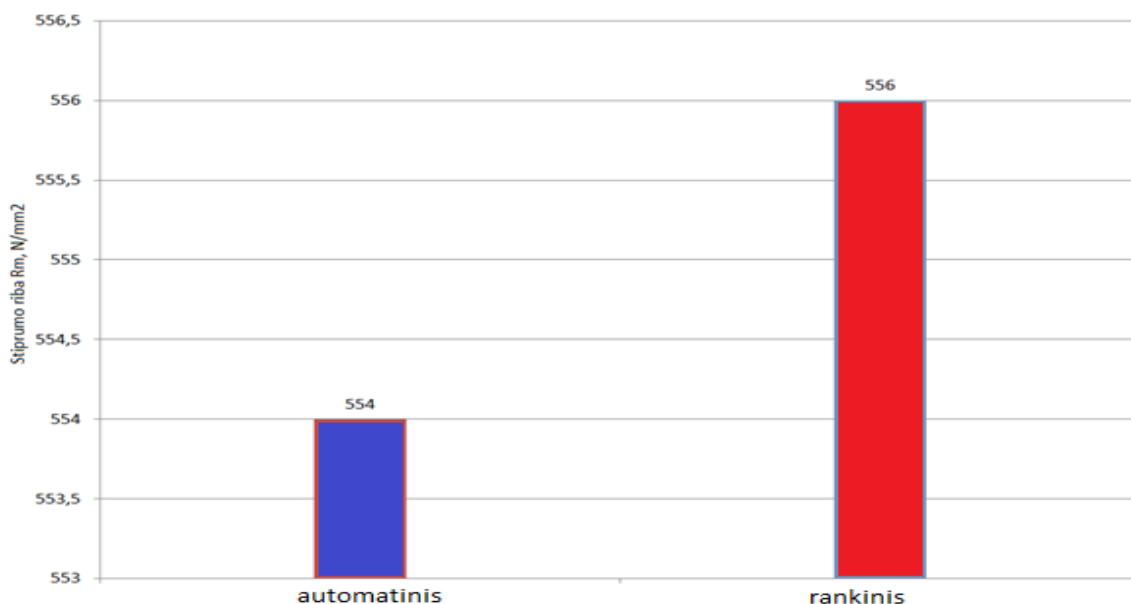
2 diagrama. smūginio ąsumo bandymo rezultatai



Antroje diagramoje pateikta smūginio ąsumo siūlės ašies linijoje bandymo vidurkių rezultatai, (kiekviena siūlė buvo bandoma po 3 kartus). Rankiniu būdu suvirintos siūlės smūginis ąsumas yra didesnis nei automatinio būdu suvirintos siūlės, bet ir energijos kiekis atitinkamai yra 40% didesnis absorbuotas smūgio metu. Iš tai galima daryti išvadą, kad rankiniu būdu suvirinta siūlė yra plastiškesnė.

3 diagramoje pateikiama tempimo bandymo rezultatų vidurkiai, abiejų suvirinimo būdu.

3 diagrama. Tempimo bandymo rezultatų vidurkiai



Bandymo rezultatai rodo, kad rankinio suvirinimo siūlė yra plastiškesnė, nes jos stiprumo riba yra 556 N/mm², o automatinio suvirinimo siūlės stiprumo riba 554 N/mm²

5. IŠVADOS

1. Bandinius suvirinus skirtingais suvirinimo būdais (automatiniu ir rankiniu) gautos geros kokybės, be įtrūkių ir porų suvirinimo jungtys.
2. Po lenkimo bandymo (lenkta 180^0 kampu) jungtyse, virintose tiek automatiniu, tiek rankiniu būdu, jokių įtrūkių nepastebėta.
3. Atlikus smūginio tūsumo bandymus pastebėta, kad smūginis tūsumas yra didesnis siūlės ašies zonoje nei terminio poveikio zonoje. Rankiniu suvirinimo būdu suvirintos jungties smūginis tūsumas yra $79,7 \text{ J/cm}^2$, o absorbuota energija bandymo metu yra $63,7 \text{ J}$. Automatiniu būdu virintos jungties smūginis tūsumas yra $65,7 \text{ J/cm}^2$, absorbuota energija $39,3 \text{ J}$. Rankiniu būdu virintos siūlės tūsumas yra $17,56\%$ didesnis už jungties virintos automatiniu būdu.
4. Tempimo bandymo metu bandiniai trūko ne per suvirinimo siūlę, o per pagrindinį metalą. Tai rodo, kad suvirinimo jungčių stiprumo riba yra didesnė už pagrindinio metalo P335.
5. Suvirino jūgtis virinta automatiniu būdu siūlės zonoje yra $9,94\%$ kietesnė, už virintą rankiniu būdu. Terminio poveikio zonoje kietumas yra 4.96% didesnis naudojant rankinį suvirinimo būdą.
6. Suvirintos jūgtys abiem būdais tiek automatiniu, tiek rankiniu yra kokybiškos ir atitinka visus virintoms jūgtims keliamus reikalavimus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Naruškevičius J. Suvirintojo vadovas: knyga. V.: Mažoji Evelina, 2003. 349 p.
2. Bieliūnas K. Metalų suvirinimas. V.: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, 1962. 210 p.
3. Lietuvos Europos standartas. Suvirinimas ir panašūs procesai. LST EN ISO 4063:2000.
4. I. Gedzevičius. Suvirinimo technologija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, bakalauro studijos. 2007
5. V. Rudzinskas. Potencialiai pavojingų įrenginių suvirinimas, 1 dalis Dujotiekiai ir jų suvirinimas, Vilnius: technika 2007.
6. Č. Kazakevičius. Suvirinimo medžiagos. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, bakalauro studijos. 2008.
7. V. Rudzinskas. Potencialiai pavojingų įrenginių suvirinimas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas
8. I. Višniakas. Medžiagų ir jungčių kokybės kontrolė. Vilniaus Gedimino technikos universitetas
9. I. Višniakas. Suvirintųjų sujungimų kokybės kontrolės laboratoriniai darbai, Vilnius: technika 2002.
10. Naruškevičius J. Suvirinimo įrenginiai ir technologija U dalis. V.: Mokslas, 1979. 179 p.
11. Ambroza P., Bočkus S. ir kt. Medžiagų inžinerija: laboratorinių darbų metodiniai nurodymai, mokomoji knyga. K.: Technologija, 2002. 43 p.
12. Juodelis V., Bendikas J. Metalotyros pagrindai: mokomoji knyga. V.: Technika, 2004. 158 p.
13. <http://www.metalurgija.lt/s355j2-plieno-marke-mechanines-charakteristikos-chemine-sudetis> žiūrėta 2015-05-23
14. Europos standartas. EN ISO 15614-1.
15. <http://www.suvirinimoiranga.lt/lt/naudinga-info/1/17/tig> žiūrėta 2015-05-23,
16. Standartas LST EN 895. Metalinės medžiagos.
17. Standartas LST EN 910
18. <http://www.lsd.lt/standards/catalog.php?ics=25.160.40&pid=627099> žiūrėta 2015-05-24
19. <http://www.suvirinimas.lt/lt/catalog/suvirinimo-iranga/aparatai-suvirinimui-volframo-elektrodu-inertinese-dujose-tig/mastertig> žiūrėta 2015-05-25
20. http://www.aga.lt/lt/products_ren/cutting_welding_gases/shielding_gases/index.html 2015-05-25
21. http://www.serpantinas.com/lt/produktu_katalogas/suvirinimo_medziagos/suvirinimo_vielos/konstruciniam_plienui_esab_ok_autrod_1251/ žiūrėta 2015-05-26
22. http://www.aga.lt/lt/products_ren/cutting_welding_gases/shielding_gases/index.html žiūrėta 2015-05-26

23. <http://robot-prom.com.ua/catalog/20/1/5> žiūrėta 2015-05-26